

PRA RANCANGAN PABRIK *FATTY ACID SULPHONATE* DARI *FATTY ALCOHOL* DAN *SULFUR TRIOXIDE* DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN



Disusun Oleh :

Isna Yustika Fajriani

(4518044028)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA
MAKASSAR**

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

UJIAN TUTUP

PRA RANCANGAN PABRIK *FATTY ACID SULPHONATE* DARI *FATTY ALCOHOL* DAN SULFUR TRIOXIDE DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

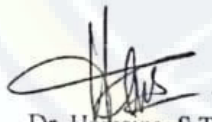
Disusun oleh :

Isna Yustika Fajriani (4518044028)

BOSOWA

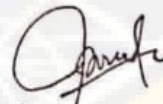
Telah disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I



Dr. Hamsina, S.T., M.Si
NIDN. 0924067601

Dosen Pembimbing II



Fitri Ariani, S.Si., M.Eng
NIDN. 0901038905

KATA PENGANTAR

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK *FATTY ACID SULPHONATE* DARI *FATTY ALCOHOL* DAN SULFUR TRIOXIDE DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN
2022

Disusun oleh :
Isna Yustika Fajriani (4518044028)

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 19 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Pembimbing I

Dr. Hamsina, S.T., M.Si
NIDN. 0924067601

Dosen Pembimbing II

Fitri Ariani, S.Si., M.Eng
NIDN. 0901038905

Dosen Penguji I

Dr. Ir. A. Zulfikar Syaiful, S.T., M.T
NIDN. 0918026902

Dosen Penguji II

Dr. Ridwan, S.T., M.Si
NIDN. 0910127101

Makassar, 19 Agustus 2022
Ketua Program Studi Teknik Kimia

Dr. Ir. A. Zulfikar Syaiful, S.T., M.T
NIDN. 0918026902

KATA PENGANTAR

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Isna Yustika Fajriani
Nomor Induk Mahasiswa : 4518044028
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik *Fatty Acid Sulphonate* dari
Fatty Alcohol dan Sulfur Trioxide dengan
Kapasitas 50.000 Ton/Tahun

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebut dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar menyimpan, mengalihmediakan/menginformasikan, mengelola dalam bentuk *database*, mendistribusikan dan menampilkan untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia dan meminjatkan untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar dari semua tuntutan hukum yang timbul atau pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 19 Agustus 2022

Pernyataan

METERAN
TEMPEL
EEC91AJX970445064
Isna Yustika Fajriani
4518044028

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah perlindungan serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Pra Rancangan Pabrik ini dengan judul **“Pra Rancangan Pabrik *Fatty Acid Sulphonate* dari *Fatty Alcohol* dan *Sulfur Trioxide* dengan Kapasitas 50.000 Ton/Tahun”** tepat pada waktunya.

Penulisan hasil penelitian ini dapat terlaksana dengan baik berkat bantuan, bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas ini, yaitu:

1. Orang tua (Bapak dan Mama) dan saudara saya (Indhira, Rifdah, dan Fauzan) yang senantiasa memberi dukungan positif sehingga saya mampu melakukan dan menyelesaikan penelitian ini dengan maksimal.
2. Bapak Muh. Tang ST.,M.Pkim selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Universitas Bosowa Makassar.
3. Ibu Dr. Hamsina Ruslan, S.T., M.Si dan Ibu Fitri Ariani, S.Si., M.Eng selaku Dosen Pembimbing 1 dan 2 yang memberikan arahan, bimbingan, motivasi, dan ilmu selama penyusunan laporan.
4. Bapak Rifad Adly dan Rizwan Syamsul selaku atasan saya yang telah memberikan ilmu dan kesempatan untuk melanjutkan studi S1 Teknik Kimia.
5. Para staf dan karyawan PT. Antam Tbk UBPN Maluku Utara yang telah membagikan ilmu dan memberikan semangat dalam pengerjaan laporan pra rancangan.
6. Teman-teman seperjuangan saya (Nadrah, Marsel, Yayat, dan Akbar) dan seluruh Mahasiswa regular dan non regular Tekim Universitas Bosowa Makassar.
7. Segenap pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian hingga pembuatan laporan, yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu.

Penulisan laporan ini sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Universitas Bosowa Makassar untuk mengaplikasikan ilmu

yang didapat di bangku perkuliahan.

Kami menyadari bahwa Laporan Pra Rancangan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran maupun kritik yang sifatnya membangun dengan senang hati kami terima untuk menyempurnakan laporan ini. Semoga laporan ini kiranya dapat memberi manfaat bagi masyarakat luas khususnya dalam lingkup mahasiswa Fakultas Teknik/Jurusan Teknik Kimia UNIBOS. Bila dalam penyusunan Laporan ini terdapat kekurangan dan kesalahan, maka kami mohon maaf sedalam-dalamnya.

Akhir kata kami ucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah turut membantu dalam proses penyelesaian Laporan ini.

Makassar, 30 Juni 2022

UNIVERSITAS

BOSOWA

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR GRAFIK	xi
INTISARI.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Kapasitas Produksi.....	2
I.3. Pemilihan Lokasi Pabrik	3
I.4. Tinjauan Pustaka.....	4
BAB II. URAIAN PROSES.....	7
II.1. Persiapan Bahan baku	7
II.2. Proses Sulfonasi Fatty Alcohol (C ₁₄ H ₂₉ OH) dengan gas SO ₃	7
II.3. Proses Netralisasi dengan NaOH.....	7
II.4. Proses Pengeringan.....	8
II.5. Diagram Alir Kualitatif	9
II.6. Diagram Alir Kuantitatif	10
BAB III. SPESIFIKASI BAHAN	11
III.1. Spesifikasi Bahan Baku	11
III.2. Spesifikasi Bahan Pembantu.....	12
III.3. Spesifikasi Produk.....	14
BAB IV. NERACA MASSA	16
IV.1. Neraca Massa Alat.....	16
IV.2. Neraca Massa Total	17
BAB V. NERACA PANAS	18
V.1. Neraca Panas pada <i>Heater</i> (HE-01)	18
V.2. Neraca Panas pada <i>Heater</i> (HE-02)	18

V.3. Neraca Panas pada Reaktor.....	18
V.4. Neraca Panas pada <i>Heater</i> (HE-03)	19
V.5. Neraca Panas pada <i>Netralizer</i>	19
V.6. Neraca Panas pada <i>Heater</i> (HE-04)	19
V.7. Neraca Panas pada <i>Spray Dryer</i>	19
BAB VI. SPESIFIKASI ALAT	21
BAB VII. UTILITAS	34
VII.1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air.....	34
VII.2. Unit Pembangkit Steam.....	41
VII.3. Unit Pembangkit Listrik	41
VII.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	44
VII.5. Unit Pengolahan Limbah.....	45
VII.6. Laboratorium	45
BAB VIII. LAY OUT PABRIK DAN PERALATAN PROSES	48
VIII.1. Lokasi Pabrik	48
VIII.2. <i>Lay Out</i> Pabrik	51
VIII.3. <i>Lay Out</i> Peralatan.....	54
BAB IX. STRUKTUR ORGANISASI PERUSAHAAN.....	56
IX.1. Organisasi Perusahaan	56
IX.2. Struktur Organisasi Perusahaan.....	57
IX.3. Tugas dan Wewenang	58
IX.4. Pembagian Jam Kerja	61
IX.5. Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji	63
IX.6. Kesejahteraan Sosial Karyawan.....	65
IX.7. Manajemen Perusahaan	65
BAB X. EVALUASI EKONOMI.....	66
X.1. Dasar Perhitungan	66
X.2. Perhitungan Modal dan Biaya	68
X.3. Analisa Kelayakan	69
BAB XI. KESIMPULAN	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A NERACA MASSA	75

LAMPIRAN B NERACA PANAS.....	82
LAMPIRAN C SPESIFIKASI PERALATAN	102
LAMPIRAN D REAKTOR.....	202
LAMPIRAN E DIAGRAM ALIR PENGOLAHAN AIR	213
LAMPIRAN F EVALUASI EKONOMI	214



DAFTAR TABEL

Tabel 1.2 Data impor Fatty Acid Sulphonate di Indonesia.....	2
Tabel 1.4 Perbandingan Proses	5
Tabel 4.1.1 Neraca Massa Total pada Reaktor	16
Tabel 4.1.2 Neraca Massa Total di Netralizer.....	16
Tabel 4.1.3 Neraca Massa Total di <i>Spray Dryer</i>	17
Tabel 4.2 Neraca Massa Total.....	17
Tabel 5.1 Neraca Panas pada <i>Heater-01</i>	18
Tabel 5.2 Neraca Panas pada <i>Heater-02</i>	18
Tabel 5.3 Neraca Panas Total pada Reaktor	18
Tabel 5.4 Neraca Panas pada <i>Heater-03</i>	19
Tabel 5.5 Neraca Panas Total di <i>Netralizer</i>	19
Tabel 5.6 Neraca Panas pada <i>Heater-04</i>	19
Tabel 5.7 Neraca Panas Total di <i>Spray Dryer</i>	19
Tabel 7.3.1 Listrik untuk keperluan proses dan pengolahan air.....	42
Tabel 7.3.2 Keperluan Utilitas	42
Tabel 9.4.1 Pembagian Kerja Menurut <i>Shift</i>	61
Tabel 9.4.2 Pembagian waktu kerja untuk sistem <i>non shift</i>	62
Tabel 9.4.3 Jumlah Tenaga Kerja berdasarkan Jenjang Pendidikan	62
Tabel 9.5 Upah Karyawan.....	64
Tabel 10.1 Indeks Harga yang digunakan.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.5 Diagram Alir Kualitatif Pembuatan <i>Fatty Acid Sulphonate</i>	9
Gambar 2.6 Diagram Alir Kuantitatif Pembuatan <i>Fatty Acid Sulphonate</i>	10
Gambar 8.2 <i>Lay Out</i> Pabrik <i>Fatty Acid Sulphonate</i>	53
Gambar 8.3 <i>Lay Out</i> Alat Proses Pabrik <i>Fatty Acid Sulphonate</i>	55



DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1 Hubungan antara tahun dan jumlah <i>Fatty Acid Sulphonate</i>	3
Grafik 10.1 Menentukan Indeks Harga.....	67
Grafik 10.3 Grafik Hubungan antara Biaya Produksi dan Kapasitas Produksi	71



INTISARI

Fatty Acid Sulphonate merupakan senyawa aktif permukaan (*surfactant*) yang dapat menghasilkan busa sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menggantikan *Alkyl Benzene Sulphonate* karena persediaannya yang semakin menipis dan harga yang tinggi. Namun, *Fatty Acid Sulphonate* di Indonesia saat ini masih di impor dari negara lain berdasarkan data ekspor dan impor BPS tahun 2015-2021. Maka dari itu perlu dibangun Pabrik *Fatty Acid Sulphonate* (FAS) yang dirancang dengan kapasitas 50.000 ton/tahun menggunakan bahan baku *fatty alcohol* dan sulfur trioksida (SO_3) di daerah Gresik, Jawa Timur.

Fatty Acid Sulphonate diperoleh melalui reaksi sulfonasi, yaitu reaksi penambahan gugus SO_3 ke dalam rantai *Fatty alcohol* yang akan menghasilkan senyawa *Alkyl Hydrogen Sulphate*. Selanjutnya, melalui tahap netralisasi *Alkyl Hydrogen Sulphate* direaksikan dengan NaOH menghasilkan senyawa aktif permukaan *Fatty Acid Sulphonate* (FAS). *Fatty Acid Sulphonate* yang dihasilkan digunakan sebagai bahan dasar utama dalam industri *shampoo*, *toiletries*, pasta gigi, sabun cuci dan *detergent*.

Utilitas yang tersedia dalam perancangan pabrik *Fatty Acid Sulphonate* adalah Unit pengadaan dan pengolahan air, Unit pengadaan steam, Unit pengadaan listrik, Unit pengadaan bahan bakar, dan Unit pengolahan limbah, serta dilengkapi Laboratorium untuk menunjang proses produksi dan menjaga mutu produk.

Pabrik beroperasi selama 300 hari efektif setiap tahun dan 24 jam/hari. Bentuk Perusahaan Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah tenaga kerja yang diserap sebanyak 190 orang. *Fatty Acid Sulphonate* yang dihasilkan sebanyak 6.313,13 kg/jam. Dari hasil evaluasi ekonomi pabrik *Fatty Acid Sulphonate* layak dan menarik untuk dikaji lebih lanjut, dengan harga jual produk Rp 50.393/kg. dan berdasarkan pertimbangan sosial, pabrik *Fatty Acid Sulphonate* ini dapat membuka lapangan pekerjaan serta meningkatkan taraf hidup masyarakat.

Kata Kunci: *Fatty Acid Sulphonate*; Sulfonasi; Unit

I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang sedang berkembang. Oleh karena itu, bangsa Indonesia memiliki kewajiban untuk melaksanakan pembangunan di segala bidang. Salah satunya adalah pembangunan di sektor ekonomi, yang sedang digiatkan oleh pemerintah untuk mencapai kemandirian perekonomian nasional. Untuk mencapai tujuan ini pemerintah menitikberatkan pada pembangunan di sektor industri. Pembangunan industri ditujukan untuk memperkuat struktur ekonomi nasional dengan keterkaitan yang kuat dan saling mendukung antar sektor, meningkatkan daya tahan perekonomian nasional, memperluas lapangan kerja dan kesempatan usaha sekaligus mendorong berkembangnya kegiatan berbagai sektor pembangunan lainnya.

Kebutuhan detergen di Indonesia tiap tahun mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan kenaikan jumlah penduduk tiap tahunnya. Dengan meningkatnya jumlah penduduk, maka kebutuhan detergen akan meningkat pula. Demikian halnya dengan meningkatnya tingkat kesadaran penduduk dalam menjaga kebersihan, salah satunya dalam mencuci menggunakan detergen.

Salah satu produk yang dibutuhkan saat ini adalah *Alkyl Benzene Sulphonate* (ABS) yang merupakan produk reaksi antara *benzene* dan *olefin* dari minyak bumi. Minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tak dapat diperbaharui sehingga persediaannya akan semakin menipis dan secara tak langsung mendorong kenaikan harga. Ketergantungan ini sedapat mungkin dikurangi dengan mencari alternatif untuk mendapat produk yang sama dari bahan baku yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Salah satu alternatif ini adalah penggunaan *Fatty Acid Sulphonate* (FAS) untuk menggantikan *Alkyl Benzene Sulphonate*.

Fatty Acid Sulphonate di Indonesia saat ini masih di impor dari negara lain berdasarkan data ekspor dan impor BPS tahun 2015-2021 yang dapat di lihat pada Tabel 1.2. *Fatty Acid Sulphonate* saat ini banyak digunakan untuk industri pembuatan detergen rumah tangga termasuk bubuk cuci, cairan laundry, cairan

pencuci piring dan pembersih rumah tangga lainnya serta dalam berbagai aplikasi industri seperti sebagai *emulsifier* bagi herbisida pertanian dan dalam polimerisasi emulsi.

Pendirian pabrik *Fatty Acid Sulphonate* di Indonesia perlu didirikan dengan alasan-alasan sebagai berikut :

1. Pabrik *Fatty Acid Sulphonate* belum ada yang didirikan di Indonesia,
2. Dengan didirikannya pabrik ini maka akan mengurangi jumlah impor *Fatty Acid Sulphonate* dari luar negeri,
3. Memberikan peluang dengan berdirinya industri kimia lainnya yang terkait dengan bahan baku, bahan penunjang dan hasil serta menambah devisa dengan peluang ekspor,
4. Memberikan lapangan pekerjaan baru sehingga mengurangi angka atau tingkat pengangguran serta menambah tingkat perekonomian masyarakat Indonesia.

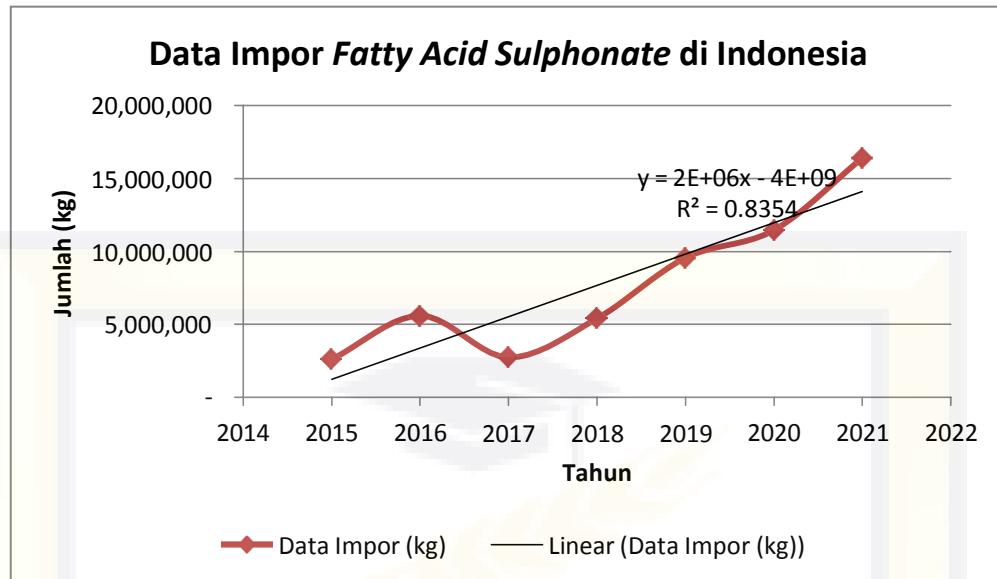
1.2 Kapasitas Produksi

Pemilihan kapasitas produksi didasarkan pada kebutuhan *Fatty Acid Sulphonate* di Indonesia, tersedianya bahan baku serta ketentuan kapasitas minimal.

Pemenuhan kebutuhan *Fatty Acid Sulphonate* di Indonesia dari tahun ke tahun masih mengandalkan impor dari luar negeri. Hal ini menunjukkan pesatnya perkembangan industri kimia di Indonesia. Dari data statistik pada Tabel 1.2 menunjukkan jumlah kebutuhan *Fatty Acid Sulphonate*.

Tabel 1.2 Data impor *Fatty Acid Sulphonate* di Indonesia

Tahun	Jumlah (kg)
2015	2.585.825
2016	5.581.055
2017	2.720.000
2018	5.388.515
2019	9.557.020
2020	11.456.595
2021	16.416.247



Grafik 1.1 Hubungan antara tahun dan jumlah *Fatty Acid Sulphonate*

Berdasarkan Grafik 1.1 maka diperoleh persamaan regresi linear :

$$y = 2.000.000x - 4.000.000.000$$

Untuk mengetahui kapasitas produksi tahun 2022, maka:

$$y = 2.000.000(2022) - 4.000.000.000$$

$$y = 44.000.000 \text{ kg}$$

$$y = 44.000 \text{ ton}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat di perkirakan kebutuhan *Fatty Acid Sulphonate* pada tahun 2022 adalah sebesar 50.000 ton/tahun. Dengan demikian pendirian pabrik *Fatty Acid Sulphonate* di Indonesia perlu untuk dipertimbangkan dan untuk tahun 2022 dipilih kapasitas pra rancangan pabrik *Fatty Acid Sulphonate* sebesar 50.000 ton/tahun dengan harapan bahwa produk ini bisa memenuhi kebutuhan dalam negeri dan memiliki peluang untuk di ekspor.

1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Dalam perancangan ini lokasi yang dipilih adalah di daerah Gresik, Jawa Timur dengan pertimbangan sebagai berikut:

a. Persediaan bahan baku

Bahan baku merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan suatu pabrik, sehingga pengadaan bahan baku sangat diperhatikan. Lokasi di Gresik sangat tepat karena dekat dengan PT. Petrokimia Gresik yang menghasilkan

bahan baku sulfur trioksida (SO_3) dan PT. Soda Waru yang memproduksi Natrium Hidroksida (NaOH) yang digunakan pada proses netralisasi. Bahan baku *Fatty alcohol* di datangkan dari pulau Sumatra, karena melihat perkembangan pabrik-pabrik CPO yang tersebar di berbagai penjuru pulau. Hal ini didukung juga dengan adanya lahan perkebunan kelapa sawit yang luas yang membuktikan bahwa produksi CPO di Sumatra berkembang pesat.

b. Pemasaran produk

Lokasi pabrik dapat mempengaruhi biaya distribusi dan waktu pengiriman sehingga lokasi pabrik di Gresik sangat strategis untuk pemasaran *Fatty Acid Sulphonate* karena dekat dengan pelabuhan.

c. Penyediaan air

Air diperoleh dari sungai Gresik dimana dilakukan proses pengolahan air terlebih dahulu.

d. Tersedianya tenaga kerja

Tenaga kerja yang terampil dan terdidik dapat dipenuhi karena banyak sekolah-sekolah kejuruan yang mendidik tenaga-tenaga terampil yang siap pakai, dimana dapat diperoleh meskipun tidak dari daerah setempat. Sedangkan untuk tenaga buruh dapat diambil dari daerah setempat maupun para pendatang pencari kerja.

e. Faktor-faktor lain

Daerah Gresik merupakan kawasan industri sehingga hal-hal yang sangat dibutuhkan bagi kelangsungan proses produksi suatu pabrik telah tersedia dengan baik, seperti : sarana transportasi, energi dan keamanan, lingkungan, serta faktor sosial.

1.4 Tinjauan Pustaka

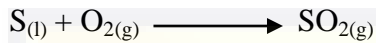
1.4.1.1 Sulfonasi dengan SO_3

Proses ini menggunakan sulfur padat yang dibakar untuk menghasilkan SO_2 yang selanjutnya dioksidasi menjadi SO_3 . Proses ini memerlukan sejumlah oksigen untuk pembakaran dan proses oksidasi, atau dapat juga membeli produk jadi SO_3 . SO_3 akan direaksikan dengan *fatty alcohol* untuk mendapatkan *Alkyl*

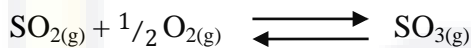
Hydrogen Sulphate yang selanjutnya akan melewati tahap netralisasi menghasilkan *Fatty Acid Sulphonate*.

Reaksi selama proses sulfonasi berlangsung:

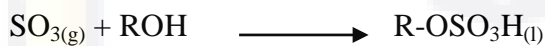
Pembakaran sulfur



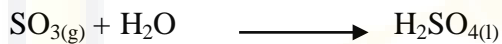
Oksidasi SO₂



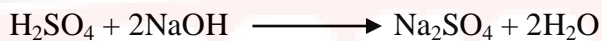
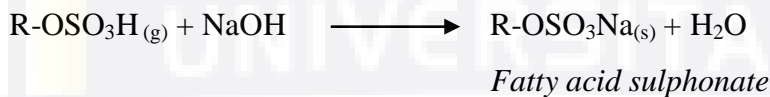
Sulfonasi



Fatty alcohol alkyl hydrogen sulfat



Netralisasi



1.4.1.2 Sulfonasi dengan *Chlorosulfonic acid*

Proses sulfonasi dengan menggunakan senyawa *Chlorosulfonic acid* dilakukan secara *batch*, sehingga kapasitas produksi yang dihasilkan berskala relatif kecil. Reaksi selama proses sulfonasi sebagai berikut :



HCl yang dihasilkan dari proses ini harus di absorpsi untuk mendapatkan larutan HCl 30% sebagai produk samping. Perbandingan dari kedua proses diatas dapat di lihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Perbandingan proses

Parameter	Proses dengan Sulfonasi (SO ₃)	Proses dengan <i>Chlorosulfonic Acid</i>
Kondisi Operasi :		
- Suhu, °C	70	25 – 40
- Tekanan, psi	Atmosferik	60
Konversi, %	97 – 99	93
Fase reaksi	Liquid – gas	Liquid
Jenis reaktor	Reaktor gelembung	Reaktor berpengaduk
Reaktan	<i>Fatty Alcohol</i> , SO ₃	<i>Fatty Alcohol</i> , ClSO ₃ H
Limbah	Cair, gas	Cair

Dari perbandingan proses di atas, dipilih proses sulfonasi dengan pembakaran sulfur dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Dapat dilakukan untuk kapasitas produksi yang besar.
- Tekanan yang diperlukan rendah.
- Konversi lebih tinggi.
- Pengolahan limbah dapat dilakukan secara biologis dan lebih murah.

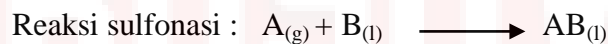
1.4.2 Tinjauan Termodinamika

Reaksi pada R-01:



$$\begin{aligned} \Delta H_f^\circ &= \{ \Delta H_f^\circ \text{R-OSO}_3\text{H} + \Delta H_f^\circ \text{H}_2\text{SO}_4 - (\Delta H_f^\circ \text{R-OH} + \Delta H_f^\circ \text{SO}_3) \} \\ &= \{ -323,36839 + (-730,13) - (-484,4741 - 395,7) \} \\ &= -173,36429 \text{ J/kmol} \end{aligned}$$

1.4.3 Tinjauan Kinetika



Reaksi sulfonasi dengan SO_3 berlangsung sangat cepat dan terbentuk senyawa kompleks (Groggins, P.H).

Untuk kasus ini, konsentrasi B (C_B) tinggi sehingga kecepatan reaksinya ditentukan oleh kecepatan difusi gas (A) melalui lapisan film.

$$r_A = k_L \cdot A_v \cdot (C_A - C_{Ai}) = k_L \cdot C_{Ai}$$

$$k_L \cdot A_v \cdot C_A - k_L \cdot A_v \cdot C_{Ai} = k_L \cdot C_{Ai}$$

$$k_L \cdot C_{Ai} + k_L \cdot A_v \cdot C_{Ai} = k_L \cdot A_v \cdot C_A$$

$$C_{Ai} (k_L + k_L \cdot A_v) = k_L \cdot A_v \cdot C_A$$

$$C_{Ai} = \frac{k_L \cdot A_v \cdot C_A}{k_L + k_L \cdot A_v}$$

Sehingga :

$$r_A = \frac{k^2 \cdot A}{k_L + k_L \cdot A_v} \cdot C_A$$

II

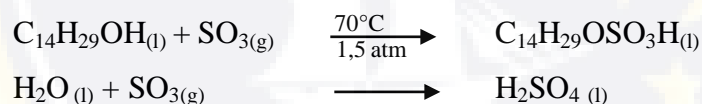
URAIAN PROSES

2.1 Persiapan Bahan Baku

Tahap ini bahan baku yaitu *fatty alcohol* dan SO_3 disiapkan untuk menyesuaikan dengan kondisi reaktor. *Fatty alcohol* dan SO_3 disimpan pada tangki penyimpanan (T-01 dan T-02). Bahan baku ini kemudian dialirkan dari tangki penyimpanan melalui pipa menggunakan pompa (P-02 dan P-04) masuk ke dalam reaktor. Sebelum masuk ke dalam reaktor *fatty alcohol* dan SO_3 di naikkan terlebih dahulu suhunya menggunakan *heater* (H-01 dan H-02) dari suhu ruang supaya mencapai suhu operasi pada reaktor yaitu 70°C dengan tekanan 1,5 atm.

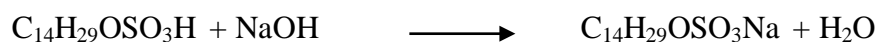
2.2 Proses Sulfonasi Fatty Alcohol ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH}$) dengan gas SO_3

Fatty alcohol dipompa dari tangki penyimpan (T-01) menuju reaktor gelembung (R) untuk direaksikan dengan gas SO_3 membentuk *Alkyl Hydrogen Sulphate* ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{H}$). Reaksi terjadi pada suhu 70°C dan berlangsung secara eksotermis sehingga diperlukan jaket pendingin dengan media pendingin air untuk menjaga temperatur dalam reaktor tetap konstan. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



2.3 Proses Netralisasi dengan NaOH

Proses netralisasi merupakan reaksi eksotermis antara *neutralizer agent* yaitu NaOH dengan *Alkyl Hydrogen Sulphate* ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{H}$) hasil sulfonasi membentuk *Fatty Acid Sulphonate* ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{Na}$) dan Natrium Sulfat (Na_2SO_4). Proses netralisasi berlangsung pada suhu 70°C dalam tangki berjaket pendingin yang dilengkapi dengan pengaduk. Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



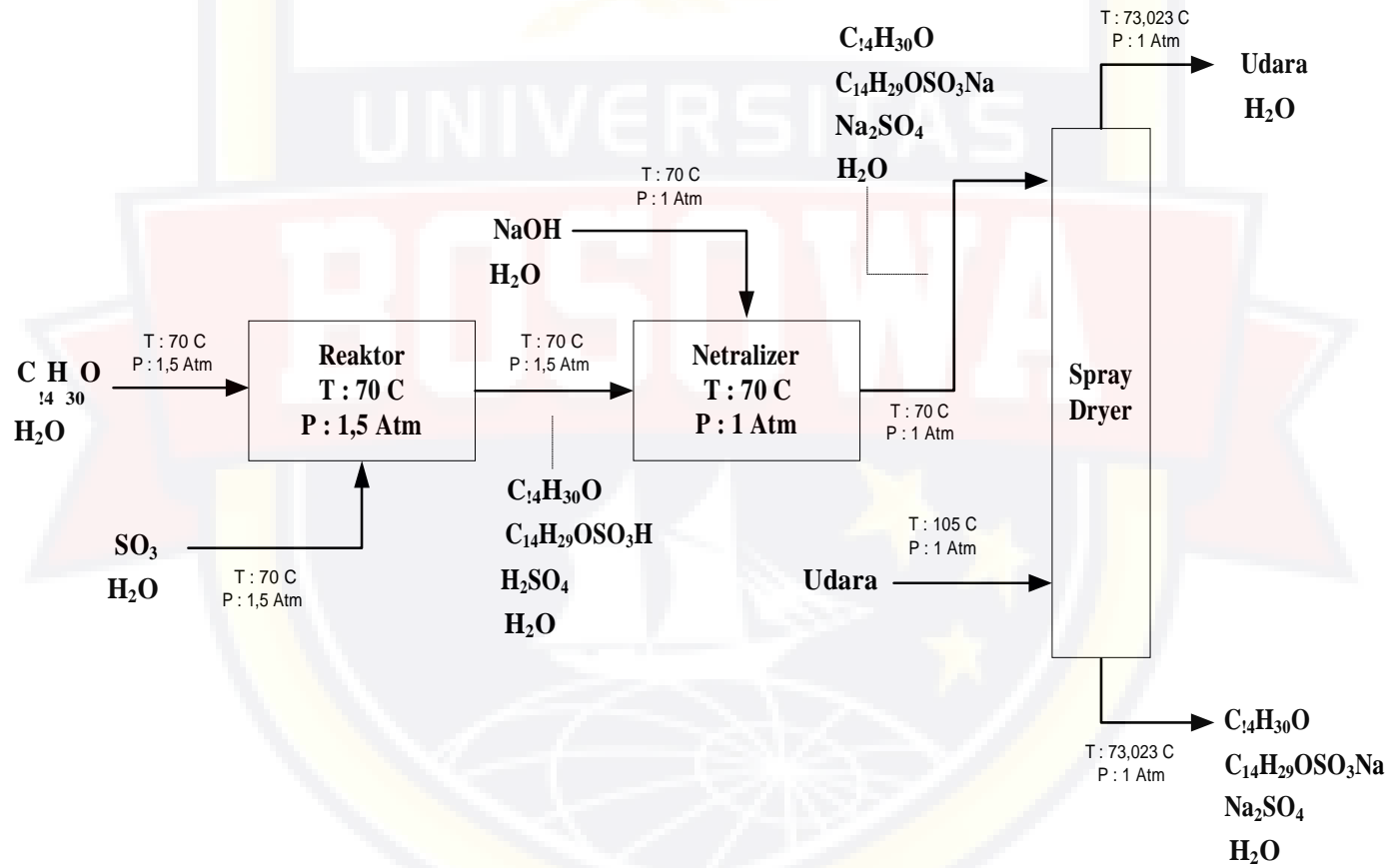
2.4 Proses Pengeringan

Produk *Fatty Acid Sulphonate* yang keluar dari *Netralizer* (N) berbentuk *slurry* dengan kandungan *Fatty Acid Sulphonate* $\pm 83\%$. Produk *Fatty Acid Sulphonate* harus dikeringkan dalam bentuk *powder* dengan kandungan *Fatty Acid Sulphonate* $\pm 98\%$.

Udara pengering digunakan untuk mengeringkan *slurry Fatty Acid Sulphonate* dalam unit pengering *spray dryer* (SD), yang dilengkapi dengan *cyclone* (CY) untuk memisahkan *powder* yang terbawa oleh aliran keluar udara pengering. Sebelum dikemas, produk kering masuk ke dalam Silo (S) dan disimpan dalam gudang yang kemudian siap untuk dikemas dan dipasarkan.

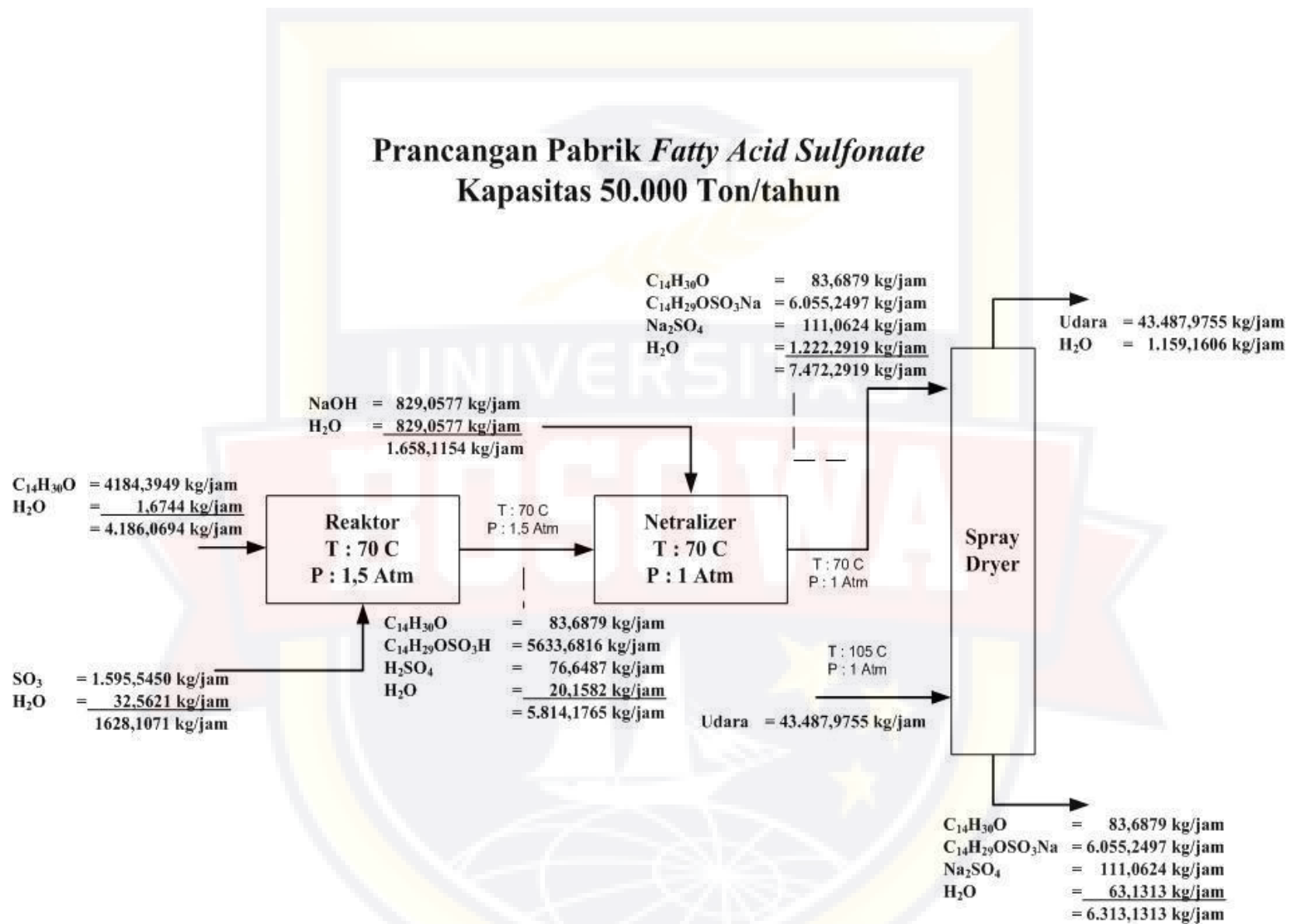


**Prancangan Pabrik *Fatty Acid Sulfonate*
Kapasitas 50.000 Ton/tahun**



2.5 Diagram Alir Kualitatif

Gambar 2.5 Diagram Alir Kualitatif Pembuatan *Fatty Acid Sulphonate*



Gambar 2.5 Diagram Alir Kuantitatif Pembuatan *Fatty Acid Sulphonate*

III

SPEKIFIKASI BAHAN

3.1 Spesifikasi Bahan Baku

3.1.1 Fatty Alcohol

Fatty alcohol (lemak alkohol) adalah alkohol alifatik yang merupakan turunan dari lemak alam ataupun minyak alam. *Fatty alcohol* merupakan bagian dari asam lemak dan *fatty aldehyd*. *Fatty alcohol* biasanya mempunyai atom karbon dalam jumlah genap. Molekul yang kecil digunakan dalam dunia kosmetik, makanan dan pelarut dalam industri. Molekul yang lebih besar penting sebagai bahan bakar. *Fatty alcohol* berkelakuan seperti nonionic surfaktan. *Fatty alcohol* dapat digunakan sebagai *emulsifier*, *emollients*, dan *thickeners* dalam industri kosmetik dan makanan (Riswanto, 2014). Berikut adalah sifat fisis dan kimia dari *fatty alcohol* yang digunakan:

Nama : 1-tetradecanol

Rumus molekul : C₁₄H₂₉OH

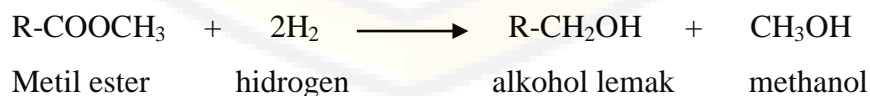
Berat molekul : 214.39 kg/kmol

Sifat fisis :

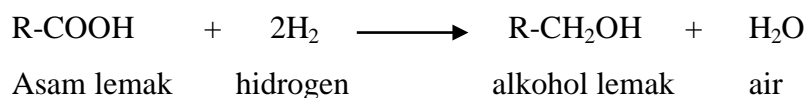
- Komposisi : 99,96 % C₁₄H₃₀O, 0,04 % H₂O
- *Spesifik Gravity* (20°C): 0,826
- Titik Leleh (1 atm) : 25°C
- Titik Didih (1 atm) : 265°C
- Panas Penguapan : - kkal/mol
- Fase : Cair, tak berwarna (30 °C, 1 atm)

Sifat kimia :

1. *Fatty alcohol* diperoleh dengan cara hidrogenasi metil ester



2. *Fatty alcohol* diperoleh dengan cara hidrogenasi asam lemak



3.1.2 Sulfur Trioksida (SO₃)

Sulfur trioksida murni merupakan padatan putih dengan titik leleh dan titik didih yang rendah. Sulfur trioksida bereaksi cepat dengan uap air di udara membentuk asam sulfat. Ini berarti bahwa jika kita membuatnya di laboratorium, maka akan tampak sebagai padatan dengan asap di udara (membentuk kabut asam sulfat). Terdapat bentuk polimer lainnya di mana molekul SO₃ bergabung membentuk rantai panjang. Sulfur trioksida pada suhu kamar dan tekanan atmosfer adalah cairan tak berwarna yang berasap di udara. Melacak jumlah air asam sulfat dapat mengkatalis pembentukan polimer.

Nama : Sulfur trioksida

Rumus molekul : SO₃

Berat molekul : 80.06 kg/kmol

Sifat fisis :

- Komposisi : 98,00 % SO₃, 2 % H₂O
- *Spesifik Gravity* (20°C) : 2,046
- Titik Leleh (1 atm) : 120°C
- Titik Didih (1 atm) : 44,6°C
- Panas Penguapan : 2200 kkal/mol
- Fase : Cair, kuning (30 °C, 1 atm)

Sifat kimia :

1. Dengan air membentuk asam kuat

$$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$$
2. Dengan udara lembab sulfur trioksida membentuk uap putih tebal dengan bau yang menyengat

3.2 Spesifikasi Bahan Pembantu

3.2.1 Natrium Hidroksida

Natrium hidroksida (NaOH) juga dikenal sebagai sodakaustik atau sodium hidroksida yang merupakan jenis basa logam kaustik. Natrium hidroksida digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen (Anonim, 2011). Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan

tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Natrium hidroksida sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan. Natrium hidroksida juga larut dalam etanol dan metanol, walaupun kelarutan NaOH dalam kedua cairan ini lebih kecil daripada kelarutan KOH. Larutan natrium hidroksida akan meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas (Anonim, 2011).

Nama	: Natrium Hidroksida
Rumus molekul	: NaOH
Berat molekul	: 40 kg/kmol
Sifat fisis	:
- Komposisi	: 50% NaOH, 50% air
- Titik leleh	: 318.4 °C
- Titik didik	: 1390 °C
- <i>Specific gravity</i>	: 2.13
- Berwujud padat	
- Berwarna putih	
- Larut dalam air	
- Larut dalam alkohol, eter, dan gliserin	

Sifat kimia :

1. Pemanasan pada temperature 1000°C dengan pencampuran karbon akan membentuk *metallic sodium*:



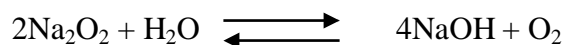
2. Natrium hidroksida jika mengalami ionisasi akan terjadi :



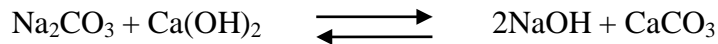
3. Pada pembentukannya, jika natrium ditambah air akan menghasilkan natrium hidroksida dan hidrogen



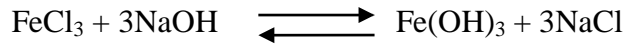
4. Natrium hidroksida juga dapat dihasilkan dari reaksi antara sodium peroksida dengan air pada temperatur tinggi:



5. Reaksi antara natrium karbonat dengan kalsium hidroksida akan menghasilkan natrium hidroksida dan kalsium karbonat:



6. Natrium hidroksida mempunyai karakteristik alkali kuat, reaksi dengan alkali besi akan menghasilkan hidroksida besi dan natrium klorida:



Jika bereaksi dengan Zn akan terbentuk :



3.3 Spesifikasi Produk

Fatty Acid Sulphonate merupakan senyawa aktif permukaan (*surfactant*) yang dapat menghasilkan busa. Karena sifatnya yang mudah berbusa, maka senyawa ini banyak digunakan sebagai bahan dasar utama dalam industri *shampoo*, *toiletries*, pasta gigi, sabun cuci dan *detergent*. *Surfactant* memiliki gugus lipofilik yang larut dalam lemak (pada gugus organiknya, R-OSO_3^-) dan gugus hidrofilik yang larut dalam air (berupa anion, Na^+).

Mekanisme proses pembersihan oleh *surfactant* adalah sebagai berikut:

- Membasahi permukaan substrat dan kotoran, kemudian mereduksi tegangan permukaan antar air-substrat dan air-kotoran.
- Mengangkat kotoran dari substrat.
- Menjaga kestabilan kotoran dalam keadaan terlarut atau tersuspensi

Bahan baku dalam industri *Fatty Acid Sulphonate* merupakan senyawa alkohol primer dengan jumlah rantai C antara 10 – 18, yang biasanya terbagi menjadi tiga bagian utama, yaitu alkohol dengan rantai dominan $\text{C}_{10} - \text{C}_{13}$, alkohol dengan rantai dominan $\text{C}_{12} - \text{C}_{14}$ dan alkohol dengan rantai dominan $\text{C}_{16} - \text{C}_{18}$.

Fatty Acid Sulphonate diperoleh melalui reaksi sulfonasi, yaitu reaksi penambahan gugus SO_3 ke dalam rantai *Fatty alcohol* yang akan menghasilkan senyawa *Alkyl Hydrogen Sulphate*. Selanjutnya, melalui tahap netralisasi *Alkyl Hydrogen Sulphate* direaksikan dengan NaOH menghasilkan senyawa aktif permukaan (*Fatty Acid Sulphonate*).

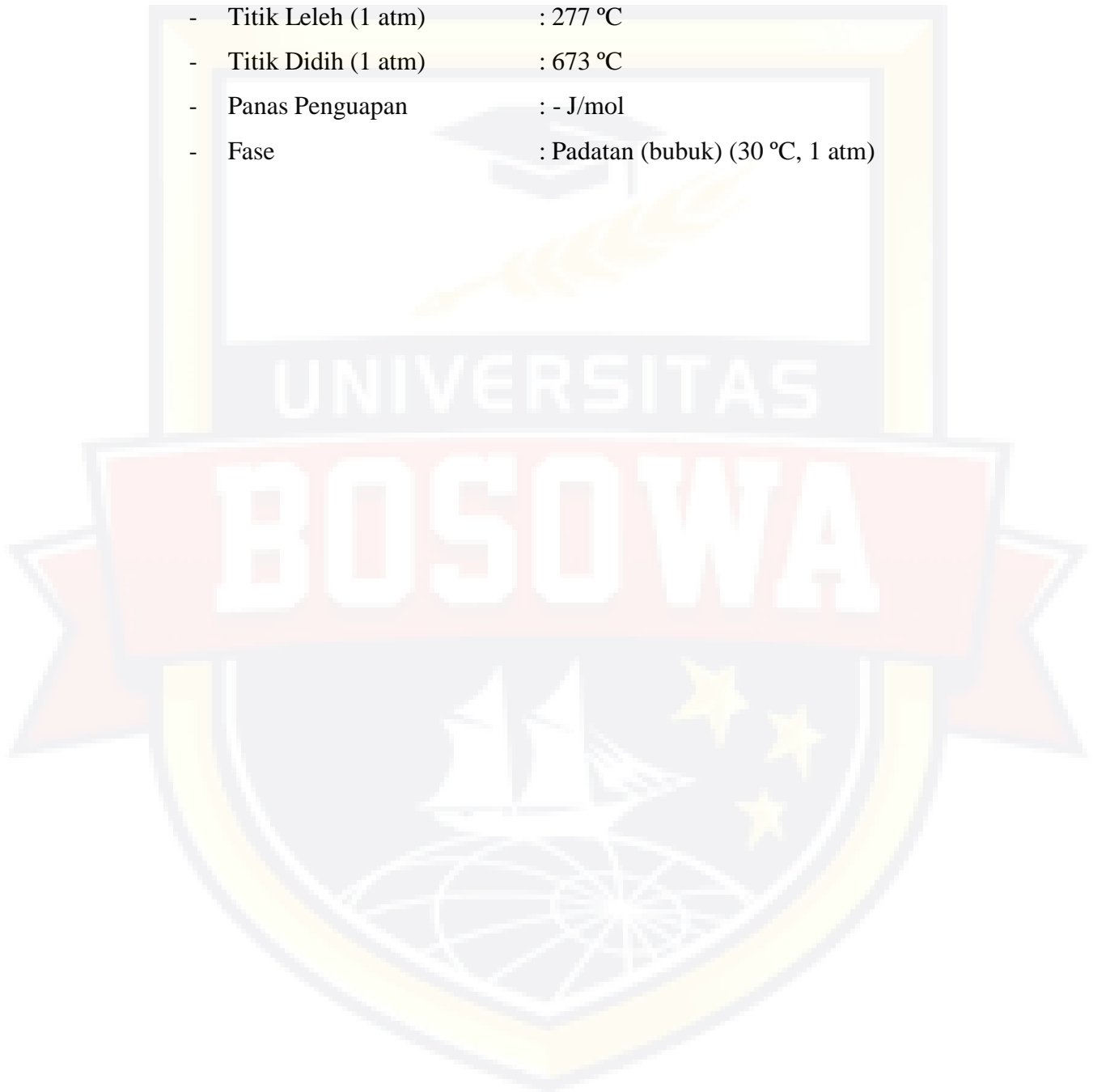
Rumus Molekul : $\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{Na}$

Berat Molekul : 316 gr/mol

Komposisi : 98% $C_{14}H_{29}OSO_3Na$; 0,899% Na_2SO_4 ; 0,027% $C_{14}H_{30}O$;
1,010% H_2O

Sifat fisis :

- *Specific Gravity* (20°C) : 1,04
- Titik Leleh (1 atm) : 277 °C
- Titik Didih (1 atm) : 673 °C
- Panas Penguapan : - J/mol
- Fase : Padatan (bubuk) (30 °C, 1 atm)



IV

NERACA MASSA

Kapasitas produksi = 50.000 ton/tahun
 Waktu operasi = 330 hari (24 jam/hari)
 Kapasitas produksi = $50.000 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$
 = 6,313131 ton/jam
 = 6313,131 kg/jam
 Basis perhitungan = 100 kg/jam
 Faktor pengali = 41,8607

4.1 Neraca Massa Alat

4.1.1 Neraca Massa pada Reaktor

Tabel 4.1.1 Neraca Massa Total pada Reaktor

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	F1	F2	F3
C ₁₄ H ₂₉ OH	4.184,3949		83,6879
SO ₃		1.595,5450	
H ₂ O	1,6744	32,5621	20,1582
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H			5633,6816
H ₂ SO ₄			76,6487
Total	4.186,0694	1.628,1071	5814,1765
	5.814,1765		

4.1.2 Neraca Massa pada Netralizer

Tabel 4.1.2 Neraca Massa Total di Netralizer

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	F3	F4	F5
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na			6.055,2497
Na ₂ SO ₄			111,0624
C ₁₄ H ₂₉ OH	83,6879		83,6879
NaOH		829,0577	
H ₂ O	20,1582	829,0577	1.222,2919
H ₂ SO ₄	76,6487		
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	5.633,6816		
Total	5.814,1765	1.658,1154	7.472,2919
	7.472,2919		

4.1.3 Neraca Massa pada *Spray Dryer*

Tabel 4.1.3 Neraca Massa Total di *Spray Dryer*

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)		
	F5	F6	F7	F8	F9
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na	6.055,2497		5.994,6972	60,5525	
Na ₂ SO ₄	111,0624		109,9518	1,1106	
C ₁₄ H ₂₉ OH	83,6879		82,8510	0,8369	
Udara		43.487,9755			43.487,9755
H ₂ O	1.222,2919		62,5000	0,6313	1.159,1606
Total	7.472,2919	43.487,9800	6.250,0000	63,1313	44.647,1361
	50.960,2674		50960,2674		

4.2 Neraca Massa Total

Tabel 4.2 Neraca Massa Total

Komponen	Laju Alir (kg/jam)				
	F1	F2	F3	F4	F5
C ₁₄ H ₂₉ OH	4.184,3949		83,6879		83,6879
SO ₃		1.595,5450			
H ₂ O	1,6744	32,5621	20,1582	829,0577	1.222,2919
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H			5.633,6816		
H ₂ SO ₄			76,6487		
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na					6.055,2497
Na ₂ SO ₄					111,0624
NaOH				829,0577	
Na ₂ SO ₄					111,0624
Udara					
TOTAL	4.186,0694	1.628,1071	5.814,1765	1.658,1154	7.583,3543

Komponen	Laju Alir (kg/jam)			
	F6	F7	F8	F9
C ₁₄ H ₂₉ OH		82,8510	0,8369	
SO ₃				
H ₂ O		62,5000	0,6313	1.159,1606
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H				
H ₂ SO ₄				
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na		5.994,6972	60,5525	
Na ₂ SO ₄				
NaOH				
Na ₂ SO ₄		109,9518	1,1106	
Udara	43.487,9755			43.487,9755
TOTAL	43.487,9755	6.250,0000	63,1313	44.647,1361

V

NERACA PANAS

5.1 Neraca Panas pada Heater (HE-01)

Tabel 5.1 Neraca Panas pada Heater-01

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
C ₁₄ H ₂₉ OH	12.414,8010	114.211,9916
H ₂ O	8,3927	75,2608
Qsteam	120.767,5875	-
Qkondensat	-	18.903,52876
Total	133.190,7812	133.190,7812

5.2 Neraca Panas pada Heater (HE-02)

Tabel 5.2 Neraca Panas pada Heater-02

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
SO ₃	1.214,6316	11.232,4399
H ₂ O	163,2112	1.463,5767
Qsteam	13.418,55561	-
Qkondensat	-	2.100,381875
Total	14.796,3984	14.796,3984

5.3 Neraca Panas pada Reaktor

Tabel 5.3 Neraca Panas Total pada Reaktor

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
C ₁₄ H ₂₉ OH	114.211,9916	2.284,2398
SO ₃	11.232,43985	-
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	-	10.5274,5769
H ₂ SO ₄	-	1.203,8158
H ₂ O	1.538,83751	906,0558
Q°R	-41.515,2964	-
Qpemanas	24.200,7157	-
Total	109.668,6883	109.668,6883

5.4 Neraca Panas pada Heater (HE-03)

Tabel 5.4 Neraca Panas pada Heater-03

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
C ₁₄ H ₂₉ OH	2.157,7304	19.406,2409
H ₂ O	4.155,4863	37.263,8105
Qsteam	59.701,85669	-
Qkondensat	-	9.345,022022
Total	66.015,0735	66.015,0735

5.5 Neraca Panas pada Netralizer

Tabel 5.5 Neraca Panas Total di Netralizer

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
C ₁₄ H ₂₉ OH	2.284,2398	2.284,2398
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	105.274,5769	-
H ₂ SO ₄	1.203,8158	-
Na ₂ SO ₄	-	1.913,0040
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na	-	114.549,5160
H ₂ O	38.169,8663	54.938,5811
NaOH	19.406,2409	-
Qreaksi	-121.793,2926	-
Qpemanas	129.139,8938	-
Total	173.685,3409	173.685,3409

5.6 Neraca Panas pada Heater (HE-04)

Tabel 5.6 Neraca Panas pada Heater-04

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
Udara	311.522,7327	5.606.050,11
Panas reaksi	5.294.527,378	-
Total	5.606.050,11	5.606.050,11

5.7 Neraca Panas pada Spray Dryer

Tabel 5.7 Neraca Panas Total di Spray Dryer

Komponen	Masuk	Keluar (kkal/jam)	
	kkal/jam	Bawah	atas
C ₁₄ H ₂₉ OH	2.284,239833	2.286,2689	-
Na ₂ SO ₄	1.913,004009	1.914,6599	-

C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na	114.549,516	114.650,4745	-
Udara	5.606.050,11	-	950.110.35784
H ₂ O	54.938,58108	2.840,0336	17,40761
Qloss	-	4.707.916,2492	-
Total	5.779.735,4514	4.829.607,6859	950.127,7655
	5.779.735,4514	5.779.735,4514	



VI

SPESIFIKASI PERALATAN

1. Tangki (T-01)

Fungsi	Menyimpan bahan baku <i>fatty alcohol</i> untuk kebutuhan 30 hari operasi pabrik.
Jenis	<i>Tank Silinder vertical</i> dengan <i>flat bottomed</i> dan <i>conical roof</i>
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 30°C • Tekanan (P) : 1 Atm
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 3634,7008 m³ • Bahan : <i>Stainless Steel SA 167 Grade 3</i> • Diameter : 50 ft • Tinggi : 18 ft • Jumlah <i>Course</i> : 3
Tebal <i>Shell</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Course 1</i> : ¼ in • <i>Course 2</i> : ¼ in • <i>Course 3</i> : ¼ in
Tebal <i>Head</i>	3/6 in
Jumlah	4 unit

2. Tangki (T-02)

Fungsi	Menyimpan bahan baku SO ₃ untuk kebutuhan 30 hari operasi pabrik
Jenis	<i>Tank Silinder vertical</i> dengan <i>flat bottomed</i> dan <i>conical roof</i>
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 30°C • Tekanan (P) : 1 Atm
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 686,1437 m³ • Bahan : <i>Stainless Steel SA 167</i> • Diameter : 45 ft

	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi : 18 ft • Jumlah <i>Course</i> : 3
Tebal <i>Shell</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Course</i> 1 : 1/5 in • <i>Course</i> 2 : 1/5 in • <i>Course</i> 3 : 1/5 in
Tebal <i>Head</i>	3/6 in
Jumlah	1 unit

3. Tangki (T-03)

Fungsi	Menyimpan bahan baku NaOH untuk kebutuhan 30 hari operasi pabrik.
Jenis	<i>Tank Silinder vertical</i> dengan <i>flat bottomed</i> dan <i>conical roof</i>
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 30°C • Tekanan (P) : 1 Atm
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 814,324 m³ • Bahan : <i>Stainless Steel SA 167</i> • Diameter : 50 ft • Tinggi : 18 ft • Jumlah <i>Course</i> : 3
Tebal <i>Shell</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Course</i> 1 : ¼ in • <i>Course</i> 2 : ¼ in • <i>Course</i> 3 : ¼ in
Tebal <i>Head</i>	3/6 in
Jumlah	1 unit

4. Silo (S-01)

Fungsi	Menyimpan produk <i>Fatty acid Sulphonate</i> sebanyak 6313,131 kg/jam untuk kebutuhan 30 hari operasi pabrik.
Jenis	Tangki silinder tegak dengan <i>bottom</i> berbentuk kerucut dan

	atap datar
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 30°C • Tekanan (P) : 1 Atm
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 6313,1313 kg/jam • Volume : 8,5536 m³
Bagian Silinder	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi : 2,54 m • Diameter : 18 ft • Tebal Dinding : 3/16 in
Bagian <i>Konis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi : 0,7328 m • Diameter : 18 ft • Tebal Dinding : 3/16 in
Bahan	<i>Stainless steel SA-167</i>
Jumlah	1 unit

5. *Screw Conveyor*

Fungsi	Memindahkan Produk <i>Fatty acid Sulphonate</i> yang keluar dari <i>Spray Dryer</i> menuju ke <i>Bucket Elevator</i> dengan laju umpan 6313,131 kg/jam.
Jenis	<i>Close Screw Conveyor.</i>
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 73,3°C • Tekanan (P) : 1 Atm
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 6313,131 kg/jam • Bahan : <i>Stainless steel</i> • Diameter <i>Screw</i> : 4 in • Panjang : 12 ft • <i>Power Motor</i> : 0,5 HP • Kecepatan <i>Screw</i> : 220 rpm
Jumlah	1 unit

6. *Bucket Elevator (BE-01)*

Fungsi	Menaikan produk <i>Fatty acid Sulphonate</i> dengan laju 6313,131 kg/jam ke dalam Silo.
Jenis	<i>Centrifugal discharge buckets</i>
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 73,3°C • Tekanan (P) : 1 Atm
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,0497 m³ • Jarak Bucket : 1,25 ft • Tinggi Elevator : 15 ft • Power Motor : 1 HP • Kecepatan : 35,7209 ft/menit
Jumlah	1 unit

7. *Blower (Bl)*

Fungsi	Menghembuskan udara ke <i>Spray Dryer</i> melalui pemanas (<i>Heater</i>), sehingga diperoleh panas yang berfungsi sebagai media pengering dalam <i>Spray Dryer</i> .
Jenis	<i>Centrifugal Blower.</i>
Kapasitas	96.870,1117 lb/jam
<i>Power Motor</i>	450 HP
Bahan	<i>Carbon Stell</i>
Jumlah	1 unit

8. *Compressor (C)*

Fungsi	Menaikan tekanan SO ₃ sebanyak 1599,319 kg/jam dari 1 atm menjadi 1,5 atm.
Jenis	<i>Centrifugal Compressor.</i>
Kapasitas	32,1768 kg/menit
<i>Power Motor</i>	10 HP

Jumlah	1 unit
--------	--------

9. Cyclone (Cy)

Fungsi	Memisahkan partikel produk yang terbawa oleh udara pengering yang keluar dari <i>Spray Dryer</i> .
Jenis	<i>Cyclone Sparator</i> .
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 73,3°C • Tekanan (P) : 1 Atm
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Bagian Silinder <ul style="list-style-type: none"> Tinggi : 0,5874 ft Diameter : 0,2937 ft • Bagian <i>Konis</i> <ul style="list-style-type: none"> Tinggi : 0,5874 ft Diameter : 0,2937 ft Bahan : <i>Stainless steel</i>
Jumlah	1 unit

10. Filter Udara (FU)

Fungsi	Menyaring udara yang akan digunakan sebagai udara pengering di <i>Spray Dryer</i> .
Jenis	<i>Automatic Filter</i> .
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 30 °C • Tekanan (P) : 1 Atm
Spesifikasi	43488 kg/jam
Luas Penyaringan	29,4362 ft ²
Jumlah	1 unit

11. Reaktor (R-01)

Fungsi	Mereaksikan <i>Fatty alcohol</i> (C ₁₄ H ₃₀ O) dengan SO ₃ menjadi
--------	---

	<i>Alkyl alcohol Sulphonate</i> ($C_{14}H_{29}OSO_3H$) dan H_2SO_4 .
Jenis	Reaktor Gelembung
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 70°C • Tekanan (P) : 1,5 Atm
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Volume Reaktor : 3,1294 m³ • Bagian Silinder <ul style="list-style-type: none"> Tinggi : 1,5791 m Diameter : 1,5885 m Tebal : 3/16 in • Bagian <i>Head</i> <ul style="list-style-type: none"> Bentuk : <i>Torispherical Dished Head</i> Tinggi : 0,3290 m Diameter : 1,5885 m Tebal : 3/16 in
Tinggi reaktor total	2 m
Bahan	<i>Stainless Steel SA-167</i>
Jumlah	1 unit

12. *Netralizer* (N-01)

Fungsi	Menetralkan <i>Alkyl alcohol Sulphonate</i> ($C_{14}H_{29}OSO_3H$) dan Asam Sulfat (H_2SO_4) yang terbentuk dengan NaOH sebagai <i>Netralizer Agent</i> .
Jenis	Tangki Berpengaduk.
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 70°C • Tekanan (P) : 1 Atm • Waktu Tinggal : 15 menit

Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas Volume Tangki : 2,3954 m³ • <u>Bagian Silinder</u> Tinggi : 1,3176 m Diameter : 1,3176 m Tebal : 3/16 in • <u>Bagian Head</u> Bentuk : <i>Thorispherical Dished Head</i> Tinggi : 0,2803 m Diameter : 1,3176 m Tebal : ¼ in
Pengaduk	<i>Marine Propeller</i> dengan 3 <i>Blades</i> dan 4 <i>Baffles</i> . <ul style="list-style-type: none"> • Diameter : 0,4392 m • Lebar <i>Impeller</i> : 0,0878 m • Posisi Sudut <i>Impeller</i> : 0,4392 m • Ke dalaman <i>Buffle</i> : 0,1098 m
Kecepatan	140 rpm
<i>Power Motor</i>	1 HP
Bahan	<i>Stainless Steel</i>
Jumlah	1 unit

13. *Spray Dryer (SD)*

Fungsi	Mengeringkan produk <i>Fatty acid Sulphonate</i> dengan laju alir 6.313,131 kg/jam melalui proses kontak langsung dengan udara pengering.
Kondisi Operasi	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu (T) : 70°C • Tekanan (P) : 1 Atm

Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas Volume Tangki : 43,4948 m³ • <u>Bagian Silinder</u> Tinggi : 9,4231 m Diameter : 2,3558 m • <u>Bagian Konis</u> Tinggi : 2,0402 m Diameter : 2,3558 m
Bahan	<i>Stainless Steel</i>
Jumlah	1 unit

14. *Heat Exchanger* (HE-01)

Fungsi	Memanaskan umpan <i>Fatty alcohol</i> dari tangki penyimpanan sebelum dimasukan ke dalam Reaktor.
Jenis	<i>Shell and Tube.</i>
Spesifikasi <i>Tube</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>OD</i> : 0,75 in • <i>ID Tube</i> : 0,62 in • <i>BWG</i> 16 • Susunan : <i>Triangular pitch</i> • Jumlah <i>Tube</i> : 81 buah • <i>Passes</i> 1 • <i>Flow Area</i> : 0,05 ft² • Panjang <i>Tube</i> : 16 ft • <i>Preassure Drop</i> : 0,0012 psi
Spesifikasi <i>Shell</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>ID</i> : 12 in • <i>Baffle Spacing</i> : 2,4 in • <i>Passes</i> 1 • <i>Preassure Drop</i> : 8,7526 psi

15. *Heat Exchanger* (HE-02)

Fungsi	Memanaskan umpan <i>Sulfur Trioxide</i> (SO_3) dari tangki penyimpanan sebelum dimasukan ke dalam Reaktor
Jenis	<i>Shell and Tube.</i>
Spesifikasi <i>Tube</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>OD</i> : 0,75 in • <i>ID Tube</i> : 0,62 in • <i>BWG</i> 16 • Susunan : <i>Triangular picth</i> • Jumlish <i>Tube</i> : 32 buah • <i>Passes</i> 1 • <i>Flow Area</i> : 0,3336 ft² • Panjang <i>Tube</i> : 16 ft • <i>Preassure Drop</i> : 0,023 psi
Spesifikasi <i>Shell</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>ID</i> : 31 in • <i>Baffle Spacing</i> : 6,2 in • <i>Passes</i> 1 • <i>Preassure Drop</i> : 0,1258 psi

16. *Heat Exchanger* (HE-03)

Fungsi	Memanaskan umpan NaOH dari tangki penyimpanan sebelum dimasukan ke dalam <i>Netralizer.</i>
Jenis	<i>Shell and Tube.</i>
Spesifikasi <i>Tube</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>OD</i> : 0,75 in • <i>ID Tube</i> : 0,62 in • <i>BWG</i> 16 • Susunan : <i>Triangular picth</i> • Jumlish <i>Tube</i> : 52 buah • <i>Passes</i> 1

	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Flow Area</i> : 0,1090 ft² • <i>Panjang Tube</i> : 16 ft • <i>Preassure Drop</i> : 0,0009 psi
Spesifikasi <i>Shell</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>ID</i> : 10 in • <i>Baffle Spacing</i> : 2 in • <i>Passes</i> : 1 • <i>Preassure Drop</i> : 1,1092 psi

17. *Heat Exchanger* (HE-04)

Fungsi	Memanaskan udara untuk proses pengeringan produk dalam <i>Spray Dryer</i> .
Jenis	<i>Shell and Tube</i> .
Spesifikasi <i>Tube</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>OD</i> : 1,5 in • <i>ID Tube</i> : 1,4 in • <i>BWG</i> : 18 • <i>Susunan</i> : <i>Trianguler picth</i> • <i>Jumlah Tube</i> : 406 buah • <i>Passes</i> : 1,875 in² • <i>Flow Area</i> : 0,4380 ft² • <i>Panjang Tube</i> : 18 ft • <i>Preassure Drop</i> : 0,00061 psi
Spesifikasi <i>Shell</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>ID</i> : 29 in • <i>Baffle Spacing</i> : 5,8 in • <i>Passes</i> : 1 • <i>Preassure Drop</i> : 0,0035 psi

18. Pompa (P-01)

Fungsi	Mengalirkan <i>Fatty alcohol</i> dari Truk Tangki ke dalam
--------	--

	Tangki penyimpanan.
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal Pumps</i>
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,0178 m³/s • <i>Head</i> : 4,38 m • Kecepatan rotasi : 2850 rpm • Kecepatan Spesifik : 0,38 rpm • <i>Power motor</i> : 2 HP, 220 - 240 V, 3 fase
Jumlah	1 unit

19. Pompa (P-02)

Fungsi	Mengalirkan <i>Fatty alcohol</i> dari Tangki penyimpanan ke dalam reaktor.
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal Pumps</i>
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,0014 m³/s • <i>Head</i> : 8,36 m • Kecepatan Rotasi : 9500 rpm • Kecepatan spesifik : 0,22 rpm • <i>Power motor</i> : 0,5 HP, 220 - 240 V, 3 fase
Jumlah	1 unit

20. Pompa (P-03)

Fungsi	Mengalirkan SO ₃ dari Truk Tangki ke dalam Tangki penyimpanan.
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal Pumps</i>
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,0178 m³/s • <i>Head</i> : 4,38 m • Putaran aktual : 2850 rpm • Putaran spesifik : 0,38 rpm • <i>Power motor</i> : 3 HP, 220 - 240 V, 3 fase

Jumlah	1 unit
--------	--------

21. Pompa (P-04)

Fungsi	Mengalirkan SO ₃ dari Tangki penyimpanan ke pemanas HE.
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal Pumps</i>
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,0003 m³/s • <i>Head</i> : 4,346151 m • Kecepatan Rotasi : 2850 rpm • Kecepatan spesifik : 0,050 rpm • <i>Power motor</i> : 0,5 HP, 220 - 240 V, 3 fase
Jumlah	1 unit

22. Pompa (P-05)

Fungsi	Mengalirkan <i>Alkyl alcohol Sulphonate</i> dan Asam Sulfat ke <i>Netralizer</i> .
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal Pumps</i>
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,00492 m³/s • <i>Head</i> : 17,63 m • Kecepatan Rotasi : 6650 rpm • Kecepatan spesifik : 0,16 rpm • <i>Power motor</i> : 1 HP, 220 - 240 V, 3 fase
Jumlah	1 unit

23. Pompa (P-06)

Fungsi	Mengalirkan NaOH dari Truk Tangki ke dalam Tangki penyimpanan.
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal Pumps</i>
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,0178 m³/s • <i>Head</i> : 38,70704 m

	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan Rotasi : 2850 rpm • Kecepatan spesifik : 0,07368 rpm • <i>Power motor</i> : 25 HP, 220 - 240 V, 3 fase
Jumlah	1 unit

24. Pompa (P-07)

Fungsi	Mengalirkan NaOH dari Tangki penyimpanan ke dalam <i>Netralizer</i> .
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal Pumps</i>
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,0003 m³/s • <i>Head</i> : 1,131809 m • Kecepatan Rotasi : 2850 rpm • Kecepatan Spesifik : 0,133074 rpm • <i>Power motor</i> : 0,5 HP, 220 - 240 V, 3 fase
Jumlah	1 unit

25. Pompa (P-08)

Fungsi	Mengalirkan Produk dari <i>Netralizer</i> ke dalam <i>Spray Dryer</i> .
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal Pumps</i>
Spesifikasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas : 0,002349 m³/s • <i>Head</i> : 71,3168 m • Kecepatan rotasi : 6.650 rpm • kecepatan Spesifik : 0,039518 rpm • <i>Power motor</i> : 5 HP, 220 - 240 V, 3 fase
Jumlah	1 unit

VII

UTILITAS

Unit pendukung proses atau sering di sebut dengan unit utilitas merupakan bagian penting untuk menunjang berlangsungnya suatu proses dalam pabrik. Unit pendukung proses (unit utilitas) yang tersedia dalam perancangan pabrik *Fatty Acid Sulphonate* ini terdiri dari:

1. Unit pengadaan dan pengolahan air

Unit ini berfungsi untuk menyediakan kebutuhan air mulai dari pengolahannya hingga siap digunakan untuk air proses air sanitasi, air umpan *boiler*, dan air pendingin.

2. Unit pengadaan steam

Unit ini berfungsi untuk proses pemanasan pada alat perpindahan panas.

3. Unit pengadaan listrik

Unit ini berfungsi menyediakan listrik sebagai tenaga penggerak pada peralatan proses maupun untuk penerangan. Listrik di suplai dari PLN dan generator sebagai cadangan bila listrik dari PLN mengalami gangguan.

4. Unit pengadaan bahan bakar

Unit ini berfungsi menyediakan bahan bakar yang digunakan untuk keperluan boiler dan generator.

5. Unit pengolahan limbah

Unit ini berfungsi untuk mengolah limbah yang dihasilkan dari seluruh area pabrik.

7.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

7.1.1 Penggunaan Air

Pada pra rancangan pabrik *Fatty Acid Sulphonate* ini, unit utilitas menyediakan air untuk kebutuhan sebagai berikut :

1. Air pendingin

Sebagai pendingin, air tidak dapat digunakan secara langsung. Akan tetapi harus disaring agar endapan kasar, sampah dan ikan atau binatang lain tidak terikut.

Pemilihan air sebagai media pendingin berdasarkan pertimbangan :

- Dapat diperoleh dalam jumlah yang berlimpah
- Mudah dalam pengolahan dan pengaturannya
- Kemampuan menyerap panas per satuan volume cukup tinggi
- Tidak terdekomposisi

Syarat – syarat yang harus dipenuhi agar dapat digunakan sebagai air pendingin adalah:

- Stabil dalam proses pendinginan
- Mampu membawa panas sebagai panas sensibel
- Efek korosi sekecil mungkin
- Menjamin kelancaran aliran (kesadahan)

2. Air umpan boiler

Boiler sebagai penghasil *steam* membutuhkan air dengan persyaratan tertentu sebagai umpannya. Syarat – syarat air agar dapat digunakan sebagai air umpan *boiler* :

- Lunak atau bebas sadah, tidak menimbulkan kerak pada kondisi *steam* yang dikehendaki maupun pada *tube head exchanger*.
- Bebas dari kandungan logam dan mineral
- Bebas dari kandungan gas – gas tersuspensi yang dapat menimbulkan korosi terutama gas O₂ dan CO₂

3. Air rumah tangga (air domestik)

Air yang akan digunakan untuk kebutuhan kantor dan rumah tangga harus aman untuk dikonsumsi. Syarat – syarat yang harus dipenuhi:

- Jernih atau tidak berwarna
- Tidak berasa dan tidak berbau
- Bebas bakteri dan *bacillus*

- Bebas dari kandungan logam berat
- Kadar klor bebas sekitar 0,7 ppm
- pH sekitar 7
- *Turbidity* (kekeruhan) sekitar 10 ppm

7.1.2 Pengadaan air

Dalam perancangan pabrik *Fatty Acid Sulphonate* ini sumber air yang digunakan berasal dari sungai Gresik. Penggunaan air sungai Gresik sebagai sumber air dengan pertimbangan:

- Air sungai Gresik mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan air sumur ditinjau dari segi peresapan air laut.
- Air sungai Gresik merupakan sumber air yang kontinuitasnya relatif tinggi sehingga kekurangan air dapat dihindari.
- Pengolahan air dari sungai Gresik relatif lebih mudah dan sederhana serta biaya pengolahannya lebih murah.
- Kebutuhan air tidak terlalu banyak, sehingga bila digunakan air laut sebagai sumber air kurang ekonomis.

7.1.3 Pengolahan air

Pengolahan air bertujuan untuk memenuhi syarat-syarat air untuk dapat digunakan. Pengolahan tersebut dapat meliputi pengolahan secara fisik dan kimia, penambahan desinfektan, maupun dengan *ion exchanger*.

1. Pemisahan kotoran dari air sungai (penyaringan)

Pemisahan dilakukan dengan cara melewatkan air sungai melalui kisi-kisi besi dengan tujuan agar air sungai bersih dari kotoran-kotoran fisik, berupa kayu, sampah, dan lain-lain.

2. Pengendapan

Tujuan dari proses ini adalah untuk mengendapkan kotoran – kotoran kasar yang berupa lumpur, pasir dan kotoran lain secara gravitasi didalam bak penampung sementara.

3. Penggumpalan (*Koagulasi*)

Air dari bak pengendapan dipompa menuju *clarifier* untuk mengendapkan kotoran tersuspensi melalui penambahan bahan kimia tertentu. Penambahan ini akan menyebabkan terjadinya endapan yang disebut *flock*. Bahan kimia yang digunakan pada proses ini adalah $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ atau lebih dikenal dengan tawas, dengan fungsi sebagai *koagulan*.

Selain sifat fisik, masalah yang terdapat pada air sungai adalah sifat-sifat kimianya. Hal ini dikarenakan air sungai tersebut mengandung zat-zat yang terlarut didalamnya, yang dengan sendirinya akan mempengaruhi sifat fisis dan kimia air sungai tersebut.

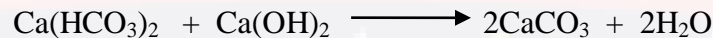
Sifat kimia yang sering menjadi masalah adalah kesadahan, yang terdiri dari :

- a. Kesadahan sementara, yaitu air mengandung senyawa $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Untuk menghilangkan kesadahan sementara, digunakan larutan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang diperoleh dari CaO yang larut dalam air. Reaksi yang terjadi adalah :



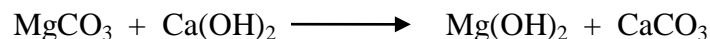
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ ditambahkan ke dalam air sadah dengan tujuan menghilangkan kesadahan sementara, menurut reaksi :



Dari reaksi di atas terlihat larutan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ selain berfungsi untuk menghilangkan kesadahan sementara, juga berfungsi untuk menciptakan suasana basa pada air sehingga dapat membantu proses *koagulasi* oleh alum menjadi lebih efektif.

- b. Kesadahan tetap, yaitu air mengandung senyawa-senyawa, CaSO_4 , MgSO_4 , MgCO_3 .

Untuk menghilangkan kesadahan tetap, digunakan Na_2CO_3 menurut reaksi :



Pada proses pembentukan *flock* melalui penambahan tawas, selain menyebabkan terjadinya endapan, juga membentuk gas CO_2 yang sebenarnya harus dihindarkan keberadaannya di dalam tangki atau alat proses. Gas CO_2 akan dibebaskan dari air sehingga gas ini tidak mengganggu dalam proses dan dalam tangki itu sendiri.

4. Penyaringan *sand filter*

Pada tahapan ini air dilewatkan dalam bak beton semacam *bed* yang berisi pasir dan batu kerikil. Fungsinya untuk menyaring kotoran – kotoran yang menggumpal di dalam air yang belum terendapkan. Air yang keluar dari *sand filter* ditampung dalam bak penampungan air bersih. Setelah melalui bagian ini air siap didistribusikan ke setiap bagian unit sesuai dengan kebutuhannya.

Untuk keperluan kantor, perumahan, poliklinik dan lain-lain maka air bersih yang berada dalam bak penampung unit air minum ditambahkan gas *chlorine* untuk membunuh kuman, sedangkan air yang digunakan untuk air proses dan air pendingin *reactor* dapat langsung dialirkan dari bak penampung menuju proses.

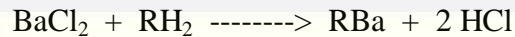
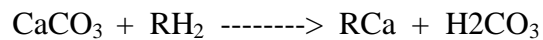
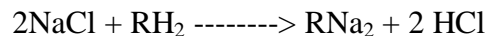
5. Demineralisasi (Penukaran Ion)

Khusus untuk air umpan boiler perlu pengolahan lebih lanjut untuk menghilangkan kandungan mineral dalam air yang dapat merusak *boiler* pada suhu dan tekanan tinggi. Pada kondisi tersebut, garam mineral akan membentuk kerak yang menempel pada dinding *boiler* sehingga kecepatan transfer panas akan berkurang. Unit demineralisasi ini terdiri dari *Kation Exchanger* untuk mengikat ion – ion positif dan *Anion exchanger* untuk mengikat ion – ion negatif yang ada dalam air lunak, di mana keduanya berbentuk silinder tegak yang berisi tumpukan butir – butir penukar resin.

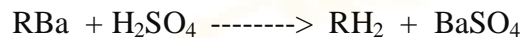
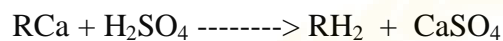
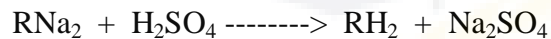
a. *Kation Exchanger*

Kation exchanger pada umumnya digunakan untuk mengeluarkan ion-ion yang tidak diinginkan dari larutan tanpa merubah konsentrasi total ion atau pH. Resin biasanya menggunakan ion Na^+ untuk menyerap, karena ion sodium biasanya mempunyai afinitas yang rendah sehingga mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi metal lain. (Rohm dan Hass, 1989).

Reaksi yang terjadi pada *Kation Exchanger*:



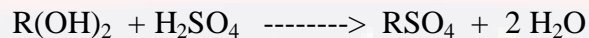
Apabila resin sudah jenuh dilakukan pencucian (regenerasi) dengan menggunakan larutan H_2SO_4 2 %. Reaksi yang terjadi pada waktu regenerasi adalah :



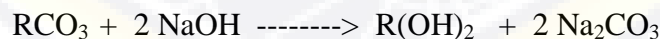
b. *Anion Exchanger*

Anion exchanger dapat dihasilkan dari berbagai resin atau bentuk dari senyawa *styrene, divinyl benzen*. *Anion exchanger* merupakan gugus fungsi dari amina. *Anion exchanger* jenis basa kuat hanya dapat mengambil ion dari asam kuat seperti HCl atau HNO_3 .

Reaksi yang terjadi pada *Anion Exchanger*:



Apabila resin sudah jenuh dilakukan pencucian (regenerasi) dengan menggunakan larutan NaOH 4 %. Reaksi yang terjadi pada waktu regenerasi adalah :



6. Deaerasi

Tangki deaerator berbentuk silinder tegak yang berisi bahan isian. Fungsi deaerasi adalah untuk menghilangkan gas – gas yang terlarut dalam air (seperti O_2 dan CO_2). Penghilangan gas dilakukan dengan memanaskan air di mana air disemprotkan dari atas dan *steam* dialirkan dari bawah secara *countercurrent*.

7.1.4 Kebutuhan air

Kebutuhan untuk:

1. Air pendingin

Reaktor	= 47.410,01 kg/jam
<u>Netraliser</u>	= <u>11.579,86 kg/jam (+)</u>
Jumlah	= 58.989,87 kg/jam

2. Steam

HE – 01	= 188,9674 kg/jam
HE – 02	= 20,9963 kg/jam
HE – 03	= 93,4167 kg/jam
<u>HE – 04</u>	= <u>9.821,3458 kg/jam (+)</u>
Jumlah	= 10.124,7261 kg/jam

3. Air Rumah Tangga dan Perkantoran

Digunakan untuk keperluan kegiatan di kantor, pabrik, kantin, laboratorium, perumahan dan lain-lain.

a. Air rumah tangga

Jumlah karyawan = 142 orang
 Dianggap 1 orang membutuhkan 140 kg air/hari
 Maka air perkantoran = 19.880 kg air/hari

b. Laboratorium

Karyawan Laboratorium = 4 orang
 Dianggap 1 orang membutuhkan 200 kg air/hari
 Maka kebutuhan air = 800 kg air/hari

c. Bengkel

Karyawan Bengkel = 4 orang
 Dianggap 1 orang membutuhkan 200 kg air/hari
 Maka kebutuhan air = 800 kg air/hari

d. Kantin

Dianggap pengguna fasilitas kantin 100 orang/hari
 1 orang membutuhkan 30 kg air/hari

e. *Air Hydrant/Taman*

Air pemadam kebakaran dialirkan melalui *hydrant* yang ditempatkan pada tempat-tempat tertentu yang dilengkapi dengan pompa bertekanan tinggi. Air untuk keperluan ini diambil dari bak air bersih, dan jika persediaan air tidak mencukupi, air dari semua bak dapat digunakan.

Kebutuhan air ini didapat dengan pengolahan air sungai yang terletak di dekat pabrik melalui beberapa tahapan pengolahan air sehingga diperoleh spesifikasi air yang sesuai dengan kebutuhan pabrik dan perumahan.

Dianggap 10 % dari kebutuhan air kantor

Maka kebutuhan air = 24.712,67 kg air/hari

f. *Air Poliklinik*

Dokter dan Paramedist = 2 orang

Dianggap 1 orang membutuhkan 200 kg air/hari

Maka kebutuhan air = 400 kg air/hari

Jumlah total kebutuhan Air Rumah Tangga, kantor dll adalah 46.622,67 kg air/hari atau 1.118.944,08 kg air/jam.

7.2 Unit Pembangkit *Steam*

Pada perancangan ini *steam* yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan panas pada alat penukar panas dan reaktor. *Steam* yang dibutuhkan dihasilkan oleh *boiler* dengan menggunakan *boiler feed water* sebagai umpannya. Kebutuhan *steam* yaitu 10.124,7262 kg/jam. untuk menjaga kemungkinan kebocoran pada saat distribusi, jumlah *steam* ditingkatkan sebanyak 20%.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah steam} &= 1,2 \times 10.124,7262 \text{ kg/jam} \\ &= 12.149,6714 \text{ kg/jam} \\ &= 26.784,1937 \text{ lbm/jam} \end{aligned}$$

7.3 Unit Pembangkit Listrik

Pada perancangan pabrik ini, kebutuhan akan tenaga listrik dipenuhi oleh PLN dan generator. Generator yang digunakan adalah generator arus bolak-balik yaitu

berdasarkan pertimbangan tenaga dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai dengan kebutuhan menggunakan transformator. Generator yang digunakan jenis generator AC 3 phase dengan pertimbangan :

1. Tenaga listrik yang stabil dan daya lebih besar
2. Kawat penghantar yang digunakan lebih sedikit

Kebutuhan listrik pabrik meliputi :

1. Listrik untuk keperluan proses dan pengolahan air

Tabel 7.3.1 Listrik untuk keperluan proses dan pengolahan air

Kode	Nama alat	Hp	Jumlah	Total
P-01	Pompa feed C14H29OH ke T-01	2	1	2
P-02	Pompa feed C14H29OH ke R-01	0,5	1	0,5
P-03	Pompa feed SO3 ke T-02	3	1	3
P-04	Pompa feed SO3 ke R-01	0,5	1	0,5
P-05	Pompa produk R-01 ke N-01	1	1	1
P-06	Pompa feed NaOH ke T-03	25	1	25
P-07	Pompa feed NaOH ke N-01	0,5	1	0,5
P-08	Pompa produk N-01 ke SD	5	1	5
N-01	Netralizer	1	1	1
C-01	Kompresor	10	1	10
SC	Screw conveyor	0,5	1	0,5
BE	Bucket elevator	1	1	1
BL	Blower	450	1	450
Total				500

2. Keperluan Utilitas

Tabel 7.3.2 Keperluan Utilitas

Nama alat	Hp	Jumlah	Total
Pompa raw water	2	2	4
Pompa softener	2	2	4
Pompa daerator	2	2	4
Pompa sanitasi	2	2	4
Pompa pendingin	2	2	4
Pompa boiler	5	2	10
Pompa kondensat	2	2	4
Pompa pengolahan limbah	3	2	6
Pompa bahan bakar	2	2	4

Draft fan cooling water	10	1	10
Kompresor udara tekan	10	1	10
Total			64

Kebutuhan total listrik = listrik proses + listrik utilitas

$$= 500 + 64$$

$$= 564 \text{ kW}$$

Jika diketahui 1 Hp = 0,7475

Maka power yang dibutuhkan = $564 \text{ kW} \times 0,7475 = 421,59 \text{ kW}$

Kebutuhan listrik untuk penerangan dan AC :

Besarnya tenaga listrik yang dibutuhkan untuk penerangan proses dipakai standar yang terdapat dalam buku *Perry, edisi 3 pg.1758*, lumen *output* tiap lampu *instant strating daylight* adalah 1.920 lumen

a. Jumlah lumen di dalam ruangan = 10.882.314,13 lumen

b. Jumlah lampu yang digunakan = $10.882.314,13/1920$

$$= 5.667,87 \text{ buah}$$

Untuk jalan/taman, parker, pengolahan limbah, area tangki-tangki, dan area perluasan digunakan lampu merkuri 250 W. Lumen *output* tiap lampu adalah 10.000 lumen.

a. Jumlah lumen diluar ruangan = 1.603.822,755 lumen

b. Jumlah lampu yang digunakan = $1.603.822,755 / 10.000$

$$= 160,38 \text{ buah} = 161 \text{ buah}$$

c. Total daya penerangan = $(5.668 \times 40) + (161 \times 250)$

$$= 26.6970 \text{ W}$$

$$= 266,97 \text{ kW}$$

d. Listrik untuk AC diperkirakan sebesar 15.000 W (15 kW)

e. Kebutuhan listrik untuk instrumentasi diperkirakan 10 kW

Total kebutuhan listrik = $421,59 \text{ kW} + 266,97 \text{ kW} + 15 \text{ kW} + 10 \text{ kW}$

$$= 713,56 \text{ kW}$$

Faktor keamanan 10% maka total kebutuhan listrik menjadi :

$$= 1,1 \times 713,56 \text{ kW} = 784,916 \text{ kW}$$

Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut diatas diperoleh dari generator yang merupakan cadangan bila listrik PLN mengalami gangguan. Digunakan generator dengan efisiensi 80%.

Input generator = $784,916 \text{ kW} / 0,8 = 981,145 \text{ kW}$

Ditetapkan input generator sebesar 1000 kW, sehingga untuk keperluan lain masih tersedia

= $1.000 - 981,145 = 18,8555 \text{ kW}$

Spesifikasi generator :

Tipe = AC Generator

Kapasitas = 1.000 kW

Tegangan = 220/360 volt'

Efisiensi = 80%

Fase = 3 phase

Jumlah = 2 buah

Bahan bakar = solar

7.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada *boiler* dan generator. Bahan bakar yang digunakan adalah solar yang diperoleh dari Pertamina. Pemilihan didasarkan pada pertimbangan bahan bakar cair :

1. Mudah di dapat
2. Keseimbangannya terjamin
3. Mudah dalam penyimpanan

Bahan bakar yang digunakan yaitu :

1. Jenis bahan bakar : solar
2. Heating value : 19.440 btu/lb
3. Efisiensi bahan bakar : 80 %
4. Sg solar : 0,8691
5. Densitas solar : 54,26 lb/ft³

Kapasitas input generator = 1.000 kW (1.000.000 W)

$$= 1.000.000 / 0,029407$$

$$= 34.005.508,89 \text{ btu/jam}$$

$$\text{Kebutuhan solar} = \frac{34.005.508,89}{(0,8 \times 0,8691 \times 19.440)} = 2.515,8994 \text{ lb/jam} = 46,36 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 1.312,9152 \text{ L/jam}$$

7.5 Unit Pengolahan Limbah

Limbah yang dihasilkan dari pabrik ini dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu :

1. Bahan buangan cair

Pengolahan bahan buangan cair, yaitu :

- a. Air buangan sanitasi berasal dari toilet sekitar pabrik dan perkantoran. Air ini dikumpulkan dan diolah dalam unit stabilisasi menggunakan lumpur aktif, aerasi, dan injeksi klorin. Klorin ini berfungsi sebagai desinfektan untuk membunuh mikroorganisme yang dapat menimbulkan penyakit
- b. Air berminyak yang berasal dari buangan pelumas pada pompa, dipisahkan dengan cara perbedaan berat jenisnya. Minyak dibagian atas dialirkan ke penampung terakhir kemudian di bakar
- c. Cairan sisa proses, dinetralkan dalam kolam netralisasi.

2. Bahan buangan padatan

Limbah padat berupa lumpur atau pasir yang dihasilkan dari unit pengolahan air dimanfaatkan sebagai penimbun yang sebelumnya di turunkan kadar airnya. Limbah padat dari toilet diolah di *septic tank*.

7.6 Laboratorium

Laboratorium merupakan bagian yang sangat penting dalam menunjang proses produksi dan menjaga mutu produk, sedangkan peran yang lain adalah pengendalian pencemaran lingkungan, baik udara maupun limbah cair.

Laboratorium kimia merupakan sarana untuk mengadakan pemeriksaan terhadap bahan baku, proses, maupun produksi. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan dan menjaga kualitas atau mutu produk yang dihasilkan. Analisa yang dilakukan dalam rangka pengendalian mutu analisa bahan baku dan bahan pendukung, analisa proses dan analisa kualitas produk. Tugas laboratorium antara lain :

1. Memeriksa bahan baku dan bahan pendukung yang akan digunakan menganalisa dan meneliti produk yang akan dipasarkan
2. Melakukan riset/percobaan yang ada kaitannya dengan proses produksi
3. Memeriksa zat-zat yang dapat menyebabkan pencemaran pada buangan pabrik.

7.6.1 Program kerja laboratorium

Program kerja laboratorium meliputi program pengendalian mutu dan pengujian mutu. Pengendalian mutu dan pengujian mutu dilakukan oleh laboratorium kontrol proses. Analisa-analisa yang dilakukan adalah :

- a. Analisa proses produksi meliputi
 - Analisa bahan baku meliputi warna, densitas, viskositas, *specific gravity*, dan kemurnian masing-masing bahan baku
 - Analisa bahan baku dalam aliran proses meliputi viskositas, berat jenis, serta kandungan bahan.
 - Analisa produk meliputi kemurnian, densitas, viskositas, dan *specific gravity*.
- b. Analisa bahan dalam aliran proses :
 - Analisa raw water yang berupa air sungai
 - Air pendingin meliputi pH, kandungan silika, daya hantar listrik, suhu, kekeruhan dan lain-lain
 - Air umpan boiler, analisa meliputi pH, daya hantar listrik, suhu, oksigen terlarut, kebebasan, kesadahan, kadar besi dan minyak.
 - Air snaitasi, meliputi pH, kandungan *chlor* sisa, suhu, kekeruhan dan warna.
- c. Analisa produk

7.6.2 Metode analisa

Metode analisa dan instruksi kerja dilakukan sesuai dengan SOP (*Standar Operational Procedure*).

7.6.3 Alat-alat utama laboratorium

Alat-alat utama yang digunakan di laboratorium, antara lain :

- Alat untuk menganalisa kadar air
- Alat untuk mengukur viskositas produk
- Alat untuk mengukur *specific gravity*
- Alat untuk menganalisa kesadahan air
- pH meter untuk menganalisa pH air dan produk



VIII

LAY OUT PABRIK DAN PERALATAN PROSES

8.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang sangat penting dan menentukan keberhasilan pabrik yang akan didirikan. Lokasi suatu pabrik dapat mempengaruhi kedudukan pabrik dalam persaingan maupun dalam penentuan kelangsungan hidupnya. Penentuan lokasi pabrik yang tepat perlu pertimbangan yang berdasarkan aspek-aspek teknis dan ekonomis.

Idealnya, lokasi yang dipilih harus dapat memberikan keuntungan untuk jangka panjang dan memberikan keuntungan untuk perluasan.

Dalam hal ini ada dua faktor untuk menentukan lokasi pabrik yaitu:

1. Faktor Utama

a. Letak pabrik terhadap sumber bahan baku.

Bahan baku dalam proses pengolahan merupakan faktor yang sangat penting dalam pemilihan lokasi yang tepat. Dilihat dari segi bahan baku maka suatu pabrik sebaiknya didirikan di daerah sumber bahan baku tersebut tersedia sehingga pengadaannya dengan mudah dapat diatasi.

b. Pemasaran.

Pemasaran adalah faktor yang perlu mendapat perhatian dalam suatu industri, karena berhasil tidaknya masalah pemasaran sangatlah menentukan besarnya penghasilan industri tersebut. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- 1) Dimana hasil produksi harus dipasarkan.
- 2) Berapa kemampuan daya serap pasar dan bagaimana pemasaran di masa yang akan datang.
- 3) Pengaruh persaingan masa sekarang dan yang akan datang.
- 4) Jarak pasaran dan lokasi pabrik serta cara mencapai daerah pemasaran.

c. Tenaga listrik dan bahan bakar.

Mengenai tenaga listrik dan bahan bakar sehubungan dengan lokasi pabrik, maka diusahakan unit pembangkit tenaga listrik sendiri atau dari Perusahaan Listrik Negara (PLN).

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- 1) Bagaimana kemungkinan pengadaan terhadap tenaga listrik di lokasi pabrik dan kemungkinan memperoleh tenaga listrik dari PLN.
- 2) Berapa harga listrik dan bahan bakar.
- 3) Kapasitas persediaan yang ada waktu sekarang dan yang akan datang.
- 4) Kemungkinan terjadinya polusi udara.

d. Tenaga kerja

Sebelum menentukan lokasi pabrik, masalah tenaga kerja perlu diadakan peninjauan, karena jangan sampai masalah ini dapat menghambat kerja pabrik. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- 1) Mudah tidaknya mendapatkan tenaga kerja serta bagaimana kondisi sosial buruh di daerah tersebut.
- 2) Jarak antara tempat tinggal tenaga kerja dengan lokasi pabrik.

e. Undang-undang dan peraturannya.

Hal-hal yang perlu ditinjau dalam undang-undang dan peraturannya adalah :

- 1) Bagaimana ketentuan mengenai penentuan daerah industri.
- 2) Ketentuan mengenai penggunaan jalan umum yang ada.
- 3) Ketentuan lain yang umum mengenai industri di daerah tersebut.

f. Karakteristik lokasi.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam karakteristik dari lokasi adalah :

- 1) Susunan tanahnya, daya dukung tanah terhadap pondasi bangunan pabrik, pondasi jalan serta pengaruh terhadap air.
- 2) Penyediaan tanah untuk keperluan pendirian unit baru.

2. Faktor khusus, meliputi :

a. Transportasi

Faktor transportasi perlu mendapat perhatian dalam penentuan lokasi yang tepat, baik antara bahan dasar maupun produk-produk yang dihasilkan.

Fasilitas-fasilitas yang perlu ada :

- 1) Sungai atau laut yang dapat dilalui kapal pengangkut serta pelabuhan yang ada.
- 2) Jalan raya yang dapat dilalui kendaraan dengan jarak terpendek.

Pada dasarnya adalah kelancaran suplai bahan baku dan pendistribusian produk dapat dijamin dengan biaya yang relatif murah dan dalam waktu yang cepat.

b. Waste disposal

Mengenai *waste disposal*, apakah sudah tersedia tempat pembuangan. Bila buangan pabrik berbahaya bagi kegiatan dan kehidupan sekitarnya, maka harus diperhatikan :

- 1) Hukum dan peraturan *waste disposal* yang ada.
- 2) Kemungkinan pembuangan ke dalam aliran sungai.

c. Sumber air

Bagi industri kimia, air adalah kebutuhan yang sangat mutlak untuk memenuhi kebutuhan proses dan operasi pendinginan, keperluan sanitasi karyawan, pembersihan pabrik, keperluan menjaga kebakaran dan lain-lain. Kebutuhan air dapat diperoleh dengan dua macam cara yaitu :

- 1) Langsung dari sumber mata air dan sungai.
- 2) Dari perusahaan daerah air minum (PDAM).

Apabila kebutuhan air sangat besar, pengambilan air dari sumber air atau sungai adalah lebih ekonomis, walaupun penyediaan air sudah terpenuhi tetapi harus diperhatikan sampai seberapa jauh sumber itu dapat melayani kebutuhan pabrik dan bagaimana kualitas air baku yang dapat disediakan.

d. Iklim alam sekitar

Hal yang perlu mendapatkan perhatian adalah kondisi alam, karena kondisi alam yang menyulitkan konstruksi akan memperbesar biaya konstruksi.

Berdasarkan pertimbangan dari kedua faktor tersebut maka pabrik *Fatty Acid Sulphonate* ini cocok didirikan di daerah Gresik, Jawa Timur.

3. Faktor pendukung

Faktor pendukung juga perlu mendapatkan perhatian di dalam pemilihan lokasi pabrik karena faktor-faktor yang ada didalamnya selalu menjadi pertimbangan agar pemilihan pabrik dan proses produksi dapat berjalan lancar. Faktor pendukung ini meliputi:

1. Harga tanah dan gedung dikaitkan dengan rencana di masa yang akan datang

2. Kemungkinan perluasan pabrik
3. Tersedianya fasilitas servis, misalnya di sekitar lokasi pabrik tersebut atau jarak yang relatif dekat dari bengkel besar dan semacamnya.
4. Tersedianya air yang cukup
5. Peraturan pemerintah daerah setempat
6. Keadaan masyarakat daerah sekitar (sikap keamanan dan sebagainya)
7. Iklim
8. Keadaan tanah untuk rencana pembangunan dan pondasi
9. Perumahan penduduk atau bangunan lain.

8.2 Lay Out Pabrik

Tata letak adalah tempat kedudukan keseluruhan bagian dari perusahaan yang meliputi tempat kerja alat, tempat kerja orang, tempat penimbunan bahan dan hasil, tempat utilitas, perluasan, dan lain-lain. Bangunan-bangunan yang ada di lokasi pabrik adalah :

1. Area proses

Area proses merupakan tempat berlangsungnya proses *fatty acid sulphonate*, daerah ini diletakkan pada lokasi yang memudahkan suplai bahan baku dari tempat penyimpanan dan pengiriman produk ke area penyimpanan produk serta mempermudah pengawasan dan perbaikan alat-alat.

2. Area tangki penyimpanan bahan baku dan produk

Area penyimpanan merupakan tempat penyimpanan bahan baku dan produk yang dihasilkan. Penyimpanan bahan baku dan produk diletakkan di daerah yang mudah dijangkau oleh peralatan pengangkutan.

3. Area utilitas

Area ini merupakan lokasi dari alat-alat penunjang produksi. Berupa tempat penyediaan air, tenaga listrik, pemanas, dan sarana pengolahan limbah.

4. Bengkel mekanik untuk pemeliharaan

Area ini merupakan perbengkelan untuk melakukan kegiatan perawatan dan perbaikan peralatan sesuai dengan kebutuhan pabrik.

5. Kantor

Area perkantoran merupakan daerah pusat kegiatan administrasi pabrik untuk urusan-urusan dengan pihak-pihak luar maupun dalam.

6. Laboratorium

Area ini merupakan tempat untuk *quality control* terhadap produk ataupun bahan baku, serta tempat untuk penelitian dan pengembangan.

7. Fasilitas umum

Fasilitas umum terdiri dari kantin, klinik pengobatan, lapangan parkir serta mushollah dan gereja sebagai tempat peribadatan. Fasilitas umum ini diletakkan sedemikian rupa sehingga seluruh karyawan dapat memanfaatkannya.

Pengaturan tata letak pabrik perlu mendapatkan perhatian khusus. Penentuan tata letak alat ini harus diperhatikan dari segi operasional, perawatan, keamanan dan konstruksi yang baik dan memuaskan.

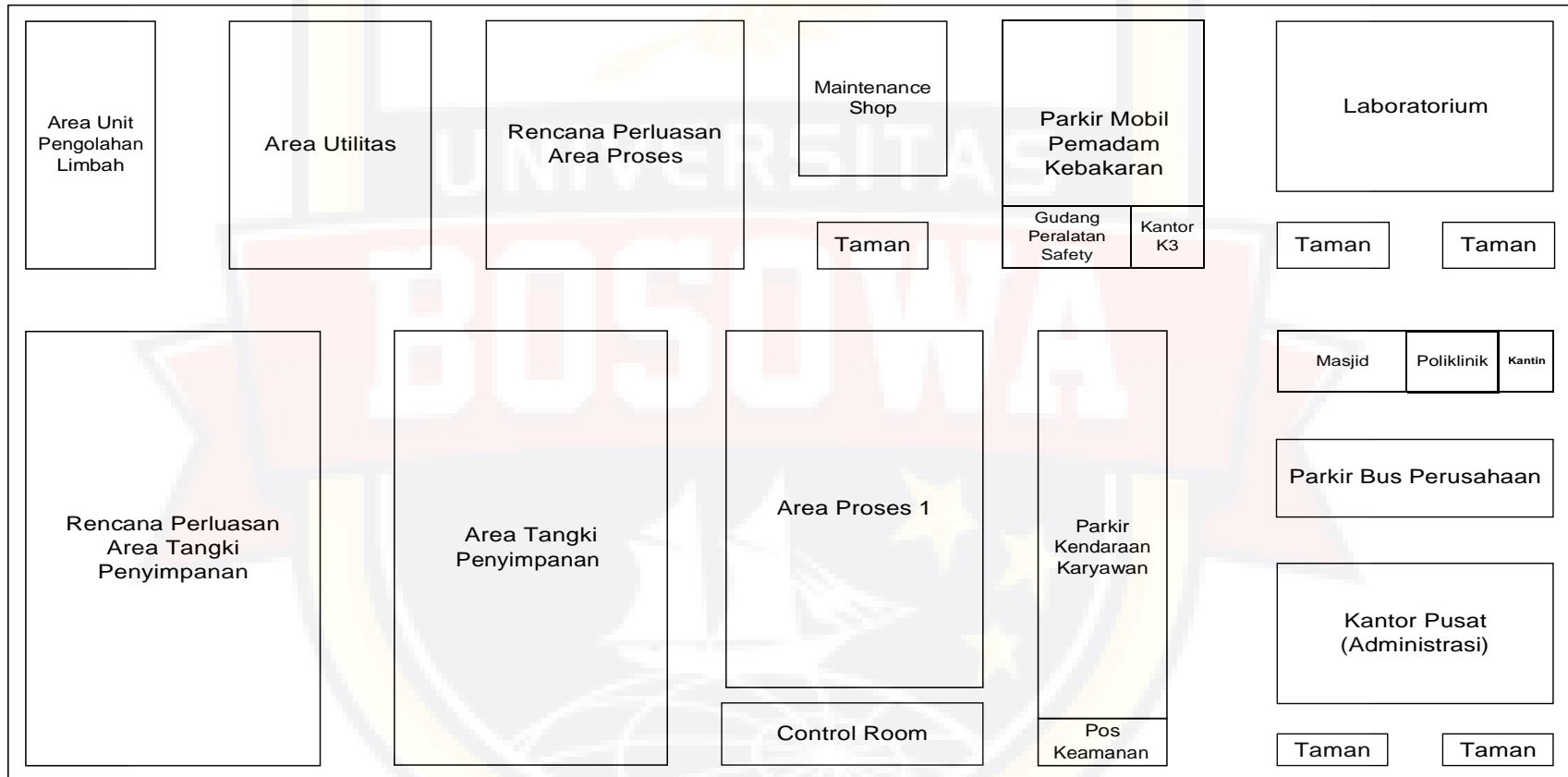
Tata letak pabrik harus diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan :

1. Konstruksi yang ekonomis.
2. Pemeliharaan yang efisien sehingga menghemat biaya.
3. Operasional yang baik.
4. Dapat menimbulkan kegairahan kerja dan menjamin keselamatan kerja yang tinggi.

Untuk mendapatkan tata letak pabrik yang optimum harus dipertimbangkan beberapa faktor, yaitu :

1. Cara peletakan peralatan haruslah sedemikian rupa sehingga mempermudah pemeliharaan.
2. Setiap alat disusun berurutan menurut fungsinya masing-masing sehingga tidak menyulitkan aliran proses.
3. Faktor keselamatan kerja harus diperhatikan agar bahaya dapat dihindari.
4. Pengaturan ruang agar memudahkan pengontrolan terhadap pengoperasian pabrik.
5. Tata letak bangunan harus memungkinkan untuk pengembangan pabrik di masa yang akan datang.

Gambar Tata Letak Pabrik Fatty Acid Sulphonate



Gambar 8.2 Lay Out Pabrik Fatty Acid Sulphonate

8.3. Lay Out Peralatan

Penyusunan letak dari alat-alat proses yang optimum dapat memberikan suatu operasi yang efisien dan meminimalkan biaya konstruksi. Tata letak alat proses ini sangat erat hubungannya dengan perencanaan bangunan pabrik dan bertujuan agar :

1. Alur proses produksi berjalan lancar dan efisien
2. Karyawan dapat bekerja dengan leluasa, aman, selamat, dan nyaman

Ada tiga macam penyusunan tata letak alat proses, yaitu :

1. Tata letak produk atau garis (*product lay out*)

Yaitu susunan mesin/peralatan berdasarkan urutan proses produksi. Biasanya digunakan pada pabrik yang memproduksi suatu jenis produk dalam jumlah besar dan mempunyai tipe proses kontinyu.

2. Tata letak proses atau fungsional

Yaitu penyusunan mesin/peralatan berdasarkan fungsi yang sama pada ruang tertentu. Biasanya digunakan pada pabrik yang memproduksi lebih dari satu jenis produk.

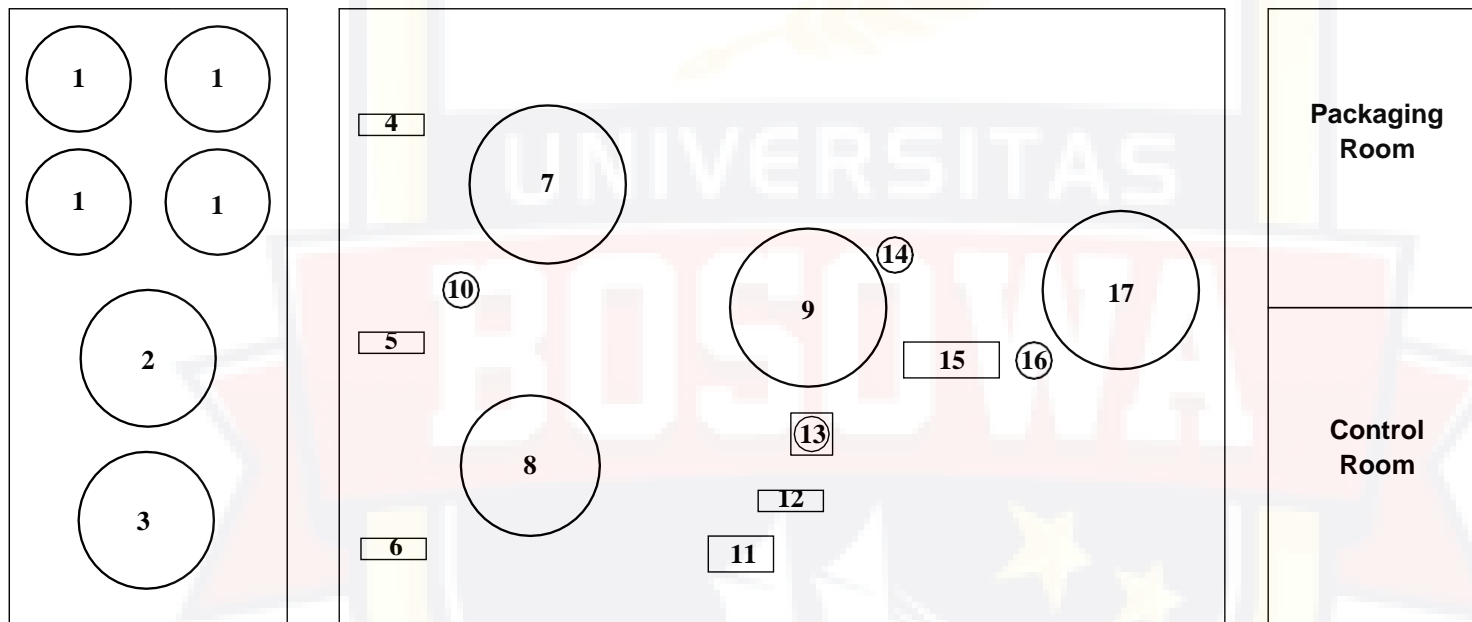
3. Tata letak kelompok

Yaitu kombinasi dari tata letak produk dan tata letak proses. Biasanya dipakai oleh perusahaan besar yang memproduksi lebih dari satu jenis produk.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan tata letak suatu pabrik antara lain :

1. Letak masing-masing alat produksi sedemikian sehingga memberikan kelancaran dan keamanan bagi tenaga kerja. Selain itu, penempatan alat-alat produksi diatur secara berurutan sesuai dengan urutan proses kerja masing-masing berdasarkan pertimbangan teknik, sehingga didapat diperoleh efisiensi teknis dan ekonomis.
2. Letak alat harus mempertimbangkan faktor perawatan yaitu dengan memberikan area yang cukup untuk pembongkaran dan penambahan alat bantu terutama pada saat *turn around* pabrik.
3. Alat-alat yang berisiko tinggi harus diberi jarak yang cukup sehingga aman dan mudah mengadakan penyelamatan jika terjadi kecelakaan, kebakaran dan sebagainya.

Tata Letak Alat Proses Pabrik Fatty Acid Sulphonate



Keterangan :

- 1. Tangki Fatty Alcohol
- 2. Tangki Sulfur Trioxide
- 3. Tangki NaOH
- 4. Head Exchanger 1
- 5. Head Exchanger 2

- 6. Head Exchanger 3
- 7. Bubble Reaktor
- 8. Netralizer
- 9. Spray Dryer
- 10. Compressor

- 11. Filter Udara
- 12. Head Exchanger 4
- 13. Blower
- 14. Cyclone
- 15. Screw Conveyor

- 16. Bucket Elevator
- 17. Silo

Gambar 8.3 Lay Out Alat Proses Pabrik Fatty Acid Sulphonate

4. Letak alat-alat ukur dan alat kontrol harus mudah dijangkau operator.

IX

STRUKTUR ORGANISASI PERUSAHAAN

Berdasarkan rencana produksi dari pabrik *Fatty Acid Sulphonate* dengan kapasitas produksi 50.000 ton/tahun perusahaan ini cukup besar. Oleh karena itu perlu suatu sistem organisasi yang akan mengatur mekanisme kerja di dalam perusahaan/pabrik serta memecahkan masalah-masalah yang muncul di dalam perusahaan atau dengan kata lain suatu bentuk perusahaan harus memiliki sifat yang dinamis, yang berarti perusahaan itu harus dapat menyesuaikan diri terhadap segala perubahan untuk mencapai tujuan yang maksimum.

9.1 Organisasi Perusahaan

Sesuai dengan keadaan dan kebutuhan perusahaan, maka pabrik *Fatty Acid Sulphonate* ini direncanakan berbentuk Perseroan Terbatas (PT). Adapun alasan pemilihan bentuk ini adalah :

1. Bentuk perusahaan ini mudah mendapatkan modal, yaitu selain dari bank juga bisa diperoleh dari penjualan saham.
2. Tanggung Jawab pemegang saham terbatas, karena segala sesuatu yang menyangkut kelancaran produksi dipegang oleh pemimpin perusahaan, dimana kekayaan pemegang saham terpisah dari kekayaan perusahaan.
3. Kelangsungan hidup perusahaan lebih terjamin, karena tidak terpengaruh oleh berhentinya pemegang saham, direksi dan karyawan.

Dalam melaksanakan kegiatan usahanya, perseroan terbatas diatur oleh :

1. Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS)

Rapat ini dilakukan sesuai dengan jangka waktu yang ditetapkan dalam akte pendirian perusahaan, yang umumnya dilakukan setahun sekali. Badan ini mengangkat Dewan Komisaris dan Dewan Direksi, serta memutuskan kebijaksanaan umum yang harus dijalankan oleh perusahaan.

2. Dewan Komisaris

Dewan ini bertugas untuk mewakili para pemegang saham dan berfungsi untuk mengawasi Dewan Direksi agar didalam menjalankan tugas tidak terjadi

penyimpangan yang akan merugikan perusahaan maupun dalam menjalankan kebijaksanaan umum yang telah ditetapkan, serta memberikan saran atau petunjuk kepada Dewan Direksi.

3. Manajer

Manajer diangkat dan diberhentikan oleh rapat umum pemegang saham. Dewan direksi merupakan tanggung jawab dalam melaksanakan kebijaksanaan umum perusahaan yang telah ditetapkan oleh rapat umum pemegang saham (RUPS). Manajer di sini dibantu oleh tiga kepala departemen.

9.2 Struktur Organisasi Perusahaan

Untuk mencapai efisiensi perusahaan tertinggi, maka diperlukan struktur organisasi yang baik. Struktur organisasi ini dapat menentukan kelancaran aktivitas perusahaan sehari-hari, dalam memperoleh laba yang maksimal, dapat berproduksi secara *continue* (berkesinambungan) dan dapat berkembang.

Struktur organisasi perusahaan disusun sebagaimana layaknya suatu badan usaha yang bergerak dalam industri dan perdagangan, yang membagi unit dalam organisasi secara fungsional.

Sistem organisasi yang dianut perusahaan ini adalah sistem organisasi garis dan staf yang mempunyai beberapa keuntungan :

1. Memudahkan pengambilan keputusan
2. Disiplin kerja dapat dipelihara dengan baik
3. Pengarahan dan informasi dapat diperoleh dengan mudah dengan melihat garis dalam sistem yang bersangkutan.
4. Pembagian tugas menjadi jelas antara pelaksana tugas pokok dan pelaksana tugas penunjang.

Dalam menjalankan tugasnya, Direktur diwabahi oleh empat Manajer, yaitu :

1. Manajer Teknik dan Produksi, membawahi
 - a. Bagian produksi, terdiri dari :
 - 1) Divisi proses
 - 2) Divisi utilitas
 - 3) Penelitian dan pengembangan

- 4) Divisi Quality Control (QC)
- 5) Gudang
- b. Bagian keteknikan, terdiri dari :
 - 1) Divisi mesin
 - 2) Divisi instrumen
 - 3) Divisi pemeliharaan
2. Manajer keuangan, membawahi :
 - a. Divisi distribusi dan pemasaran
 - b. Divisi promosi
 - c. Divisi *accounting*
 - d. Divisi pembelian luar negeri
 - e. Divisi pembelian dalam negeri
3. Manajer personalia dan umum, membawahi :
 - a. Bagian personalia
 - 1) Divisi kepegawaian
 - 2) Divisi pelatihan dan pendidikan
 - 3) Divisi humas
 - b. Bagian umum
 - 1) Divisi keamanan
 - 2) Divisi transportasi

9.3 Tugas dan Wewenang

1. Rapat umum pemegang saham

Rapat umum pemegang saham merupakan kekuasaan tertinggi dalam perusahaan. Tugas dan wewenang RUPS adalah :

- a. Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris serta mengesahkan anggota pemegang saham bila ada yang bergabung maupun mengundurkan diri.
- b. Menetapkan pertanggungjawaban Dewan Komisaris
- c. Mengesahkan anggaran pendapatan dan biaya yang dibuat oleh Dewan Direksi

- d. Menetapkan besar laba tahunan yang diperoleh untuk dibagikan dan dipakai kembali untuk penambahan modal demi kemajuan perusahaan.

2. Dewan komisaris

Dewan ini merupakan wakil dari para pemegang saham yang berfungsi sebagai badan pengawas. Tugas dan wewenang Dewan Komisaris adalah :

- a. Memberikan pertanggungjawaban kepada RUPS
- b. Mewakili para pemegang saham dalam mengawasi pekerjaan Direktur
- c. Mengawasi pekerjaan Direksi secara kontinu dan teratur
- d. Melaporkan hasil kerja secara rutin kepada pemegang saham

3. Direktur utama

Direktur dipilih oleh RUPS untuk menjalankan kegiatan operasional perusahaan secara keseluruhan. Tugas dan wewenang Direktur adalah :

- a. Bertanggungjawab terhadap RUPS
- b. Melaksanakan dan mengarahkan kegiatan perusahaan agar sesuai dengan keputusan RUPS

4. Manajer produksi dan teknik

Dalam melaksanakan tugasnya, Manajer Produksi dan Teknik membawahi :

- a. Kepala bagian Produksi, mempunyai tugas dan wewenang :
 - 1) Bertanggungjawab dalam pelaksanaan operasi selama proses berlangsung
 - 2) Bertanggungjawab atas kelancaran fungsional unit-unit sarana penunjang
 - 3) Mengawasi persediaan bahan baku dan penyimpanan hasil produksi serta transportasi hasil produksi
 - 4) Bertanggungjawab atas pemeriksaan mutu produk
- b. Kepala bagian keteknikan mempunyai tugas dan wewenang :
 - 1) Mengawasi pemeliharaan peralatan
 - 2) Melakukan perbaikan serta kelancaran mesin dan peralatan produksi

5. Manajer pemasaran dan distribusi

- a. Kepala bagian Pemasaran mempunyai tugas dan wewenang :
 1. Menentukan daerah pemasaran hasil produksi yang sesuai dengan peraturan yang berlaku

2. Meningkatkan hubungan kerja sama yang baik dengan perusahaan yang terkait dan hubungan dengan masyarakat sebagai konsumen.

b. Kepala bagian Distribusi mempunyai tugas dan wewenang :

1. Menetapkan dan menentukan penyebaran an penyaluran barang-barang produksi sehingga jalur distribusi lancar dan aman sampai kepada konsumen
2. Meningkatkan kerjasama dengan pihak-pihak terkait untuk kelancaran dan keamanan jalur distribusi.

6. Manajer keuangan

Manajer keuangan mempunyai wewenang dan tugas yaitu :

1. Mengawasi dan mengatur setiap pengeluaran untuk membeli bahan baku dan pemasukan dari penjualan produk
2. Mengatur dan melakukan pembayaran gaji karyawan
3. Mengatur dan merencanakan pembelian barang investasi

7. Manajer personalia dan umum

1. Kepala bagian Personalia mempunyai wewenang dan tugas :

- a. Membawahi staf kepegawaian yang bertugas untuk penerimaan karyawan dan mengadakan pembinaan serta pemutusan hubungan kerja.
- b. Memberi latihan dan pendidikan kepada karyawan-karyawan perusahaan
- c. Menangani masalah-masalah yang timbul dari karyawan yang berkenaan dengan perusahaan

8. Sekretaris

Bertugas sebagai asisten direktur maupun manajer, mempunyai tugas dan wewenang yaitu:

1. Menyusun agenda kegiatan (rapat atau pertemuan bisnis)
2. Notulis dalam rapat dan pertemuan-pertemuan formal yang diadakan
3. Mengatur dan membuat surat menyurat yang berhubungan dengan kepentingan kegiatan perusahaan.

9. Kepala Divisi

Mempunyai tugas dan wewenang :

1. Bertanggung jawab untuk memimpin bagiannya agar berjalan dengan baik
2. Mengadakan pengawasan dan evaluasi atas semua kegiatan dalam bidangnya dan melepaskan kepada kepala bagian secara terbuka

9.4 Pembagian Jam Kerja

Pabrik beroperasi selama 330 hari dalam 1 tahun dengan waktu kerja 24 jam setiap hari. Untuk hari kerja unit produksi adalah hari Senin sampai Minggu. Sisa hari yang bukan libur digunakan untuk perbaikan atau perawatan dan *shut down*. Untuk menjaga kelancaran proses produksi serta mekanisme administrasi dan pemasaran, waktu kerja diatur dalam Sistem *Shift* dan Non *Shift*.

1. Sistem *Shift*

Karyawan *Shift* adalah karyawan yang secara langsung menangani proses produksi atau mengatur bagian-bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan masalah keamanan serta kelancaran produksi. Kelompok kerja *shift* ini dibagi menjadi 3 *shift* sehari, masing-masing bekerja selama 8 jam, sehingga harus dibentuk 4 kelompok dimana setiap hari 3 kelompok bertugas dan 1 kelompok istirahat.

Aturan adanya kerja karyawan *shift*:

Shift 1 : Pukul 07.00 – 15.00

Shift 2 : Pukul 15.00 – 23.00

Shift 3 : Pukul 23.00 – 07.00

Tabel 9.4.1 Pembagian Kerja Menurut *Shift*


Regu	Hari						
	1	2	3	4	5	6	7
A	I	I	I		II	II	II
B		II	II	II		III	III
C	II		III	III	III		I
D	III	III		I	I	I	

Keterangan :

A, B, C, D : Kelompok kerja (regu) *shift*

Siklus : 21 hari

1, 2, 3,.. : Hari kerja

 : Hari libur

I, II, III : *Shift*

2. Sistem *Non Shift*

Hari kerja untuk Sistem *Non Shift* berlaku untuk para karyawan yang tidak terlibat langsung dalam kegiatan produksi dan pengamanan pabrik. Hari kerja tersebut adalah hari senin sampai jumat dengan pengaturan kerja :

Tabel 9.4.2 Pembagian waktu kerja untuk sistem *non shift*

Hari	Jam kerja	Jam istirahat
Senin-Kamis	08.00-16.30	12.00-13.00
Jumat	08.00-16.30	11.30-13.00

3. Perincian jumlah karyawan

Sumber daya manusia merupakan salah satu unsur produksi yang berperan penting dalam perencanaan suatu pabrik. Tenaga kerja dalam pabrik Fatty Acid Sulphonate disusun berdasarkan tingkat pendidikan dan pembagian jumlah tenaga kerja yang disesuaikan dengan kebutuhan bagian kerja yang ada.

Tabel 9.4.3 Jumlah Tenaga Kerja berdasarkan Jenjang Pendidikan

No	Jabatan	Jumlah Karyawan	Pendidikan
1.	Dewan Komisaris	2 orang	S2
2.	Direktur Utama	1 orang	S2
3.	Manajer	4 orang	S2
4.	Kepala Bagian	4 orang	S1
5.	Kepala Divisi	19 orang	S1
6.	Sekretaris Direktur Utama	1 orang	S1
7.	Sekretaris Manajer	4 orang	D3
Karyawan Shift			
8.	Proses		
	Ketua regu	4	S1
	Anggota <i>Shift</i>	24	D3
9.	Utilitas		
	Ketua regu	4	S1
	Anggota <i>shift</i>	16	D3
10.	Maintenance		
	Ketua Regu	4	S1
	Anggota <i>Shift</i>	8	STM
11.	Instrumen		
	Ketua Regu	4	S1
	Anggota <i>Shift</i>	12	SMU/SMK
12.	Mesin		
	Ketua Regu	4	S1

	Anggota <i>Shift</i>	8	STM
13.	Keamanan		
	Ketua Regu	4	S1
	Anggota <i>Shift</i>	8	SMU
14.	Quality Control		
	Ketua Regu	4	S1
	Anggota <i>Shift</i>	8	D3

Karyawan Non Shift

15.	Litbang	2	S1
16.	Promosi	2	S1
17.	Distribusi dan Pemasaran	2	S1
18.	Pembelian dalam negeri	2	S1
19.	Pembelian luar negeri	2	S1
20.	Gudang	4	S1
21.	<i>Accounting</i>	3	S1
22.	Kepegawaian	2	S1
23.	Diklat	2	S1
24.	Humas	2	S1
25.	Rumah-Tangga	2	SMU
26.	Dokter	1	S1
27.	Perawat	1	D3
28.	Supir	5	SMU
TOTAL		190	

9.5 Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji

Upah tenaga kerja disesuaikan dengan golongan tenaga kerja tergantung kepada kedudukannya dalam struktur organisasi dan lamanya bekerja di perusahaan.

Upah yang diterima oleh setiap karyawan terdiri dari :

1. Gaji pokok
2. Tunjangan jabatan
3. Tunjangan kehadiran (transportasi) bagi staf non *shift*
4. Tunjangan kesehatan dengan penyediaan dokter perusahaan dan rumah sakit yang telah dirujuk oleh perusahaan bagi seluruh karyawan sesuai jabatannya.

Sistem pengupahan tersebut dibedakan menjadi :

1. Upah bulanan

Diberikan kepada karyawan tetap dimana besarnya gaji didasarkan kepada pendidikan, keahlian, dan kedudukan dalam organisasi

2. Upah borongan

Diberikan kepada buruh borongan, dimana besarnya upah yang diberikan tergantung pada jenis dan banyaknya pekerjaan.

3. Upah harian

Diberikan sesuai dengan jumlah hari dan jam kerja, biasanya untuk pekerja yang dibutuhkan sewaktu-waktu

Selain gaji rutin, bagi karyawan yang lembur juga diberikan gaji tambahan dengan perhitungan :

1. Lembur hari biasa

Untuk setiap jam, besarnya setengah kali lipat gaji perjam.

2. Lembur hari Minggu/libur

Untuk setiap jam, besarnya dua kali gaji perjam

3. Jika karyawan dipanggil untuk bekerja di pabrik di luar jam kerjanya, juga akan diberi gaji tambahan

Upah buruh :

Tabel 9.5 Upah Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan- Org (Rp)	Gaji/Thn (Rp)
1	Direktur utama	1	30.000.000	360.000.000
2	Direktur	2	20.000.000	480.000.000
3	Staf ahli	2	15.000.000	360.000.000
4	Kepala bagian	5	10.000.000	600.000.000
5	Kepala Divisi	13	9.000.000	1.404.000.000
6	Kepala regu	12	12.000.000	1.728.000.000
7	Sekretaris	3	3.000.000	108.000.000
8	Karyawan D3	56	8.000.000	5.376.000.000
9	Karyawan SMA	28	2.000.000	672.000.000
10	SATPAM dan K3	15	2.000.000	360.000.000
11	Sopir	5	2.500.000	150.000.000
Total		142	-	11.598.000.000

9.6 Kesejahteraan Sosial Karyawan

Sebagai sarana kesejahteraan, kepada seluruh karyawan pabrik disamping menerima gaji perbulannya, juga diberikan jaminan sosial.

Jaminan sosial tersebut dibawah ini :

1. Tunjangan jabatan dan prestasi kerja
2. Tunjangan istri dan anak
3. Jaminan sosial asuransi keselamatan kerja
4. Fasilitas olahraga, kesenian, rekreasi, pengobatan, ibadah
5. Fasilitas Kesehatan

9.7 Manajemen Perusahaan

Manajemen perusahaan merupakan salah satu bagian dari manajemen perusahaan yang fungsi utamanya adalah menyelenggarakan semua kegiatan untuk memproses bahan baku menjadi produk dengan mengatur penggunaan faktor-faktor produksi sedemikian rupa sehingga proses produksi berjalan sesuai dengan yang direncanakan.

Manajemen produksi meliputi manajemen perancangan dan pengendalian produksi. Tujuan perencanaan dan pengendalian produksi mengusahakan perolehan kualitas produk sesuai target dalam jangka waktu tertentu. Dengan meningkatnya kegiatan produksi maka selayaknya diikuti dengan kegiatan perencanaan dengan pengendalian agar penyimpanan produksi dapat dihindari.

Perencanaan sangat erat dikaitkan dengan pengendalian dimana perencanaan merupakan tolak ukur bagi kegiatan operasional sehingga penyimpanan yang terjadi dapat diketahui dan selanjutnya dikembalikan pada arah yang sesuai.

X

EVALUASI EKONOMI

Evaluasi Ekonomi dimaksudkan untuk mengetahui pabrik yang dirancang dapat menguntungkan atau tidak. Untuk itu pada pra perancangan pabrik *Fatty Acid Sulphonate* ini dibuat analisa atau penilaian investasi yang ditinjau dengan metode :

1. *Percent Return On Investment (ROI)*
2. *Pay Out Time (POT)*
3. *Break Event Point (BEP)*
4. *Shut Down Point (SDP)*
5. *Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR)*

Untuk meninjau faktor-faktor di atas perlu diadakan penaksiran terhadap beberapa faktor, yaitu :

1. Penaksiran modal industri (*Total Capital Investment*) yang terdiri atas :
 - a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
 - b. Modal kerja (*Working Capital*)
2. Penentuan biaya produksi total (*Production Cost*) yang terdiri atas :
 - a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)
 - b. Biaya Pengeluaran Umum (*General Expense*)
3. Total penjualan / pendapatan
4. Analisa kelayakan

10.1 Dasar Perhitungan

Harga alat dari tahun ke tahun tentunya berbeda, tergantung pada kondisi perekonomian yang ada dan juga dipengaruhi oleh kapasitas atau ukuran alat-alat tersebut. Untuk itu, penafsiran harga alat meliputi:

1. Harga alat pada tahun tertentu

$$E_x = E_y \frac{N_x}{N_y} \dots \text{ (Aries-Newton, p.16)}$$

Dimana: E_x = harga alat pada tahun x

E_y = harga alat pada tahun y

N_x = indeks harga pada tahun ke- x

N_y = indeks harga pada tahun ke- y

Tabel 10.1 Indeks Harga yang digunakan

Tahun	Indeks
2005	468,2
2006	499,6
2007	525,4
2008	575,4
2009	521,9
2010	550,8
2011	585,7
2012	584,6
2013	567,3
2014	576,1

(Sumber : www.toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices)



Grafik 10.1 Menentukan Indeks Harga

Asumsi : Kenaikan harga indeks berbanding lurus terhadap tahun,

Dengan regresi linear diperoleh hubungan antara tahun (x) terhadap indeks (y) sebagai berikut :

$$Y = (10,914 \times 2022) - 21386$$

Dengan menggunakan persamaan diatas diperoleh indeks harga pada tahun evaluasi, yaitu tahun pendirian pabrik, Pabrik direncanakan mulai didirikan pada tahun 2022, Maka indeks harga pada tahun 2022 = 682,108

2. Penafsiran harga alat sesuai dengan kapasitas

Harga peralatan dan yang lainnya dapat dilihat dari www.matche.com, Harga di situs tersebut yang paling *update* adalah harga tahun 2014, maka perkiraan harga alat tersebut pada tahun 2022 digunakan persamaan :

$$E_x = E_y \cdot \left(\frac{N_x}{N_y} \right) \quad (\text{Aries dan Newton, 1955})$$

Dimana :

E_x = harga pembelian alat tahun 2022

E_y = harga pembelian alat tahun 2014

N_x = Indeks harga alat tahun 2022 = 682,108

N_y = indeks harga alat tahun 2014 = 576,1

Sehingga untuk estimasi daridata tahun 2022 :

$$E_x = E_y \cdot \left(\frac{907}{736,9} \right)$$

10.2 Perhitungan Modal Dan Biaya

1. Fixed Capital Investment

Capital investment adalah banyaknya pengeluaran-pengeluaran yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik dan untuk mengoperasikannya, *Capital investment* terdiri dari :

a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*, FC)

Fixed capital investment adalah biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik,

b. Modal kerja (*Working Capital Investment*, WC)

Working capital investment adalah biaya yang diperlukan untuk menjalankan usaha atau modal untuk menjalankan operasi dari suatu pabrik selama waktu tertentu,

2. Manufacturing Cost

Manufacturing cost adalah biaya yang diperlukan untuk pembuatan suatu produk yang terdiri atas :

a. *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

Direct manufacturing cost adalah pengeluaran yang langsung berkaitan dengan pembuatan produk, seperti bahan baku, buruh, bahan utilitas, dan lain sebagainya.

b. *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

Indirect manufacturing cost adalah pengeluaran sebagai akibat tidak langsung karena pengoperasian pabrik, seperti laboratorium, packaging, pengapalan, dan lain sebagainya.

c. *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

Fixed manufacturing cost adalah pengeluaran yang selalu ada dan tetap jumlahnya tidak bergantung pada waktu dan tingkat produksi, seperti penyusutan alat, asuransi, dan lain sebagainya,

3. General Expense

General expense atau pengeluaran umum meliputi pengeluaran-pengeluaran yang bersangkutan dengan fungsi-fungsi perusahaan yang tidak termasuk dalam manufacturing cost, seperti administrasi, promosi penjualan produk, penelitian, dan lain sebagainya,

10.3 Analisa Kelayakan

a. *Return On Investment*

Return On Investment adalah perkiraan keuntungan yang dapat diperoleh setiap tahun, didasarkan pada kecepatan pengembalian modal tetap yang diinvestasikan,

- ROI sebelum pajak = $\frac{\text{Laba kotor}}{\text{TCI}} \times 100\%$
- ROI sesudah pajak = $\frac{\text{Laba bersih}}{\text{TCI}} \times 100\%$

b. *Pay Out Time*

Pay Out Time adalah jumlah waktu berselang sebelum didapatkan suatu penerimaan melebihi investasi awal atau jumlah tahun yang diperlukan untuk kembalinya *capital investment* dengan *profit* sebelum dikurangi depresiasi,

- POT sebelum pajak = $\frac{\text{FCI}}{\text{Laba kotor} + \text{Depresiasi}}$
- POT sesudah pajak = $\frac{\text{FCI}}{\text{Laba bersih} + \text{Depresiasi}}$

c. *Break Even Point* dan *Shut Down Point*

Break Event Point adalah kapasitas produksi dimana jumlah penjualan produk sama dengan jumlah total biaya yang dikeluarkan, Pada kondisi ini pabrik dikatakan tidak untung dan tidak rugi,

$$BEP = \frac{FC + 0,3SVC}{S - 0,7SVC - VC} \times 100\%$$

Shut Down Point adalah kapasitas produksi dimana jumlah kerugian yang diderita perusahaan sama dengan *fixed expense* (pengeluaran tetap), Pada kondisi ini pabrik selayaknya tidak dioperasikan lagi karena jumlah kerugian pada saat pabrik beroperasi dan tidak beroperasi besarnya sama,

$$SDP = \frac{0,3SVC}{S - 0,7SVC - VC} \times 100\%$$

Dimana :

- S : total harga penjualan (*sales*)
- FC : biaya tetap (*fixed charges*)
- SVC : biaya semi variabel (*semi variabel cost*)
- VC : biaya variabel (*variabel cost*)

d. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR)

DCFRR adalah laju bunga bank maksimal dimana operasi suatu pabrik (proyek) dapat membayar pinjaman beserta bunganya kepada bank selama umur pabrik, DCFRR ini dihitung dengan menggunakan nilai uang yang berubah terhadap waktu dan dirasakan atas investasi yang tidak kembali pada akhir tahun selama umur pabrik,

DCFRR dapat diperoleh dengan cara *trial and error* menggunakan persamaan berikut :

$$(FC + WC)(1+i)^n = \sum_{j=1}^n C_j(1+i)^{n-j} + WC + SV$$

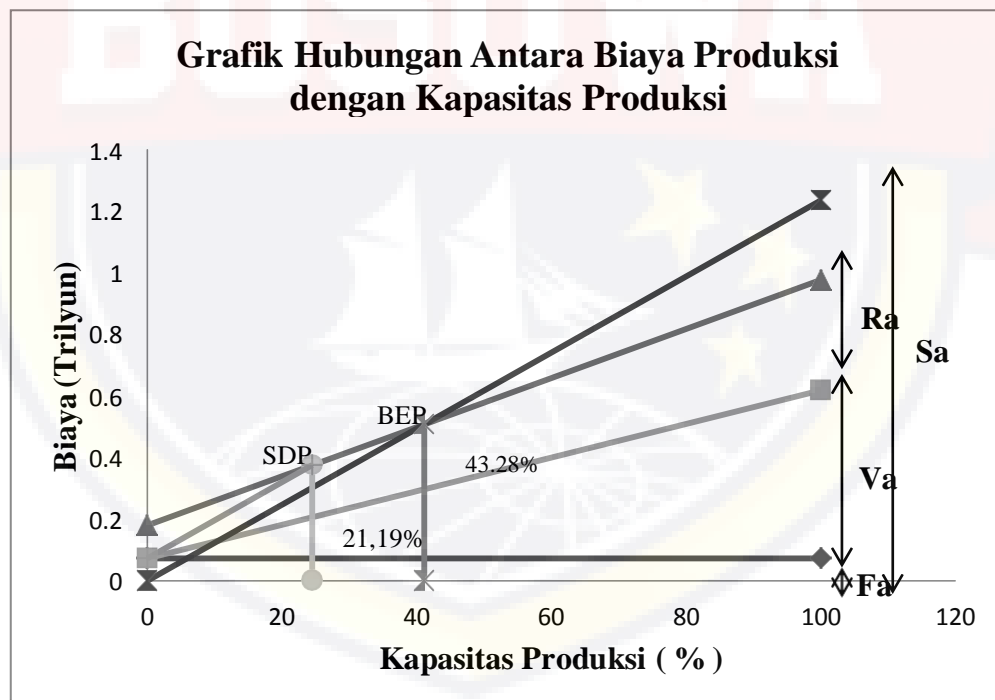
- Dengan : n = umur pabrik
- WC = *Working capital*
- FC = *Fixed capital*
- SV = *Salvage value*

$$C = \text{Annual Cash Flow}$$

$$= \text{Profit after tax} + \text{Depreciation} + \text{Finance}$$

Hasil-hasil perhitungan analisa ekonomi yang diperoleh pada Lampiran F adalah sebagai berikut :

1. Total modal investasi (*total capital investment*) adalah Rp 1.137.274.461.657
2. Total biaya produksi (*total production cost*) adalah Rp 2.164.637.123.707
3. Laba sebelum pajak (laba kotor) adalah Rp 355.000.000.000 dan sesudah pajak (laba bersih) adalah Rp 230.750.000.000
4. *Return On Investment* (ROI) sebelum dan sesudah pajak adalah 31,21% dan 20,29%
5. *Pay Out Time* (POT) sebelum dan sesudah pajak adalah 2,14 tahun dan 2,95 tahun
6. *Break Event Point* (BEP) adalah 43,28%
7. *Shut Down Point* (SDP) adalah 21,19%



Grafik 10.3 Grafik Hubungan Antara Biaya Produksi dengan Kapasitas Produksi

XI

KESIMPULAN

1. Pabrik *Fatty Acid Sulphonate* dengan Kapasitas produksi 50.000 ton/tahun terletak di daerah Gresik, Jawa Timur. Pabrik beroperasi selama 300 hari efektif setiap tahun dan 24 jam/hari. Bentuk Perusahaan Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah tenaga kerja yang diserap sebanyak 190 orang. *Fatty Acid Sulphonate* yang dihasilkan sebanyak 6.313,13 kg/jam.
2. Dari hasil evaluasi ekonomi pabrik *Fatty Acid Sulphonate* layak dan menarik untuk dikaji lebih lanjut, dengan harga jual produk Rp 50.393/kg.
3. Berdasarkan pertimbangan sosial, pabrik *Fatty Acid Sulphonate* ini dapat membuka lapangan pekerjaan serta meningkatkan taraf hidup masyarakat.

BOSOWA

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S., Newton, R.D., 1955, Chemical Engineering Cost Estimation, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Baroto, Arjo. 2008. Valuasi Business Unit Perusahaan Menggunakan Real Option Anaysis : Option to Abandon (Studi Kasus : PT. CI). Tesis. Program Magister Manajemen, Kekhususan Manajemen Keuangan, Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia : Depok.
- Brown, G.G. dkk, 1950, Unit Operations. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Brownell, L.E., Young E.H., 1959, Process Equipment Design. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Chiu, Y.N., Naser, J., Ngian, K.F., Pratt, K.C., 2009, Computation of The Flow and Reactive Mixing in Dual-Rushton Ethoxylation Reactor, Chemical Engineering and Processing, 48 : 977-987.
- Firnanda, Yeri; Devitas Ulfasari; Feri Wibowo; Farhiz Lagan; Ranum Anggun Sari; Widya Dwi Firman. 2012. Fatty Alcohol. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Pekanbaru: Universitas Riau
- Froment, G.F., Bischoff, K.B., Wilde, J.D., 2011, Chemical Reactor Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Kirk, R.E., Othmer, V.R., 1999, Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Kosswig, K., Huls, A., Marl, 2012, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, John Wiley and Sons Inc., Jerman.
- Kusmiyati, 2014, Kinetika Reaksi Kimia dan Reaktor, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Lestari, Dewi Yuanita. 2012. Pemilihan Katalis yang Ideal. Jurusan Pendidikan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Lubis, Apriadi., Astrina, Dian dan Amri, Muhammad. 2013. Fatty Alcohol. Makalah Proses Industri Petro & Oleokimia. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau : Pekanbaru.
- Ludwig, E.E., 1997, Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, 2thed, Gulf Publishing Company, Amerika.

- Noweck, Klaus. 2011. Production, Technologies and Applications of Fatty Alcohols. Karlsruhe : Germany.
- Perry, R.H., Green, D., 1999, Perry's Chemical Engineer's Handbook, 7thed, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., West, R.E., 1991, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 4thed, McGraw-Hill Inc, New York.
- Priadinanta, Leri., Azzahra, Novia., Rochaeni, Ummu Aisyah., Nugraha, Feby Pratama., Reyandi, Dovy., Annisa, Fitra. 2010. Alkohol Lemak. Tugas Pengilangan Industri Peto dan Oleokimia. Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau : Pekanbaru.
- Richardson, J.F., Peacock, D.G., 1994, Chemical Engineering, 3rded, Elsevier Ltd, London.
- Riswanto, Yudi; Ardian Syahputra dan M. Arif Alhamdi. 2014. Makalah Oleokimia : Pemicu 1. Departemen Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Medan: Universitas Teknik Kimia.
- Supihatini, Rohayati. 2013. Prospek Pasar Fatty Alcohol Menjanjikan. Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI) : Bogor.
- Ulrich, G.D., 1954, A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics, John Willey & Sons, Kanada.
- W. STEIN and H. BAUMANN, Henkel & Cie GmbH, D-4 DUseldorf, West Germany
- Yaws, C.L., 1999, Chemical Properties Handbook, McGraw-Hill Companies Inc, USA. US Patents :2.586.767
- Yernisa. 2015. Oleokimia Dasar : Fatty Alcohol
- Yulianto, Mohamad Endy., Handayani, Dwi dan Silviana. 2010. Kajian Pengolahan Limbah Industri Fatty Alcohol Dengan Teknologi Photokatalitik Menggunakan Energi Surya. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Dionegoro : Semarang.

LAMPIRAN A

NERACA MASSA

Kapasitas produksi = 50.000 ton/tahun
 Waktu operasi = 330 hari (24 jam/hari)
 Kapasitas produksi = $50.000 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$
 = 6,313131 ton/jam
 = 6313,131 kg/jam
 Basis perhitungan = 100 kg/jam
 Faktor pengali = 41,8607

A.1 Komposisi Bahan Baku dan Data Berat Molekul Senyawa

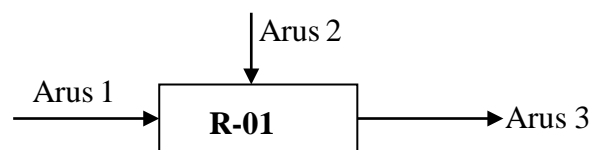
Tabel A.1 Komposisi bahan baku

Komponen	Komposisi (%)
C ₁₄ H ₂₉ OH	99,96
H ₂ O	0,04
SO ₃	98,00
H ₂ O	2,00
NaOH	50,00
H ₂ O	50,00

Tabel A.2 Data Berat Molekul Senyawa

Senyawa	Berat Molekul (kg/kmol)
C ₁₄ H ₂₉ OH	214,00
SO ₃	80,00
NaOH	40,00
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	294,00
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na	316,00
H ₂ SO ₄	98,00
H ₂ O	18,00
Udara	28,84

A.2 Neraca Massa pada Reaktor



Aliran masuk reaktor :

- Senyawa C₁₄H₂₉OH (Arus 1)

Kemurnian C₁₄H₂₉OH = 99,96%

$$\text{Massa C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH} = \frac{99,96}{100} \times 100 \text{ kg/jam} = 99,96 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Mol C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH} = \frac{99,96 \text{ kg/jam}}{214 \text{ kg/kmol}} = 0,4671 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Massa H}_2\text{O} = \frac{0,04}{100} \times 100 \text{ kg/jam} = 0,04 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Mol H}_2\text{O} = \frac{\text{massa air}}{\text{Berat molekul air}} = \frac{0,04 \text{ kg/jam}}{18,0 \text{ kg/kmol}} = 0,0022 \text{ kmol/jam}$$

- Senyawa SO₃ (Arus 2)

Perbandingan umpan masuk R-OH : SO₃ = 1 : 1,02

$$\text{SO}_3 \text{ masuk} = 1,02 \times 0,4671 \text{ kmol/jam} = 0,4764 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Massa SO}_3 \text{ masuk} = 0,4764 \text{ kmol/jam} \times 80 \text{ kg/kmol} = 38,1156 \text{ kg/jam}$$

Kemurnian : SO₃ = 98%, H₂O = 2%

$$\text{Massa H}_2\text{O} = \frac{0,02}{0,98} \times 38,1156 \text{ kg/jam} = 0,7779 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Mol H}_2\text{O} = \frac{\text{massa air}}{\text{Berat molekul air}} = \frac{0,7779 \text{ kg/jam}}{18,0 \text{ kg/kmol}} = 0,0432 \text{ kmol/jam}$$

Reaksi I (Konversi 98%)

$$\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH} = 98\% \times 0,4671 \text{ kmol/jam} = 0,4577 \text{ kmol/jam} \text{ (reaktan pembatas)}$$

$$\text{SO}_3 = 1/1 \times 0,4577 = 0,4577 \text{ kmol/jam}$$

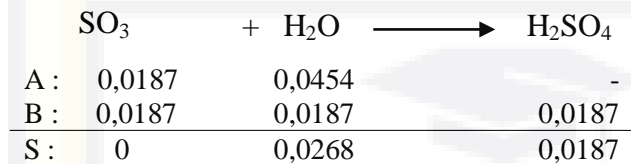


A :	0,4671	0,4764	-
B :	0,4577	0,4577	0,4577
S :	0,0094	0,0187	0,4577

$$\text{Massa } C_{14}H_{29}OH = 0,0094 \text{ kmol/jam} \times 214 \text{ kg/kmol} = 1,992 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa } C_{14}H_{29}OSO_3H = 0,4577 \text{ kmol/jam} \times 294 \text{ kg/kmol} = 134,5817 \text{ kg/jam}$$

Reaksi II



$$\text{Massa } H_2O = 0,0268 \text{ kmol/jam} \times 18 \text{ kg/kmol} = 0,4816 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa } H_2SO_4 = 0,0187 \text{ kmol/jam} \times 98 \text{ kg/kmol} = 1,8310 \text{ kg/jam}$$

Tabel A.3 Neraca Massa Total pada Reaktor

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	arus 1	arus 2	arus 3
C14H29OH	99.9600		1.9992
SO3		38.1156	
H2O	0.0400	0.7779	0.4816
C14H29OSO3H			134.5817
H2SO4			1.8310
Total	100.0000	38.8935	138.8935
	138.8935		

A.3 Neraca Massa pada Netralizer

Aliran masuk di netralizer (dari Arus 3):

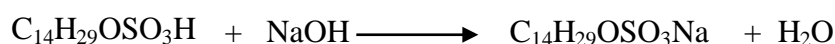
$$C_{14}H_{29}OH = 0,0093 \text{ kmol/jam} = 1,9992 \text{ kg/jam}$$

$$C_{14}H_{29}OSO_3H = 0,4578 \text{ kmol/jam} = 134,5817 \text{ kg/jam}$$

$$H_2SO_4 = 0,0187 \text{ kmol/jam} = 1,8310 \text{ kg/jam}$$

$$H_2O = 0,0266 \text{ kmol/jam} = 0,4816 \text{ kg/jam}$$

Reaksi I

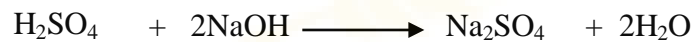


A :	0,4578	0,4578		
B :	0,4578	0,4578	0,4578	0,4578
S :	0,000	0,000	0,4578	0,4578

$$\text{Massa } C_{14}H_{29}OSO_3Na = 0,4578 \text{ kmol/jam} \times 316 \text{ kg/kmol} = 144,654 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa } H_2O = 0,4578 \text{ kmol/jam} \times 18 \text{ kg/kmol} = 8,2397 \text{ kg/jam}$$

Reaksi II



A :	0,0187	0,0374		
B :	0,0187	0,0374	0,0187	0,0374
S :	0,000	0,000	0,0187	0,0374

$$\text{Massa } H_2SO_4 = 0,0187 \text{ kmol/jam} \times 98 \text{ kg/kmol} = 1,8310 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa } H_2O = 0,0374 \text{ kmol/jam} \times 18 \text{ kg/kmol} = 0,6726 \text{ kg/jam}$$

- Senyawa NaOH

NaOH masuk neutralizer :

$$\begin{aligned} \text{NaOH bereaksi} &= \text{NaOH reaksi I} + \text{NaOH reaksi II} \\ &= (0,4578 + 0,0374) \text{ kmol/jam} \\ &= 0,4951 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= 0,4951 \text{ kmol/jam} \times 40 \text{ kg/kmol} \\ &= 19,8052 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NaOH total di neutralizer} &= 100 \% \times \text{NaOH bereaksi} \\ &= \frac{100}{100} \times 19,8052 \text{ kg/jam} \\ &= 19,8052 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

NaOH sisa = 0

- Senyawa H₂O

$$\text{Massa H}_2\text{O dari NaOH} = 19,8052 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Mol H}_2\text{O dari NaOH} = \frac{19,8052 \text{ kg/jam}}{18 \text{ kg/kmol}} = 1,1003 \text{ kmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O total yang masuk} &= \text{H}_2\text{O dari arus 3} + \text{H}_2\text{O dari NaOH} \\ &= (0,4816 + 19,8052) \text{ kg/jam} \\ &= 20,2867 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O total yang keluar} &= \text{H}_2\text{O arus 3} + \text{H}_2\text{O dari NaOH} + \text{H}_2\text{O reaksi I} + \\ &\quad \text{H}_2\text{O reaksi II} \\ &= (0,0268 + 1,1003 + 0,4578 + 0,0374) \\ &= 1,6223 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2\text{O yang keluar} &= 1,6223 \text{ kmol/jam} \times 18 \text{ kg/kmol} \\ &= 29,1990 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Aliran keluar neutralizer :

$$\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{Na} = 0,4578 \text{ kmol/jam} = 144,6524 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,0187 \text{ kmol/jam} = 2,6531 \text{ kg/jam}$$

$$\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{H} = 0,4578 \text{ kmol/jam} = 134,5817 \text{ kg/jam}$$

$$\text{NaOH sisa} = 0$$

$$\text{H}_2\text{O} = 1,6223 \text{ kmol/jam} = 29,1990 \text{ kg/jam}$$

Tabel A.4 Neraca Massa Total pada Netralizer

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	arus 3	arus 4	arus 5
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na			144.6524
Na ₂ SO ₄			2.6531
C ₁₄ H ₂₉ OH	1.9992		1.9992
NaOH		19.8052	
H ₂ O	0.4816	19.8052	29.1990
H ₂ SO ₄	1.8310		
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	134.5817		
Total	138.8935	39.6103	178.5038
	178.5038		

A.4 Neraca Massa di *Spray Dryer*

Asumsi H₂O yang diinginkan dalam produk hanya 1%

Aliran masuk spray dryer (dari Arus 5):

$$\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{Na} = 0,4578 \text{ kmol/jam} = 144,6524 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,0187 \text{ kmol/jam} = 2,6531 \text{ kg/jam}$$

$$\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH} = 0,0093 \text{ kmol / jam} = 1,9992 \text{ kg / jam}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 1,6222 \text{ kmol/jam} = 29,1990 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah aliran produk} &= \text{massa C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{Na} + \text{massa Na}_2\text{SO}_4 + \text{massa NaOH} + \\ &\quad \text{massa C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH} \\ &= (144,6524 + 2,6531 + 0 + 1,9992) \text{ kg/jam} \\ &= 149,3047 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O yang terkandung dalam produk} &= \frac{1\%}{99\%} \times \text{jumlah aliran produk} \\ &= \frac{1\%}{99\%} \times 149,3047 \text{ kg/jam} \\ &= 1,5081 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O yang menguap} &= \text{H}_2\text{O masuk} - \text{H}_2\text{O dalam produk} \\ &= 29,1990 - 1,5081 \\ &= 27,6909 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Umpan masuk gas:

$$\text{Suhu udara masuk} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dari grafik 7.5 a humidity chart (treball, hal:232)

$$\text{Humadity masuk (H}_{in}) = 0,0215 \text{ kg air/kg udara}$$

$$\text{Suhu udara keluar} = 40^\circ\text{C}$$

$$\text{Humadity out (H}_{out}) = 0,049 \text{ kg air/kg udara}$$

$$\text{Volume udara} = (0,00283 + (0,00456 \times H)) \times (\text{suhu udara} + 273,15)$$

$$V_{in} = (0,00283 + (0,00456 \times H_{in})) \times (\text{suhu udara masuk} + 273,15)$$

$$\begin{aligned} V_{in} &= (0,00283 + (0,00456 \times 0,0215)) \times (105 + 273,15) \\ &= 1,1072 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= (0,00283 + (0,00456 \times H_{out})) \times (\text{suhu udara keluar} + 273,15) \\ &= (0,00283 + (0,00456 \times 0,049)) \times (40 + 273,15) \\ &= 0,9562 \end{aligned}$$

Laju udara masuk :

$$m = \left[\frac{H_{20} \text{ menguap} - H_{20} \text{ sisa}}{H_{out} - H_{in}} \right] \times \frac{(V_{in} + V_{out})}{2}$$

$$m = \left[\frac{29,1990 - 1,5081}{0,049 - 0,0215} \right] \times \frac{(1,1072 + 0,9562)}{2}$$

$$m = 1038,8737 \text{ kg/jam}$$

$$\text{mol udara} = \frac{1038,8737 \text{ kg/jam}}{28,84 \text{ kg/kmol}} = 36,0219 \text{ kmol/jam}$$

Table A.5 Neraca Massa Total pada *Spray Dryer*

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	arus 5	arus 6	arus 7	arus 9
C ₁₄ H ₂₉ O ₃ Na	144.6524		144.6524	
Na ₂ SO ₄	2.6531		2.6531	
C ₁₄ H ₂₉ OH	1.9992		1.9992	
Udara		1038.8737		1038.8737
H ₂ O	29.1990		1.5081	27.6909
Total	178.5038	1038.8737	150.8129	1066.5646
	1217.3775		1217.3775	

$$\text{Kapasitas produksi} = 50.000 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 6,313131 \text{ ton/jam}$$

$$= 6313,131 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Faktor pengali} = \frac{6313,131 \text{ kg/jam}}{150,8129 \text{ kg/jam}} = 41,8607$$

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN NERACA PANAS

Basis Operasi : 1 jam
Suhu Standar : 25 °C (298 K)

Nilai panas komponen dihitung dengan persamaan :

$$Q = m \int_{298^{\circ}K}^{T^{\circ}K} C_p dT \quad (\text{pers.5.11. Stoichiometri hal. 182})$$

Dimana :

m = massa komponen (kg)

C_p = Kapasitas panas komponen (kkal/kg^oK)

T = Suhu komponen terhitung (°K)

1. Berat molekul masing-masing komponen (kg/kmol)

Komponen	BM	Komponen	BM
C ₁₄ H ₂₉ OH	214.0005	C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	293.9972
H ₂ O	18.016	C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na	316
SO ₃	79.9997	Na ₂ SO ₄	142
H ₂ SO ₄	98.03042	NaOH	40

2. Panas jenis masing-masing komponen(J/mol K)

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

Komponen	A	B	C	D	E
H ₂ O	92.053	-4.00E-02	-2.11E-04	5.35E-07	
SO ₃	22.466	1.20E-01	-9.08E-05	2.55E-08	-7.92E-13
C ₁₄ H ₂₉ OH	78.05	2.9087	-6.37E-03	5.68E-06	
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	526.898	-4.51E-01	1.25E-03		
H ₂ SO ₄	26.004	7.03E-01	-1.39E-03	1.03E-06	
NaOH	87.639	-4.84E-04	-4.54E-06	1.19E-09	
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na	581.97	-5.26E-01	1.38E-03		
Na ₂ SO ₄	233.515	-9.53E-03	-3.47E-05	1.58E-08	

3. Entalpi pembentukan masing-masing komponen (kJ/mol)

Komponen	ΔH _f
	J/kmol
C ₁₄ H ₃₀ O	-4.94x10 ²

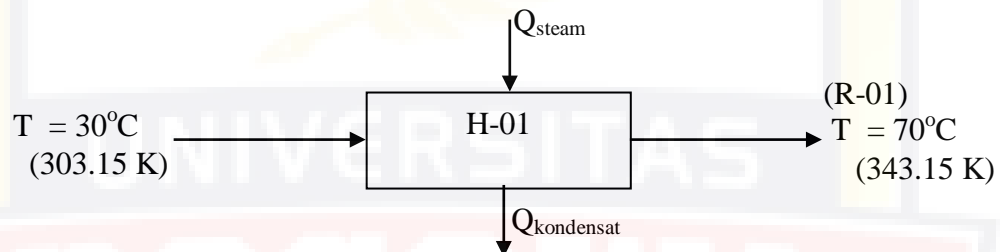
$C_{14}H_{30}OSO_3$	-8.04×10^1
H_2SO_4	-8.14×10^8
$NaOH$	-4.69×10^8
$C_{14}H_{29}OSO_3Na$	-3.79×10^2
Na_2SO_4	-1.39×10^9
H_2O	-2.86×10^8

Neraca Panas di Setiap Alat

B.1. Heater (H-01)

Fungsi : menaikkan suhu *fatty alcohol* sebelum masuk reactor (R-01)

Tujuan: menghitung kebutuhan pemanas (Q_1)



Nilai panas komponen dihitung dengan persamaan :

$$Q = m \int_{298.15^{\circ} K}^{T^{\circ} K} C_p dT \text{ (pers.5.11. Stoichiometri hal. 182)}$$

A. Masuk

$$\begin{aligned} Q_{C_{14}H_{29}OH} &= m \int_{298.15 K}^{303.15 K} C_{p1} \cdot dT \\ &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\ &= (19,5532 \text{ kmol/jam})(2656516,6503 \text{ J/kmol.K})(K) \\ &= 51943527,2937 \text{ J/jam} \\ &= 51943527,2937 \frac{J}{jam} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,184 J} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kJ}} \\ &= 12414,8010 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{H_2O} &= m \int_{298.15 K}^{303.15 K} C_{p1} \cdot dT \\ &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\ &= (0,0930 \text{ kmol/jam})(377486 \text{ J/kmol.K})(K) \\ &= 35115,2040 \text{ J/jam} \\ &= 35115,2040 \frac{J}{jam} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,184 J} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

$$= 8,3927 \text{ kkal/jam}$$

Maka :

$$\begin{aligned} H_1 (Q_{in}) &= Q C_{14}H_{29}OH + Q H_2O \\ &= (12414,8010 + 8,3927) \text{ kkal/jam} \\ &= 12423,1937 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

B. Keluar

Panas liquid keluar Heater (H-01) ; H_2 :

$$\begin{aligned} Q &= m \int_{298,15^\circ K}^{343,15 K} C_p dT \\ Q C_{14}H_{29}OH &= m \int_{298,15 K}^{343,15 K} C_{p1} .dT \\ &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\ &= (19,5532 \text{ kmol/jam})(24439059,3128 \text{ J/kmol.K})(K) \\ &= 477862973,0482 \text{ J/jam} \\ &= 5477862973,0482 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd} \\ &= 114211,9916 \text{ kkal/jam} \\ Q H_2O &= m \int_{298,15 K}^{343,15 K} C_{p1} .dT \\ &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\ &= (0,0930 \text{ kmol/jam})(3385062,5022 \text{ J/kmol.K})(K) \\ &= 314891,2547 \text{ J/jam} \\ &= 314891,2547 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd} \\ &= 75,2608 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} H_2 (Q_{out}) &= Q C_{14}H_{29}OH + Q H_2O \\ &= (114211,9916 + 75,2608) \text{ kkal} \\ &= 114287,2525 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

Panas yang dibutuhkan dari pemanas; $Q_{pemanas}$:

$$\begin{aligned} Q_{pemanas} &= H_2 - H_1 \\ &= (114287,2525 - 12423,1937) \text{ kkal/jam} \\ &= 101864,0587 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

Sebagai pemanas digunakan *steam* dengan kondisi suhu (T) = 100 °C

a. Cair jenuh (h_f) = 180,07 btu/lb

$$H_f = 180,07 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}}$$

$$= 100,0359 \text{ kkal/kg}$$

b. Uap jenuh (h_g) = 1150,4 btu/lb

$$H_g = 1150,4 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}}$$

$$= 639,0921 \text{ kkal/kg}$$

c. Laten kondensasi (h_{fg}) = 970,33 btu /lb (Kern, Tabel 7)

$$H_{fg} = 970,33 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}}$$

$$= 539,0562 \text{ kkal/kg}$$

Laju massa steam yang di butuhkan :

$$\text{Massa steam} = \frac{Q_1}{\lambda_{\text{steam}}} = \frac{101864 \text{ kkal / jam}}{539,0562 \text{ kkal / kg}}$$

$$= 188,9674 \text{ kg/jam}$$

Sehingga,

$$Q_{\text{steam}} = m_s \times h_g$$

$$= 188,9674 \text{ kg/jam} \times 639,0921 \text{ kkal/kg}$$

$$= 120767,5875 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{\text{kondensat}} = m_s \times h_f$$

$$= 188,9674 \text{ kg/jam} \times 100,0359 \text{ kkal/kg}$$

$$= 188,9674 \text{ kkal/jam}$$

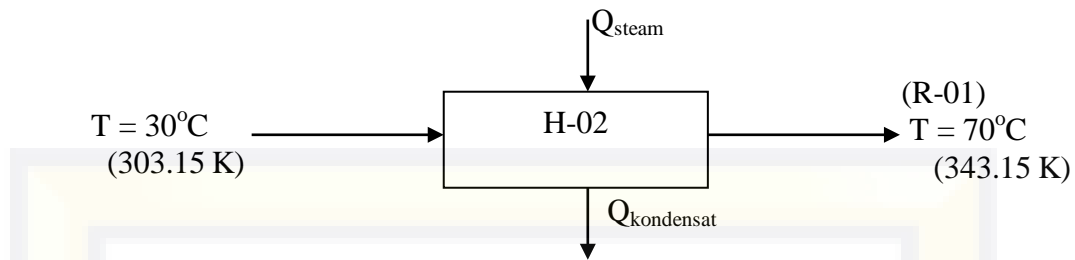
Tabel B.1 Neraca panas total pada HE-01

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
C ₁₄ H ₂₉ OH	12414.8010	114211.9916
H ₂ O	8.3927	75.2608
Q _{steam}	120767.5875	-
Q _{kondensat}	-	18903.52876
Total	133190.7812	133190.7812

B.2. Heater (H-02)

Fungsi : menaikkan suhu SO₃ sebelum masuk reator (R-01)

Tujuan: menghitung kebutuhan pemanas (Q_2)



Nilai panas komponen dihitung dengan persamaan :

$$Q = m \int_{298.15^{\circ}K}^{T^{\circ}K} C_p dT \text{ (pers.5.11. Stoichiometri hal. 182)}$$

A. Masuk

$$\begin{aligned} Q_{SO_3} &= m \int_{298.15 K}^{303.15 K} C_{p1} \cdot dT \\ &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4) + \frac{E}{5}(T^5 - 298.15^5)] \\ &= (19,9443 \text{ kmol/jam})(254810,4118 \text{ J/kmol.K})(K) \end{aligned}$$

$$= 5082018,4433 \text{ J/jam}$$

$$= 5082018,4433 \frac{J}{jam} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,1840 J} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kd}}$$

$$= 1214,6316 \text{ kkal/jam}$$

$$\begin{aligned} Q_{H_2O} &= m \int_{298.15 K}^{303.15 K} C_{p1} \cdot dT \\ &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\ &= (1,8090 \text{ kmol/jam})(377486 \text{ J/kmol.K})(K) \end{aligned}$$

$$= 682875,8551 \text{ J/jam}$$

$$= 682875,8551 \frac{J}{jam} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,1840 J} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kd}}$$

$$= 163,2112 \text{ kkal/jam}$$

Maka :

$$\begin{aligned} H_3 &= Q_{SO_3} + Q_{H_2O} \\ &= (1214,6316 + 163,2112) \text{ kkal/jam} \\ &= 1377,8428 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

B. Keluar

Panas liquid keluar Heater (H-01) ; H_4 :

$$Q = m \int_{298,15^{\circ}K}^{343,15K} C_p dT$$

$$Q_{SO_3} = m \int_{298,15K}^{343,15K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4) + \frac{E}{5}(T^5 - 298.15^5)]$$

$$= (19,9443 \text{ kmol/jam})(2356387,5008 \text{ J/kmol.K})(K)$$

$$= 46996528,3375 \text{ J/jam}$$

$$= 46996528,3375 \frac{J}{jam} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,1840J} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kd}}$$

$$= 11232,4399 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{H_2O} = m \int_{298,15K}^{343,15K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)]$$

$$= (1,8090 \text{ kmol/jam})(3385062,5022 \text{ J/kmol.K})(K)$$

$$= 6123604,8864 \text{ J/jam}$$

$$= 6123604,8864 \frac{J}{jam} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,1840J} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kd}}$$

$$= 1463,5767 \text{ kkal/jam}$$

Maka :

$$H_4 (Q_{out}) = Q_{SO_3} + Q_{H_2O}$$

$$= (11232,4399 + 1463,5767) \text{ kkal}$$

$$= 12696,0156 \text{ kkal/jam}$$

Panas yang dibutuhkan dari pemanas; $Q_{pemanas}$:

$$Q_{pemanas} = H_4 - H_3$$

$$= (12696,0165 - 1377,8428) \text{ kkal/jam}$$

$$= 11318,1737 \text{ kkal/jam}$$

Sebagai pemanas digunakan *steam* dengan kondisi suhu (T) = 100 °C

a. Cair jenuh (hf) = 180,07 btu/lb

$$H_f = 180,07 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}}$$

$$= 100,0359 \text{ kkal/kg}$$

b. Uap jenuh (hg) = 1150,4 btu/lb

$$H_g = 1150,4 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}}$$

$$= 639,0921 \text{ kkal/kg}$$

c. Laten kondensasi (hfg) = 970,33 btu /lb (Kern, Tabel 7)

$$H_{fg} = 970,33 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}}$$

$$= 539,0562 \text{ kkal/kg}$$

Laju massa steam yang di butuhkan :

$$\text{Massa steam} = \frac{Q_{\text{pemanas}}}{\lambda_{\text{steam}}} = \frac{11318,1737 \text{ kkal / jam}}{539,0562 \text{ kkal / kg}}$$

$$= 20,9963 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Sehingga, } Q_{\text{steam}} = m_s \times h_g$$

$$= 20,9963 \text{ kg/jam} \times 639,0921 \text{ kkal/kg}$$

$$= 13418,5556 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{\text{kondensat}} = m_s \times h_f$$

$$= 20,9963 \text{ kg/jam} \times 100,0359 \text{ kkal/kg}$$

$$= 2100,3818 \text{ kkal/jam}$$

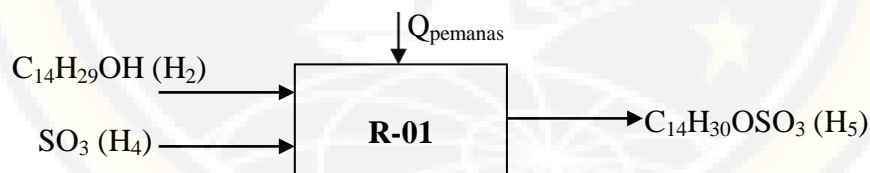
Tabel B.2 Neraca panas total di He-02

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
SO ₃	1214.6316	11232.4399
H ₂ O	163.2112	1463.5767
Qsteam	13418.55561	-
Qkondensat	-	2100.381875
Total	14796.3984	14796.3984

B.3. Reaktor (R-01)

Fungsi : tempat berlangsungnya reaksi pembentukan Alkil Alkohol Sulphonate

Tujuan : menghitung kebutuhan pemanas



A. Umpan Masuk

$$\begin{aligned} H_2 &= Q \text{ C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH} + Q \text{ H}_2\text{O} \\ &= (114211,9916 + 75,2608) \text{ kkal} \\ &= 114287,2525 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_4 &= Q \text{ SO}_3 + Q \text{ H}_2\text{O} \\ &= (11232,4399 + 1463,5767) \text{ kkal} \\ &= 12696,0156 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total umpan masuk} &= 114287,2525 \text{ kkal/jam} + 12696,0156 \text{ kkal/jam} \\ &= 126983,269 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

B. Umpan keluar

$$\begin{aligned}
 Q_{C_2H_5OH} &= m \int_{298.15\text{ K}}^{343.15\text{ K}} C_{p1} \cdot dT \\
 &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\
 &= (0,3911 \text{ kmol/jam})(2439059,31 \text{ J/kmol.K})(K) \\
 &= 9557259,4610 \text{ J/jam} \\
 &= 9557259,4610 \frac{\text{J}}{\text{jam}} \times \frac{1\text{kal}}{4,184\text{J}} \times \frac{1\text{kkal}}{1000\text{kd}} \\
 &= 2284,2398 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{C_2H_5OSO_3H} &= m \int_{298.15\text{ K}}^{343.15\text{ K}} C_{p1} \cdot dT \\
 &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\
 &= (19,1622 \text{ kmol/jam})(22986360,29 \text{ J/kmol.K})(K) \\
 &= 440468829,8068 \text{ J/jam} \\
 &= 440468829,8068 \frac{\text{J}}{\text{jam}} \times \frac{1\text{kal}}{4,184\text{J}} \times \frac{1\text{kkal}}{1000\text{kd}} \\
 &= 105274 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{H_2SO_4} &= m \int_{298.15\text{ K}}^{343.15\text{ K}} C_{p1} \cdot dT \\
 &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\
 &= (0,7821 \text{ kmol/jam})(6439806,478 \text{ J/kmol.K})(K) \\
 &= 5036765,1714 \text{ J/jam} \\
 &= 5036765,1714 \frac{\text{J}}{\text{jam}} \times \frac{1\text{kal}}{4,184\text{J}} \times \frac{1\text{kkal}}{1000\text{kd}} \\
 &= 1203,8158 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{H_2O} &= m \int_{298.15\text{ K}}^{343.15\text{ K}} C_{p1} \cdot dT \\
 &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\
 &= (1,1199\text{kmol/jam})(3385062,502 \text{ J/kmol.K})(K) \\
 &= 3790937,5579 \text{ J/jam} \\
 &= 3790937,5579 \frac{\text{J}}{\text{jam}} \times \frac{1\text{kal}}{4,184\text{J}} \times \frac{1\text{kkal}}{1000\text{kd}} \\
 &= 906,0558 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 H_5 &= Q C_{14}H_{29}OH + Q C_{14}H_{29}OSO_3 + Q H_2SO_4 + Q H_2O \\
 &= 2284,2398 + 105274,5769 + 1203,8158 + 906,0558 \\
 &= 109668,6883 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

C. Menghitung Panas Reaksi Standar

Reaksi pada reaktor :



Diketahui data entalpi pembentukan standar komponen pada suhu 25°C ; ΔH_f° :

(Yaws)

$$\Delta H_f^\circ C_{14}H_{29}OH = -484,09 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ SO_3 = -395,70 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_f^\circ H_2SO_4 = -730,13 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ C_{14}H_{29}OSO_3H = -484,09 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ H_2O = -323,36 \text{ kJ/mol}$$

Entalpi reaksi standar pada suhu 25°C (298,15 K) ; ΔH_R° :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_R^\circ &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\
 &= [\Delta H_f^\circ (C_{14}H_{29}OSO_3H + H_2SO_4) - (\Delta H_f^\circ (C_{14}H_{29}OH + 2 \cdot SO_3 + \\
 &H_2O))]
 \end{aligned}$$

$$= -173,7000 \text{ kJ/mol}$$

$$= -173,7000 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times \frac{1000 \text{ J}}{\text{kJ}} \times \frac{1 \text{ kcal}}{4,184 \text{ J}} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kd}} \times \frac{1000 \text{ mol}}{1 \text{ kmol}}$$

$$= -41515,2964 \text{ kkal/kmol}$$

Sehingga panas reaksi :

$$\begin{aligned}
 Q^{\circ}R (Q_3) &= \text{kmol/jam } SO_3 \text{ bereaksi} \times \Delta H_R^\circ \\
 &= 19,1494 \text{ kmol/jam} \times -41515,2964 \text{ kkal/kmol} \\
 &= -794993,0163 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Tanda minus (-) mengartikan bahwa reaksi bersifat eksotermis sehingga membutuhkan pendingin :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{pendingin}} &= \Delta H_R^\circ + H_2 + H_4 \\
 &= ((-41515,2964) + 114287,2525 + 12696,0156) \text{ kkal/jam} \\
 &= 85467,9726 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Beban panas :

$$\begin{aligned} Q_{\text{pemanas}} &= H_5 - Q_{\text{pendingin}} \\ &= [109668,6883 - 85467,9726] \text{ kkal/jam} \\ &= 24200,7157 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

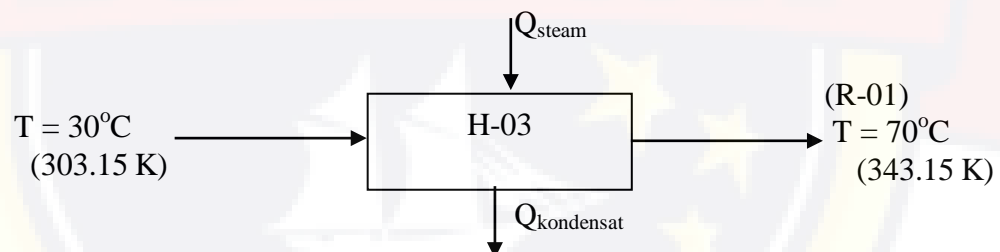
Tabel B.3 Neraca panas total di reaktor

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
C ₁₄ H ₂₉ OH	114211.9916	2284.2398
SO ₃	11232.43985	-
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	-	105274.5769
H ₂ SO ₄	-	1203.8158
H ₂ O	1538.83751	906.0558
Q°R	-41515.2964	-
Qpemanas	24200.7157	-
Total	109668.6883	109668.6883

B.4. Heater (H-03)

Fungsi : menaikkan suhu NaOH sebelum masuk reaktor (R-01)

Tujuan : menghitung kebutuhan pemanas (Q₄)



Nilai panas komponen dihitung dengan persamaan :

$$Q = m \int_{298^{\circ}K}^{T^{\circ}K} C_p \, dT \quad (\text{pers.5.11. Stoichiometri hal. 182})$$

A. Masuk

$$\begin{aligned} Q_{\text{NaOH}} &= m \int_{298.15 \text{ K}}^{303.15 \text{ K}} C_{p1} \cdot dT \\ &= m \left[A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4) \right] \\ &= (20,7264 \text{ kmol/jam})(435576,1635 \text{ J/kmol.K})(K) \\ &= 9027944,1977 \text{ J/jam} \end{aligned}$$

$$= 9027944,1977 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 2157,7304 kkal/jam$$

$$Q_{H_2O} = m \int_{298,15K}^{303,15K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (46,0588 \text{ kmol/jam})(377486,3816 \text{ J/kmol.K})(K)$$

$$= 17386554,8605 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 4155,4863 \text{ kkal/jam}$$

Maka :

$$H_6 = Q_{NaOH} + Q_{H_2O}$$

$$= (2157,7304 + 4155,4863) \text{ kkal/jam}$$

$$= 6313,2168 \text{ kkal/jam}$$

B. Keluar

Panas liquid keluar Heater (H-03) ; H_7 :

$$Q = m \int_{298,15^{\circ}K}^{343,15K} C_p dT$$

$$Q_{NaOH} = m \int_{298,15K}^{343,15K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (20,7264 \text{ kmol/jam})(3917493,9482 \text{ J/kmol.K})(K)$$

$$= 81195712,0716 \text{ J/jam}$$

$$= 81195712,0716 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 9406,2409 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{H_2O} = m \int_{298,15K}^{343,15K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (46,0588 \text{ kmol/jam})(3385062,5022 \text{ J/kmol.K})(K)$$

$$= 155911783,2359 \text{ J/jam}$$

$$= 155911783,2359 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 37263,8105 \text{ kkal/jam}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 H_7 &= Q \text{ NaOH} + Q \text{ H}_2\text{O} \\
 &= (19406,2409 + 37263,8105) \text{ kkal/jam} \\
 &= 56670,0515 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Panas yang dibutuhkan dari pemanas; Q_{pemanas} :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{pemanas}} &= H_7 - H_6 \\
 &= (56670,0515 - 6313,2168) \text{ kkal/jam} \\
 &= 50356,8347 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Sebagai pemanas digunakan *steam* dengan kondisi suhu (T) = 100 °C

$$\begin{aligned}
 \text{a. Cair jenuh (hf)} &= 180,07 \text{ btu/lb} \\
 H_f &= 180,07 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}} \\
 &= 100,0359 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Uap jenuh (hg)} &= 1150,4 \text{ btu/lb} \\
 H_g &= 1150,4 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}} \\
 &= 639,0921 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Laten kondensasi (hfg)} &= 970,33 \text{ btu /lb (Kern, Tabel 7)} \\
 H_{fg} &= 970,33 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}} \\
 &= 539,0562 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

Laju massa steam yang di butuhkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa steam} &= \frac{Q_{\text{pemanas}}}{\lambda_{\text{steam}}} = \frac{50356,8347 \text{ kkal / jam}}{539,0562 \text{ kkal / kg}} \\
 &= 93,4167 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{steam}} &= m_s \times h_g \\
 &= 93,4167 \text{ kg/jam} \times 639,0921 \text{ kkal/kg} \\
 &= 59701,8566 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

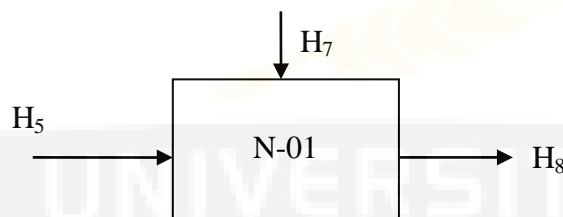
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{kondensat}} &= m_s \times h_f \\
 &= 93,4167 \text{ kg/jam} \times 100,0359 \text{ kkal/kg} \\
 &= 9345,0220 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel B.4 Neraca panas total HE-03

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
NaOH	2157.7304	19406.2409
H ₂ O	4155.4863	37263.8105
Qsteam	59701.85669	-
Qkondensat	-	9345.022022
Total	66015.0735	66015.0735

B.5. Netralizer (N-01)

Fungsi : untuk menetralkan C₁₄HOSO₃H dan H₂SO₄



A. Umpan masuk

$$\begin{aligned}
 H_5 &= Q C_{14}H_{29}OH + Q C_{14}H_{29}OSO_3 + Q H_2SO_4 + Q H_2O \\
 &= 2284,2398 + 105274,5769 + 1203,8158 + 906,0558 \\
 &= 109668,6883 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_7 &= Q NaOH + Q H_2O \\
 &= (19406,2409 + 37263,8105) \text{ kkal/jam} \\
 &= 56670,0515 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total umpan masuk} &= (109668,6883 + 56670,0515) \text{ kkal/jam} \\
 &= 166338,7398 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

B. Umpan keluar

Panas liquid keluar N-01; H₈ :

$$Q = m \int_{298,15^\circ K}^{343,15 K} C_p dT$$

$$\begin{aligned}
 Q C_{H_{14}OH_{29}} &= m \int_{298,15 K}^{343,15 K} C_{p1} \cdot dT \\
 &= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4)] \\
 &= (0,3911 \text{ kmol/jam})(24439059,3128 \text{ J/kmol.K})(K) \\
 &= 9557259,4610 \text{ J/jam}
 \end{aligned}$$

$$= 9557259,4610 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 2284,2398 kkal/jam$$

$$Q_{Na_2SO_4} = m \int_{298,15 K}^{343,15 K} C_p \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (0,7821 kmol/jam)(10233605,4575 J/kmol.K)(K)$$

$$= 8004008,7735 J/jam$$

$$= 8004008,7735 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 1913,0040 kkal/jam$$

$$Q_{C_{14}H_{29}OSO_3Na} = m \int_{298,15 K}^{343,15 K} C_p \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (19,1622 kmol/jam)(25011512,9666 J/kmol.K)(K)$$

$$= 479275174,9477 J/jam$$

$$= 479275174,9477 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 114549,5160 kkal/jam$$

$$Q_{H_2O} = m \int_{298,15 K}^{343,15 K} C_p \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (67,9061 kmol/jam)(3385062,5022 J/kmol.K)(K)$$

$$= 229863023,2500 J/jam$$

$$= 229863023,2500 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 54938,5811 kkal/jam$$

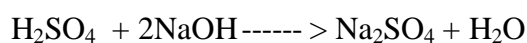
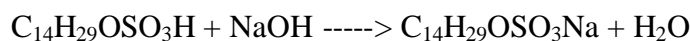
Maka,

$$H_8 = Q_{C_{14}H_{29}OH} + Q_{Na_2SO_4} + Q_{C_{14}H_{29}OSO_3Na} + Q_{H_2O}$$

$$= (2284,2398 + 1913,0040 + 114549,5160 + 54938,5811) kkal/jam$$

$$= 173685,3409 kkal/jam$$

C. Menghitung panas reaksi



Entalpi reaksi standar pada suhu 25°C (298,15 K) ; ΔH_R° :

$$\begin{aligned}
 \Delta H_R^o &= \Delta H_f^o \text{ produk} - \Delta H_f^o \text{ reaktan} \\
 &= [\Delta H_f^o (\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{Na} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2. \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H_f^o (\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{H} + \\
 &\quad \text{H}_2\text{SO}_4 + 3. \text{NaOH}))] \\
 &= (-2,256 \times 10^9) - (-2,22 \times 10^9) \\
 &= -2,56 \times 10^7 \text{ J/kmol} \\
 &= -2,56 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kmol}} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,184 \text{ J}} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kJ}} \\
 &= -6,11 \times 10^3 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Sehingga panas reaksi :

$$\begin{aligned}
 Q^o_R &= \text{kmol/jam} (\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ bereaksi}) \times \Delta H_R^o \\
 &= (19,1622 + 0,7821) \text{ kmol/jam} \times -6,11 \times 10^3 \text{ kkal/kmol} \\
 &= -121793,2926 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

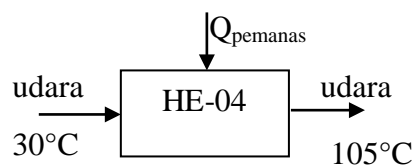
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{pemanas}} &= H_8 - (\text{total umpan masuk}) \\
 &= 173685,3409 \text{ kkal/jam} - 166338,7398 \text{ kkal/jam} \\
 &= 129139,8938 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel B.5 Neraca panas total neutralizer (N-01)

Komponen	Masuk	Keluar
	kkal/jam	kkal/jam
C ₁₄ H ₂₉ OH	2284.2398	2284.2398
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	105274.5769	-
H ₂ SO ₄	1203.8158	-
Na ₂ SO ₄	-	1913.0040
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na	-	114549.5160
NaOH	19406.2409	-
H ₂ O	38169.8663	54938.5811
Qreaksi	-121793.2926	-
Qpemanas	129139.8938	-
Total	173685.3409	173685.3409

B.6 Heater (HE-04)

Fungsi : memanaskan udara sebagai media pengering di spraydryer



A. Umpan masuk (H_9)

Data nilai C_p pada udara : (J/kmol.K)

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^{-2}$$

Komponen	A	B	D
Udara	3.355	5.75E+02	-1.60E-07

$$\begin{aligned} Q_{udara} &= m \int_{298.15 \text{ K}}^{303.15 \text{ K}} C_{p1} \cdot dT \\ &= m \left[A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{-1}(T^{-1} - 298.15^{-1}) \right] \\ &= (1507,9048 \text{ kmol/jam})(864385,5250 \text{ J/kmol.K})(K) \\ &= 1303411113,7072 \frac{J}{jam} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,1840} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kd}} \\ &= 311522.7327 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

B. Umpan keluar (H_{10})

$$\begin{aligned} Q_{udara} &= m \int_{298.15 \text{ K}}^{378.15 \text{ K}} C_{p1} \cdot dT \\ &= m \left[A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{-1}(T^{-1} - 298.15^{-1}) \right] \\ &= (1507,9048 \text{ kmol/jam})(15555168,4 \text{ J/kmol.K})(K) \\ &= 23455713662 \frac{J}{jam} \times \frac{1 \text{ kkal}}{4,1840} \times \frac{1 \text{ kkal}}{1000 \text{ kd}} \\ &= 5606050,11 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas reaksi} &= Q_{out} - Q_{in} \\ &= 5606050,11 - 311522,7327 \text{ kkal/jam} \\ &= 5294527,38 \end{aligned}$$

Sebagai pemanas digunakan *steam* dengan kondisi suhu (T) = 100 °C

- Cair jenuh (h_f) = 180,07 btu/lb

$$\begin{aligned} H_f &= 180,07 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}} \\ &= 100,0359 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$
- Uap jenuh (h_g) = 1150,4 btu/lb

$$\begin{aligned} H_g &= 1150,4 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}} \\ &= 639,0921 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$
- Laten kondensasi (h_{fg}) = 970,33 btu /lb (Kern, Tabel 7)

$$\begin{aligned} H_{fg} &= 970,33 \frac{\text{btu}}{\text{lb}} \times 252 \frac{\text{kal}}{\text{btu}} \times 2,20452 \frac{\text{b}}{\text{kg}} \times \frac{\text{kkal}}{1000 \text{ kal}} \\ &= 539,0562 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

Laju massa steam yang di butuhkan :

$$\begin{aligned} \text{Massa steam} &= \frac{Q_{pemanas}}{\lambda_{steam}} = \frac{5294527,38 \text{ kkal} / \text{jam}}{539,0562 \text{ kkal} / \text{kg}} \\ &= 9821,3458 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} Q_{\text{steam}} &= m_s \times h_g \\ &= 9821,3458 \text{ kg/jam} \times 639,0921 \text{ kkal/kg} \\ &= 6276744,553 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

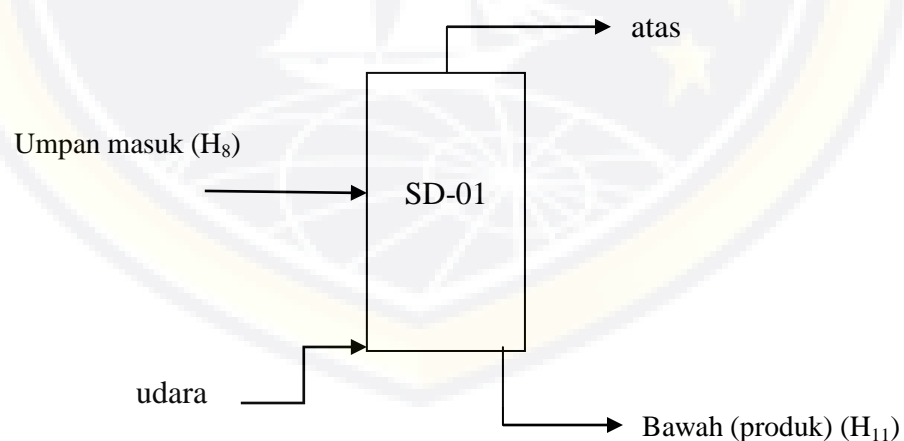
$$\begin{aligned} Q_{\text{kondensat}} &= m_s \times h_f \\ &= 9821,3458 \text{ kg/jam} \times 100,0359 \text{ kkal/kg} \\ &= 982487,1668 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

Tabel B.6 Neraca panas total HE-03

Komponen	Masuk	keluar
	kkal/jam	kkal/jam
Udara	311522.7327	5606050.11
Panas Reaksi	5294527.378	-
Total	5606050.11	5606050.11

B.7 Spray Dryer (SD-01)

Fungsi : mengeringkan produk dengan proses kontak langsung dengan udara sehingga didapatkan produk berupa bubuk



A. Umpun masuk

H_8 adalah umpun dari neutralizer

$$H_8 = Q C_{14}H_{29}OH + Q Na_2SO_4 + Q C_{14}H_{29}OSO_3Na + Q H_2O$$

$$= (2284,2398 + 1913,0040 + 1145549,5160 + 54938,5811) \text{ kkal/jam}$$

$$= 173685,3409 \text{ kkal/jam}$$

H_{10} adalah umpan dari HE-04 yaitu udara kering

$$H_{10} = 5606050,11 \text{ kkal/jam}$$

B. Umpan keluar

Mencari suhu keluar spray dryer:

$$Q_{\text{udara}} = Q_{\text{air menguap}}$$

$$(m.C_p.dT)_{\text{udara}} = (m.C_p.dT)_{\text{air menguap}}$$

Komponen	xi	cp (J/mol)	Cp . xi
R-OSO ₃ Na	0.8104	25011.5130	20268.3404
R-OH	0.0112	24439.0593	273.7117
Na ₂ SO ₄	0.0149	10233.6055	152.1045
H ₂ O	0.1636	3385.0625	553.7169

$$Q_{\text{udara}} = (m.C_p.dT)_{\text{udara}}$$

$$C_p \text{ udara } T_1 = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ dan } T_2 = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{udara}} = m \int_{313.15 \text{ K}}^{378.15 \text{ K}} C_p \cdot dT$$

$$= m \left[A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{-1}(T^{-1} - 298.15^{-1}) \right]$$

$$= (1507,9048) \times (12918,8868)$$

$$= 19480451,93 \text{ kJ/jam}$$

$$(m.C_p.dT)_{\text{udara}} = (m.C_p.dT)_{\text{air menguap}}$$

$$T_2 = \frac{19480451,93}{2334 \times 3385,0625 \times 63,1313} = 0,0391 + 343,15 = 343,1891 \text{ K}$$

Maka, suhu keluar adalah 343,1891 K atau 70,0391 °C

Aliran produk (bawah)

$$Q_{C \ H \ OH} = m \int_{298.15 \text{ K}}^{343.1891 \text{ K}} C_p \cdot dT$$

$$= m \left[A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298.15^4) \right]$$

$$= (0,3911 \text{ kmol/jam})(24460767,7479 \text{ J/kmol.K})(K)$$

$$= 9565748,8690 \text{ J/jam}$$

$$= 9565748,8690 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 2286,2689 kkal/jam$$

$$Q_{Na_2SO_4} = m \int_{298,15 K}^{343,1891 K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (0,7821 kmol/jam)(10242463,3990 J/kmol.K)(K)$$

$$= 8010936,8344 J/jam$$

$$= 8010936,8344 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 1913,0040 kkal/jam$$

$$Q_{C_{14}H_{29}OSO_3Na} = m \int_{298,15 K}^{343,1891 K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (19,1622 kmol/jam)(25033556,9230 J/kmol.K)(K)$$

$$= 479275174,9477 J/jam$$

$$= 479275174,9477 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 114549,5160 kkal/jam$$

$$Q_{H_2O} = m \int_{298,15 K}^{343,1891 K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{4}(T^4 - 298,15^4)]$$

$$= (3,5073 kmol/jam)(3387995,5617 J/kmol.K)(K)$$

$$= 11882700,4830 J/jam$$

$$= 11882700,4830 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184J} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 2840,0336 kkal/jam$$

Maka,

$$H_{11} = Q_{C_{14}H_{29}OH} + Q_{Na_2SO_4} + Q_{C_{14}H_{29}OSO_3Na} + Q_{H_2O}$$

$$= 121691,4368 kkal/jam$$

Aliran atas :

$$Q_{udara} = m \int_{298,15 K}^{313,15 K} C_{p1} \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298,15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298,15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298,15^3) + \frac{D}{-1}(T^{-1} - 298,15^{-1})]$$

$$= (1507,9048 kmol/jam)(2636281,575 J/kmol.K)(K)$$

$$= 3975261737 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184Q} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 950110,3578 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{H_2O} = m \int_{298.15 K}^{313.15 K} C_p \cdot dT$$

$$= m [A(T - 298.15) + \frac{B}{2}(T^2 - 298.15^2) + \frac{C}{3}(T^3 - 298.15^3) + \frac{D}{-1}(T^{-1} - 298.15^{-1})]$$

$$= (64,3978 \text{ kmol/jam})(1130,9929 \text{ J/kmol.K})(K)$$

$$= 72833,4694 \frac{J}{jam} \times \frac{1kal}{4,184Q} \times \frac{1kkal}{1000 kd}$$

$$= 17,4076 \text{ kkal/jam}$$

$$\text{Total aliran atas} = Q_{\text{udara}} + Q_{H_2O}$$

$$= (950110,3578 + 17,4076) \text{ kkal/jam}$$

$$= 950127,7655 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5606050,11 \text{ kkal/jam} - (121691,4368 + 950127,7655) \text{ kkal/jam}$$

$$= 4707916,2492$$

Tabel B.7 Neraca panas total spray dryer

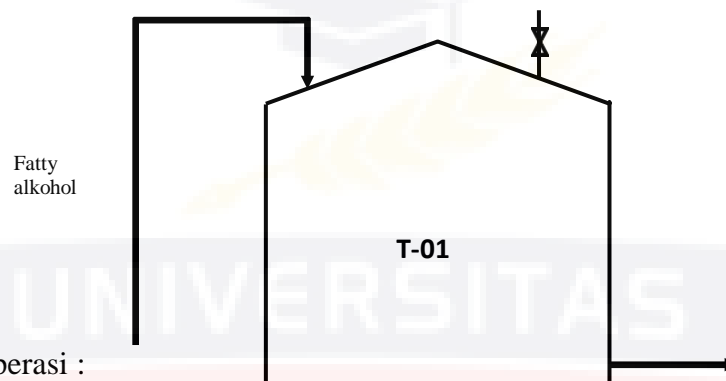
Komponen	Masuk	Keluar (kkal/jam)	
	kkal/jam	bawah	atas
C ₁₄ H ₂₉ OH	2284.239833	2286.2689	-
Na ₂ SO ₄	1913.004009	1914.6599	-
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na	114549.516	114650.4745	-
Udara	5606050.11	-	950110.3578
H ₂ O	54938.58108	2840.0336	17.40761699
Q _{loss}	-	4707916.2492	-
Total	5779735.4514	4829607.6859	950127.7655
	5779735.4514	5779735.4514	

LAMPIRAN C
SPESIFIKASI PERALATAN

1. Tangki Penyimpanan Bahan Baku $C_{14}H_{29}OH$

Fungsi : Menyimpan bahan baku Fatty Alkohol (R-OH).

Tipe : Tangki silinder vertikal dengan tutup konikal.



Kondisi Operasi :

Suhu = 30 °C

Tekanan = 1 atm

Perhitungan dimensi Alat:

Kapasitas untuk waktu tinggal = 1 bulan.

Umpan Fatty Alkohol :

R-OH = 4.184,3949 kg/jam

H₂O = 1,6744 kg/jam

Jumlah = 4186,0694 kg/jam

Volume Larutan

$$\begin{aligned} F_v &= 4186,0694 / \text{densitas cairan } (\rho_l) \\ &= 4186,0694 \text{ kg/jam} \times 829,2209 \text{ kg/m}^3 \\ &= 5,0428 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$V = F_v \times t$

$$= 5,0428 \text{ m}^3/\text{jam} \times 720 \text{ jam} = 3634,7008 \text{ m}^3 = 22861,6225 \text{ bbl}$$

Volume Tangki :

Dari Brownell and young diketahui kapasitas tangki maximum sebesar 6770 bbl,

dari data diatas diperhitungkan jumlah tangki yang dapat digunakan sebanyak :

$$\begin{aligned}
 n &= V / \text{Kapasitas Max Tangki} \\
 &= 22861,6225 \text{ bbl} / 6770 \text{ bbl} \\
 &= 3,7 \text{ buah} \\
 &= 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jadi tangki yang dibutuhkan adalah 4 Buah.

Ukuran Tangki

$$H/D = 3/8$$

Perhitungan volume 1 buah tangki

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Tangki (Vt)} &= 3634,7008 \text{ m}^3/4 \\
 &= 908,6752 \text{ m}^3 \\
 &= 5714,4 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

$$Vt = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}$$

Apabila diambil $(H/D) = 0,375$

$$Vt = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H \left(\frac{h}{d}\right) \cdot D}{4} \quad (\text{Bownell and young})$$

Atau :

$$\begin{aligned}
 D &= \left[\frac{4 \cdot Vt}{\pi \cdot \left(\frac{h}{d}\right) + 0,3388} \right]^{\frac{1}{3}} \\
 &= \frac{4 \cdot 908,6752}{\pi \cdot 0,375} + \frac{1}{3} = 14,5578 \text{ m} = 47,7618 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipilih ukuran diameter standar 50 ft.

Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi (H)} &= (h/d) \cdot D \text{ m} \\
 &= 0,375 \cdot 14,5578 \\
 &= 5,4592 \text{ m} = 17,91 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipilih ukuran tinggi standar 18 ft.

Maka diperoleh ukuran tangki :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter} &= 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 18 \text{ ft} = 5,46 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tebal Shell :

Dari Brownell & Young persamaan 3.18 untuk Hydrostatic test

Digunakan bahan Baja Stainless steel SA 167 grade 3

$$\text{Tekanan design (p)} = 14,70 \text{ psi}$$

Allowable stress = 18750 psi

efisiensi sambungan = 0,85

Corrosion allowance = 0,125 in

Tebal Shell :

Tekanan Hidrostatik pada kedalaman 32 ft dari dasar = 2,54 psi

$$\begin{aligned} T_{\text{shell}} &= \frac{\rho l \cdot (H-1) \cdot 12 \cdot D}{2 \cdot S \cdot e \cdot 144} + c \\ &= \frac{62,35 \cdot (18-1) \cdot 12 \cdot 50}{2 \cdot 18750 \cdot 0,85 \cdot 144} + 0,125 \\ &= 0,0001 (H-1) D + 0,125 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan lebar tiap plate 72 in = 6 ft

Maka untuk tinggi tangki = 18 ft

Ft diperlukan susunan plate sebanyak 3 susunan

H1 = 18.00 ft ts = 0,21 in

H2 = 12.00 ft ts = 0,18 in

H3 = 6.00 ft ts = 0,15 in

Menentukan Tinggi dan Tebal Head

Tebal conical head tangki dengan sudut kurang dari 60° dapat dihitung dengan persamaan :

$$th = \frac{P \times D}{2 (f \times E) \sin \theta} + c$$

Maka :

$$th = \frac{14,7 \text{ psi} \times 0,387096}{2 \times (18750 \times 0,85) \times 0,866} + 0,125 \quad (\text{pers. Brownell})$$

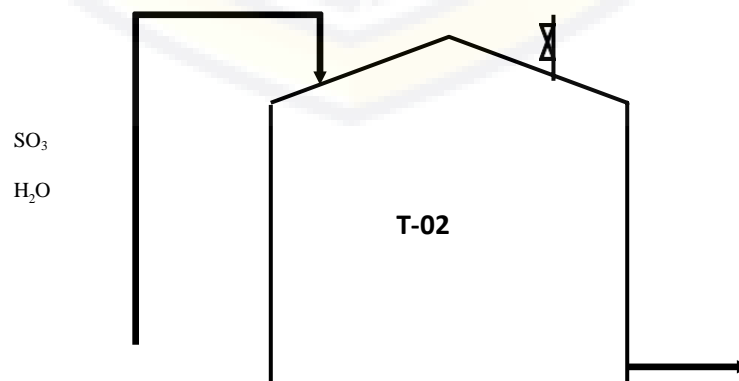
th = 0,125 in

Dipakai tebal head standar 3/6 in

2. Tangki Penyimpanan Bahan Baku SO₃

Fungsi : Menyimpan bahan baku Sulfur Trioxide (SO₃)

Tipe : Tangki silinder vertikal dengan tutup konikal.



Kondisi Operasi :

$$\text{Suhu} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 1 \text{ atm}$$

Perhitungan dimensi Alat:

Kapasitas untuk waktu tinggal = 1 bulan.

Umpan SO_3 :

$$\text{SO}_3 = 1595,54 \text{ Kg/jam}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 32,5621 \text{ Kg/jam}$$

$$\text{Jumlah} = 1628,11 \text{ Kg/jam}$$

Volume Larutan

$$F_v = 162,11 / \text{densitas cairan } (\rho_l)$$

$$= 1628,11 \text{ kg/jam} \times 1708,717 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,9547 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$V = F_v \times t$$

$$= 0,9547 \text{ m}^3/\text{jam} \times 720 \text{ jam}$$

$$= 686,143 \text{ m}^3 = 4315,722 \text{ bbl}$$

Volume Tangki :

Dari Brownell and young diketahui kapasitas tangki maximum sebesar 6770 bbl,

dari data diatas diperhitungkan jumlah tangki yang dapat digunakan sebanyak :

$$n = V / \text{Kapasitas Max Tangki}$$

$$= 4315,722 \text{ bbl} / 6770 \text{ bbl}$$

$$= 0,637477 = 1$$

Jadi tangki yang dibutuhkan adalah 1 Buah.

Ukuran Tangki

$$H/D = 3/8$$

Perhitungan volume 1 buah tangki

$$\text{Volume Tangki } (V_t) = 686,143 \text{ m}^3 / 1$$

$$= 686,143 \text{ m}^3$$

$$= 4315,72 \text{ bbl}$$

$$V_t = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}$$

Apabila diambil $(H/D) = 0,375$

$$V_t = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H \left(\frac{h}{d}\right) \cdot D}{4} \quad (\text{Bownell and young})$$

Atau :

$$D = \left[\frac{4 \cdot V_t}{\pi \cdot \left(\frac{h}{d}\right) + 0,3388} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= \frac{4 \cdot 686,143}{\pi \cdot 0,375} + 3 = 13,25657 \text{ m} = 43,493 \text{ ft}$$

Sehingga dipilih ukuran diameter standar 45 ft, maka :

$$\text{Tinggi (H)} = \left(\frac{h}{d}\right) \cdot D \text{ m}$$

$$= 0,375 \cdot 13,26 = 4,97 \text{ m} = 16,31 \text{ ft}$$

Sehingga dipilih ukuran tinggi standar 18 ft.

Maka diperoleh ukuran tangki :

$$\text{Diameter} = 45 \text{ ft} = 13,716 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 18 \text{ ft} = 5,4864 \text{ m}$$

Tebal Shell :

Dari Brownell & Young persamaan 3.18 untuk Hydrostatic test

Digunakan bahan Baja Stainless steel SA 167 grade 3

$$\text{Tekanan design (p)} = 62,37 \text{ psi}$$

$$\text{Allowable stress} = 18750 \text{ psi}$$

$$\text{efisiensi sambungan} = 0,85$$

$$\text{Corrosion allowance} = 0,125 \text{ in}$$

Tebal Shell :

Tekanan Hidrostatik pada kedalaman 32 ft dari dasar = 2,54 psi

$$T_{\text{shell}} = \frac{p \cdot (H-1) \cdot 12 \cdot D}{2 \cdot S \cdot e \cdot 144} + c$$

$$= \frac{62,35 \cdot (12-1) \cdot 15 \cdot 45}{2 \cdot 18750 \cdot 0,85 \cdot 144} + 0,125$$

$$= 0,0001 (H-1) D + 0,125$$

Dengan menggunakan lebar tiap plate 72 in = 6 ft

Maka untuk tinggi tangki = 18 ft

Ft diperlukan susunan plate sebanyak 3 susunan

$$H1 = 18,00 \text{ ft} \quad t_s = 0,20 \text{ in}$$

$$H2 = 12,00 \text{ ft} \quad t_s = 0,17 \text{ in}$$

$$H3 = 6,00 \text{ ft} \quad t_s = 0,15 \text{ in}$$

Menentukan Tinggi dan Tebal Head :

Tebal *conical head* tangki dengan sudut kurang dari 60° dapat dihitung dengan persamaan :

$$th = \frac{P \times D}{2 (f \times E) \sin \theta} + c, \text{ maka :}$$

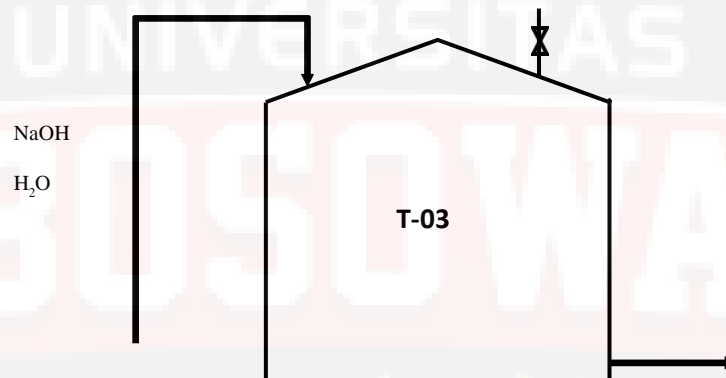
$$th = \frac{14,7 \text{ psi} \times 0,387096}{2 \times (18750 \times 0,85) \times 0,866} + 0,125 \quad th = 0,125 \text{ in (pers. Brownell)}$$

Dipakai tebal head standar 3/6 in

3. Tangki Penyimpanan Bahan Baku NaOH

Fungsi : Menyimpan bahan baku NaOH 50%

Tipe : Tangki silinder vertikal dengan tutup konikal.



Kondisi Operasi :

Suhu = 30°C

Tekanan = 1 atm

Perhitungan dimensi Alat:

Kapasitas untuk waktu tinggal = 1 bulan.

Umpan NaOH :

NaOH = 829,06 Kg/jam

H₂O = 829,05679Kg/jam

Jumlah = 1658.12 Kg/jam

Volume Larutan

$F_v = 1658,12 / \text{densitas cairan } (\rho_l)$

= $1658,12 \text{ kg/jam} \times 1466,05 \text{ kg/m}^3$

= 1,13101 m³/jam

$$\begin{aligned}
 V &= F_v \times t \\
 &= 1,13101 \text{ m}^3/\text{jam} \times 720 \text{ jam} \\
 &= 814,324 \text{ m}^3 = 5121,96 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

Volume Tangki :

Dari Brownell and young diketahui kapasitas tangki maximum sebsesar 6770 bbl, dari data diatas diperhitungkan jumlah tangki yang dapat digunakan sebanyak :

$$\begin{aligned}
 N &= V / \text{Kapasitas Max Tangki} \\
 &= 5121,96 \text{ bbl} / 6770 \text{ bbl} \\
 &= 0.7565664 = 1
 \end{aligned}$$

Jadi tangki yang dibutuhkan adalah 1 Buah.

Ukuran Tangki

$$H/D = 3/8$$

Perhitungan volume 1 buah tangki

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Tangki (Vt)} &= 814,324 \text{ m}^3/1 \\
 &= 814,324 \text{ m}^3 \\
 &= 5121.956 \text{ bbl}
 \end{aligned}$$

$$V_t = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}$$

Apabila diambil (H/D) = 0,375

$$V_t = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H \left(\frac{h}{d}\right) \cdot D}{4} \quad (\text{Bownell and young})$$

Atau :

$$\begin{aligned}
 D &= \left[\frac{4 \cdot V_t}{\pi \cdot \left(\frac{h}{d}\right) + 0,3388} \right]^{\frac{1}{3}} \\
 &= \left[\frac{4 \cdot 814,324}{\pi \cdot 0,375} \right]^{\frac{1}{3}} = 14,035 \text{ m} = 46,048 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipilih ukuran diameter standar 47 ft.

Maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi (H)} &= (h/d) \cdot D \text{ m} \\
 &= 0,375 \cdot 14,035 \\
 &= 5,263 \text{ m} = 17,268 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Sehingga dipilih ukuran tinggi standar 18 ft.

Maka diperoleh ukuran tangki :

$$\text{Diameter} = 46,05 \text{ m}$$

Tinggi = 5,26 m

Tebal Shell :

Dari Brownell & Young persamaan 3.18 untuk Hydrostatic test

Digunakan bahan Baja Stainless steel SA 167 grade 3

Tekanan design (p) = 62,37 psi

Allowable stress = 18750 psi

efisiensi sambungan = 0,85

Corrosion allowance = 0,125 in

Tebal Shell :

Tekanan Hidrostatik pada kedalaman 32 ft dari dasar = 2,54 psi

$$\begin{aligned} T \text{ shell} &= \frac{p \cdot (H-1) \cdot 12 \cdot D}{2 \cdot S \cdot e \cdot 144} + c \\ &= \frac{62,35 \cdot (18-1) \cdot 12 \cdot 50}{2 \cdot 18750 \cdot 0,85 \cdot 144} + 0,125 \\ &= 0,0001 (H-1) D + 0,125 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan lebar tiap plate 72 in = 6 ft

Maka untuk tinggi tangki = 18 ft

Ft diperlukan susunan plate sebanyak 3 susunan

H1 = 18.00 ft ts = 0,21 in

H2 = 12.00 ft ts = 0,18 in

H3 = 6.00 ft ts = 0,15 in

Menentukan Tinggi dan Tebal Head:

Tebal conical head tangki dengan sudut kurang dari 60° dapat dihitung dengan persamaan :

$$th = \frac{P \times D}{2 (f \times E) \sin \theta} + c$$

Maka :

$$th = \frac{14,7 \text{ psi} \times 0,387096}{2 \times (18750 \times 0,85) \times 0,866} + 0,125 \quad (\text{pers. Brownell})$$

$$th = 0,125 \text{ in}$$

Dipakai tebal head standar 3/6 in

4. Pompa 1

Kode : P-1

Tugas : Memompakan Fatty Alkohol dari tangki mobil pengangkut menuju vessel 01

Type Alat : *Sentrifugal Pumps*

Titik pemompaan :

Titik 1 (Tinggi cairan saat tangki mendekati kosong)

P1 = 1 atm

Z1 = 1,5 m

Titik 2 (Dipilih ujung pipa pemasukan kedalam tangka)

P2 = 1 Atm

Z2 = 5,4864 m

Volume tangka mobil = 1600 L

Perhitungan pompa

A. Sifat-sifat fisis fluida

1). Densitas cairan

Komponen	A	B	Tc (K)	n
ROH	0,26759	0,26	741	0,31824
H ₂ O	0,3471	0,274	647,13	0,28571

(Sumber : Yaws, C.L., "Chemical Properties Hand Book")

Dihitung dengan persamaan :

$$\rho_i = A \cdot B \cdot \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

Perhitungan setiap komponen dengan temperatur 303,15 k :

$$\rho_i \text{ ROH} = 0,26759 \cdot 0,26^{-\left(1 - \frac{303,15}{741}\right)^{0,31824}}$$

$$= 0,8283 \text{ kg/l}$$

$$\rho_i \text{ H}_2\text{O} = 0,3471 \cdot 0,2742^{-\left(1 - \frac{303,15}{647,13}\right)^{0,28571}}$$

$$= 1,02290 \text{ kg/l}$$

Komponen	Xi	ρ_i (kg/l)	$v_i' = 1/\rho_i$ (kg/l)	$x_i \cdot v_i$
ROH	0,999	0,8283	0,581	1,2068
H ₂ O	0,00040	1,0229	0,978	0,0004

Volume spesifik campuran, Dihitung dengan hukum Amagat

(Pers: 3.64 , Perry's, "Chemical Engineering Hand Book", Hal : 3-273)

Maka, dapat disimpulkan bahwa densitas campuran adalah :

$$V'_{mix} = \sum V_i \cdot x_i$$

$$V'_{mix} = 1,2702 \text{ kg/l}$$

Massa jenis campuran

$$\rho_l = \frac{1}{V'_{mix}} = \frac{1}{1,2702} = 0,8284 \text{ kg/l} = 828,36 \text{ kg/m}^3$$

2.) Viskositas

Harga A,B dan C Untuk beberapa komponen adalah :

Pada temperatur 303,15 K

komponen	A	B	C	D
ROH	-26,9629	6075,3	0,03719	-0,0000180
H2O	-10,2158	1792,5	0,01773	-0,000012631

(Tabel 22-1 hal : dan Tabel 22-2 hal :501 , Yaws C.L., Chemical properties Hand book)

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log } \mu = A + B/T + C T + D T^2$$

$$\text{Log } \mu_{\text{ROH}} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-26,9629) + (6075,3)/303,00 + (0,03719) (303,00) + (-0,000018) (303,15)^2$$

$$= 2,70$$

$$\text{Log } \mu_{\text{H}_2\text{O}} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-10,2158) + 1792,5/303,00 + (0,01773) (303,15) + (0,0000126) (303,15)^2$$

$$= -0,087$$

$$= -0,087$$

Komponen	Log (μ)	μ (cp)	X_i	$x_i \cdot \mu$
SO3	2,70	492,99	0,9996	492,80
H2O	-0,087	0,82	0,00040	0,000326
Total			1,00	492,80

Dari table dan perhitungan diatas dapat diketahui viskositas (μ) adalah 492,80 Cp atau 0,4927 Kg/m.s

B. Kapasitas Pompa

1.) Laju Alir (Q)

Dinyatakan dalam kecepatan volume fluida yang dipompa

Dirancang waktu pengosongan tangki mobil = 15 menit

$$Ql = \frac{\text{Kapasitas tangki mobil}}{\text{waktu pengisian}}$$

$$Ql = \frac{16000}{900}$$

$$= 17,78 \text{ l/s}$$

$$= 0,0178 \text{ m}^3/\text{s}$$

C. Ukuran Pipa

1.) Mengukur ukuran pipa optimum

$$G = Qp \cdot \rho \cdot 3600$$

$$= 17,7778 \cdot 0,8284 \cdot 3600$$

$$= 53015,3 \text{ kg/jam}$$

$$= 116,8767 \text{ K.lb/jam}$$

Untuk bahan *Stainless Steel*, diameter pipi optimum dapat diperoleh dengan persamaan :

$$Di, \text{ opt} = 226 \times G^{0.5} \times \rho^{-0.35} \quad (\text{Coulson and R, hal : 161})$$

$$\begin{aligned} Di, \text{ opt} &= 226 \times 53015,3^{0.5} \times 828,36^{-0.35} \\ &= 87,12 \text{ mm} \\ &= 3,43 \text{ in} \end{aligned}$$

Dipilih berdasarkan Tabel 11. Kern, D.Q., "Proses Heat Transfer", Hal : 844

Dipilih spesifikasi pipa :

Nominal Pipe Size	NPS	3,5
Schedule Number	Sch.N	40
Inside Diameter	ID	3,548 in
Outside Diameter	OD	4 in

D. Head Pompa

Dihitung dalam persamaan bernouli.

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1^2}{2g} + hman = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2^2}{2g} + hf$$

(Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 267)

Dengan hubungan :

γ : Rapat berat (Weight density), Nm-3

- h_f : Head karena friksi, m
 h_{man} : Head pompa (head manufacturing), m
 P_1, P_2 : Tekanan pada titik 1 dan titik 2, Nm⁻²
 V_1, V_2 : Kecepatan linier pada titik 1 dan titik 2, m/s
 Z_1, Z_2 : Elevasi pada titik 1 dan titik 2, m
 g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

1). Rapat berat (γ)

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 828,36 \cdot 9,8 \\ &= 8117,96 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

2). Head karena friksi

Dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach (Street, R.L., G. E. Watters, J. K. Venard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 324)

$$h_f = \frac{f_{dw} [L + \sum L_e] V^2}{2 \cdot g \cdot ID}$$

Dengan hubungan :

f_{dw} : Faktor friksi (dari moody diagram)

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

L : Panjang pipa lurus, m

$\sum L_e$: Panjang ekuivalen (dari fig.12.7, Brown, GG)

ID : Diameter dalam, m

Bahan Konstruksi

Bahan yang dipilih adalah *Commercial steel*

Luas aliran

$$a_p = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,09^2}{4} = 0,00638 \text{ m}^2$$

Kecepatan linear

Titik 1

$$V_1 = 0$$

Titik 2

$$V_2 = \frac{Q_l}{a_p} = \frac{0,0178}{0,0064} = 2,79 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot ID}{\varphi} = \frac{828,3637 \cdot 2,79 \cdot 0,09}{0,4928} = 422,44$$

Faktor friksi (fdw)

Karena alirannya laminar maka :

$$F = \frac{64}{Re}$$

$$F = \frac{64}{422,44} = 0,1515$$

Dirancang pipa lurus L = 30 m

Panjang ekivalen

Keterangan	Le (ft)	N	n.Le
Ordinary Entrance	35	2	70
Elbow	65	5	325
Valve	650	1	650
Sudden Enlargement	35	2	70
Total			1115

(Sumber : Fig. 127. Brown, G.G., "Unit Operation", p. 141)

$$\sum Le = 1115 \text{ ft} = 339,85 \text{ m}$$

Head karena friksi (hf)

Untuk :

$$L = 30 \text{ m}$$

$$\sum Le = 339,85 \text{ m}$$

$$V = 2,79 \text{ m/s}$$

$$Fdw = 0,0$$

$$ID = 0,09 \text{ m}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

maka :

$$\text{Head F} = \frac{f V^2 (L + Le)}{(2 g c \cdot ID)} = \frac{0,1515 \cdot 2,79^2 (30 + 339,85)}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,09)} = 246,67 \text{ m}$$

3). Head pompa /Head manufacturing (hman)

$$P1 = 1 \text{ Atm}$$

$$= 101325 \text{ N/m}^2$$

$$P2 = 1 \text{ Atm}$$

$$= 101325 \text{ N/m}^2$$

$$\gamma = 8117,96 \text{ N/m}^3$$

Maka,

$$h_{press} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{0}{8117,96} = 0 \text{ m}$$

Potential head

$$h_{pot} = Z_2 - Z_1$$

$$\text{Dimana } Z_1 = 1,50 \text{ m}$$

$$Z_2 = 5,49 \text{ m}$$

$$h_{pot} = 5,49 - 1,50$$

$$= 3,99 \text{ m}$$

Kinetik Head

$$h_{kin} = \frac{1}{2g} [V_2^2 + V_1^2]$$

Dimana,

$$V_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 2,79 \text{ m/s}$$

$$h_{kin} = \frac{1}{2(9,8)} [2,79^2 + 0^2]$$

$$= 0,40 \text{ m}$$

Head Pompa/Head Manufacturing (h_{man})

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = (0 + 3,99 + 0,40)$$

$$= 4,38 \text{ m}$$

E. Kecepatan spesifik (N_s)

Dihitung dengan Persamaan : , Brown, G.G., "Unit Operation", hal :

$$N_s = \frac{N \cdot Q^{0.5}}{(g \cdot h_{man})^{0.75}}$$

Dengan hubungan

N_s : Kecepatan spesifik; 0,1 sampai dengan 1 , 1/s

N : Kecepatan rotasi, rad/s

QL : Kapasitas pompa, m³/s

g : Percepatan gravitasi, m/s²

h_{man} : Head pompa, m

Dirancang dengan kecepatan rotasi = 3000 rpm

$$Slip = 5 \%$$

(Ludwig, E.E., "Applied Proces Design for Chemical and Petrochemical Plant ",
vol III,hal 330)

$$Rpm = 2850 rpm$$

$$= 47,5 rps$$

$$N_s = \frac{47,5 \cdot 0,0178^{0,5}}{(9,8 \cdot 4,38)^{0,75}} = 0,38 \text{ rotasi}$$

Jika $N_s = 0,1 - 1,1$ maka N_s masuk range standar

F. Daya penggerak poros

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_o = \frac{h_{man} \cdot Q_1 \cdot \gamma}{E_{ff}}$$

Effisiensi pompa

Diperoleh dari fig 3.24 Ludwig, E.E., " Applied process Design for Chemical and
Petrochemical Plants", hal 120

dari fig 3.24 diperoleh Effisiensi = 67 %

$$P_o = \frac{4,38 \cdot 0,01778 \cdot 8117,96}{0,67} = 944,13 \text{ Nm/s}$$

$$= 944,13 \text{ watt}$$

G. Motor Standar

Daya yang diperlukan

$$P_o = 944,13 \text{ watt} = 1,27 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 %

(fig12.18, Peters M. S., and K.D., Timmerhaus,hal 516)

$$\text{Daya motor} = \frac{1,27}{\frac{80}{100}} = 1,58 \text{ Hp}$$

Maka dipilih motor induksi 2 Hp

(Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", vol 3, hal 400)

5. Pompa 2

Kode : P-2

Tugas : Memompa bahan baku yang berasal dari Tangki penyimpanan ke reaktor gelembung

Type Alat : Sentrifugal Pumps.

Titik pemompaan :

Titik 1 (Tinggi cairan saat tangki mendekati kosong)

P1 = 1,00 atm

Z1 = 1,20 m

Titik 2 (Dipilih ujung pipa pemasukan kedalam reactor gelembung)

P2 = 1,50 Atm

Z2 = 3,21 m

Umpan segar Fatty Alkohol

komponen	BM	Xi	Kgmol	Kg
ROH	214,00	1,00	19,55	4.184,39
H2O	18,00	0,00	0,09	1.67
Total		1,00	19,68	4.184,39

A. Sifat-sifat fisis fluida

1). Densitas cairan

Komponen	A	B	Tc (K)	n
ROH	0,26759	0,26	741	0,31824
H ₂ O	0,3471	0,274	647,13	0,28571

(Sumber : Yaws, C.L., "Chemical Properties Hand Book")

Dihitung dengan persamaan :

$$\rho_i = A \cdot B \cdot \left(\frac{T}{T_c} \right)^n$$

Perhitungan setiap komponen dengan temperatur 303,15 k :

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ ROH} &= 0,26759 \cdot 0,26^{-\left(1 - \frac{303,00}{741}\right)^{0,31824}} \\ &= 0,8283 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\rho_i \text{ H}_2\text{O} = 0,3471 \cdot 0,2742^{-\left(1 - \frac{303,00}{647,13}\right)^{0,28571}}$$

$$= 1,02290 \text{ kg/l}$$

Komponen	X_i	$(1-T/T_c)^n$	ρ_i (kg/l)	$v_i = 1/\rho_i$ (kg/l)	$x_i \cdot v_i$
ROH	1.00	0.85	0.8283	0.85	1.21
H2O	0.00	0.83	1.0229	0.83	0.00
$\sum v_i x_i$					1.21

Volume spesifik campuran, Dihitung dengan hukum Amagat

(Pers: 3.64 , Perry's, "Chemical Engineering Hand Book", Hal : 3-273)

Maka, dapat disimpulkan bahwa densitas campuran adalah :

$$V'_{mix} = \sum V_i \cdot x_i$$

$$V'_{mix} = 1.21 \text{ kg/l}$$

Massa jenis campuran

$$\rho_l = \frac{1}{V'_{mix}} = \frac{1}{1.21} = 0.83 \text{ kg/l}$$

$$= 828.47 \text{ kg/m}^3$$

2.) Viskositas

Harga A,B dan C Untuk beberapa komponen adalah :

Pada temperatur 303,00 K

komponen	A	B	C	D
ROH	-26.9629	6075.3	0.03719	-0.0000180
H2O	-10.2158	1792.5	0.01773	-0.0000126

(Tabel 22-1 hal : dan Tabel 22-2 hal :501 , Yaws C.L., Chemical properties Hand book)

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log } \mu = A + B/T + C T + D T^2$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu_{\text{ROH}} &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= (-26,9629) + (6075,3)/303,00 + (0,03719) (303,00) + (-0,000018) \\ &\quad (303,15)^2 \\ &= 2,70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu_{\text{H}_2\text{O}} &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= (-10,2158) + 1792,5/303,00 + (0,01773) (303,15) + (0,0000126) \\ &\quad (303,15)^2 \\ &= -0,087 \end{aligned}$$

Komponen	Log (μ)	μ (cp)	x_i	$x_i \cdot \mu$
SO3	2,70	499,84	1,00	499,64
H2O	-0,087	0,82	0,00	0,00
Total			1,00	499,64

Dari table dan perhitungan diatas dapat diketahui viskositas (μ) adalah 499.64 Cp atau 0.499 Kg/m.s

B. Kapasitas Pompa

Laju Alir (Q) :

Dinyatakan dalam kecepatan volume fluida yang dipompa

$$Ql = \frac{\text{Kapasitas mass}}{\text{massa jenis}}$$

$$Ql = \frac{4194,29}{0,83}$$

$$= 5062,72 \text{ liter/jam}$$

$$= 1,41 \text{ liter/s}$$

$$= 0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$$

C. Ukuran Pipa

Mengukur ukuran pipa optimum

Aliran viscous

$$Di = 0,133 \times mv^{0.4} \times \varphi^{0.2}$$

(Plant and Economics For Chemical Engineering, Timmerhous, hal 501)

$$Di = 0,133 \times 0,0014^{0.4} \times 499,64^{0.2}$$

$$= 0,03 \text{ m}$$

$$= 1,31 \text{ in}$$

Dipilih berdasarkan Tabel 11. Kern, D.Q., "Proces Heat Transfer", Hal : 844

Dipilih spesifikasi pipa :

Nominal Pipe Size	IPS	1.25
Schedule Number	Sch.N	40
Inside Diameter	ID	1.38 in
Outside Diameter	OD	1.66 in

D. Head Pompa

Dihitung dalam persamaan bernouli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

(Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 267)

Dengan hubungan :

γ : Rapat berat (Weight density), Nm^{-3}

h_f : Head karena friksi, m

h_{man} : Head pompa (head manufacturing), m

P_1, P_2 : Tekanan pada titik 1 dan titik 2, Nm^{-2}

V_1, V_2 : Kecepatan linier pada titik 1 dan titik 2, ms^{-1}

Z_1, Z_2 : Elevasi pada titik 1 dan titik 2, m

g : Percepatan gravitasi normal, ms^{-2}

1). Rapat berat (γ)

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 828,47 \cdot 9,8 \\ &= 8118,96 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

2). Head karena friksi

Dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach (Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 324)

$$h_f = \frac{f_{dw} [L + \sum Le] V^2}{2 \cdot g \cdot ID}$$

Dengan hubungan :

f_{dw} : Faktor friksi (dari moody diagram)

g : Percepatan gravitasi normal, ms^{-2}

L : Panjang pipa lurus, m

$\sum Le$: Panjang ekuivalen (dari fig.12.7, Brown, GG)

ID : Diameter dalam, m

Bahan Konstruksi

Bahan yang dipilih adalah *Commercial steel*

Luas aliran

$$a_p = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,00126 \text{ m}^2$$

Kecepatan linear

Titik 1

$$V_1 = 0$$

Titik 2

$$V_2 = \frac{Ql}{ap} = \frac{0,0014}{0,00126} = 1,11 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot ID}{\varphi} = \frac{828,47 \cdot 1,46 \cdot 0,04}{0,50} = 84,75$$

Faktor friksi (fdw)

Karena alirannya laminar maka :

$$F = \frac{64}{Re}$$

$$F = \frac{64}{85,75} = 0,76$$

Dirancang pipa lurus L=50 m

Panjang ekivalen

Keterangan	Le (ft)	n	n.Le
Ordinary Entrance	4,00	1,00	4,00
Elbow	6,00	4,00	24,00
Swing Check	16,00	1,00	16,00
Valve	70,00	1,00	70,00
Sudden Enlargement	7,00	1,00	7,00
Total			121,00

(Sumber : Fig. 127. Brown, G.G., "Unit Operation", p. 141)

$$\sum Le = 121,00 \text{ ft}$$

$$= 36,88 \text{ m}$$

$$\Delta P \cdot HE = 10 \text{ Psi (Maksimum)}$$

$$1 \text{ Psi} = 6892,86 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P \cdot HE = 68928,57 \text{ N/m}^2$$

$$\sum Le \cdot HE = \frac{\Delta P \cdot HE}{\gamma} = \frac{6892,86}{8118,96} = 8,49$$

$$\sum Le = \sum Le \cdot HE \cdot \sum Le$$

$$\sum Le = (\sum Le \cdot HE) (\sum Le)$$

$$\sum Le = (8,49) (36,88)$$

$$= 45,37 \text{ m}$$

Head karena friksi (h_f)

Untuk :

$$L = 50 \text{ m}$$

$$\sum L_e = 45,37 \text{ m}$$

$$V = 1,46 \text{ m/s}$$

$$f_{dw} = 0,76$$

$$ID = 0,04 \text{ m}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

maka :

$$\text{Head } F = \frac{fV^2(L+L_e)}{(2gc \cdot ID)} = \frac{0,76 \cdot 1,46^2 (50+45,37)}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,04)} = 203,04 \text{ m}$$

3). Head pompa /Head manufacturing (h_{man})

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 \text{ Atm} \\ &= 101325 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= 1,50 \text{ Atm} \\ &= 151987 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\gamma = 8118,96 \text{ N/m}^3$$

Maka,

$$h_{press} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{5.66}{8118.96} = 6,24 \text{ m}$$

Potential head

$$h_{pot} = Z_2 - Z_1$$

$$\text{Dimana } Z_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$Z_2 = 3,21 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} h_{pot} &= 3,21 - 1,20 \\ &= 2,01 \text{ m} \end{aligned}$$

Kinetik Head

$$h_{kin} = \frac{1}{2g} [V_2^2 + V_1^2]$$

Dimana,

$$V_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 1,46 \text{ m/s}$$

$$h_{kin} = \frac{1}{2(9,8)} [1,46^2 + 0^2]$$

$$= 0,11 \text{ m}$$

Head Pompa/Head Manufacturing (h_{man})

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = (6,24 + 2,01 + 0,11)$$

$$= 8,36 \text{ m}$$

E. Kecepatan spesifik (N_s)

Dihitung dengan Persamaan : , Brown, G.G., "Unit Operation", hal :

$$N_s = \frac{N \cdot Q^{0.5}}{(g \cdot h_{man})^{0.75}}$$

Dengan hubungan

N_s : Kecepatan spesifik; 0,1 sampai dengan 1 , 1/s

N : Kecepatan rotasi, rad/s

Q : Kapasitas pompa, m³/s

g : Percepatan gravitasi, m/s²

h_{man} : Head pompa, m

Dirancang dengan kecepatan rotasi = 10000 rpm

$$Slip = 5 \%$$

(Ludwig, E.E., "Applied Proces Design for Chemical and Petrochemical Plant ",
vol III,hal 330)

$$Rpm = 9500 \text{ rpm}$$

$$= 158,33 \text{ rps}$$

$$N_s = \frac{158,33 \cdot 0^{0.5}}{(9,8 \cdot 8,36)^{0.75}} = 0,22 \text{ rotasi}$$

Jika $N_s = 0.1 - 1.1$ maka N_s masuk range standar

F. Daya penggerak poros

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_o = \frac{h_{man} \cdot Q_1 \cdot \gamma}{Eff}$$

Effisiensi pompa

Diperoleh dari fig 3.24 Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", hal 120

dari fig 3.24 diperoleh Effisiensi = 48 %

$$P_o = \frac{8,36 \cdot 0,00 \cdot 8118,96}{0,48} = 198,82 \text{ Nm/s}$$

$$= 198,82 \text{ watt}$$

G. Motor Standar

Daya yang diperlukan

$$P_o = 198,82 \text{ watt}$$

$$= 0,27 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80 %

(fig12.18, Peters M. S., and K.D., Timmerhaus, hal 516)

$$\text{Daya motor} = \frac{0,27}{\frac{80}{100}} = 0,33 \text{ Hp}$$

Maka dipilih motor induksi 0,50 Hp

(Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", vol 3, hal 400)

6. Pompa 3

Kode : P-3

Tugas : Memompa SO₃ dari truk tangki kedalam tangki penyimpanan

Type Alat : Sentrifugal Pumps.

Titik pemompaan :

Titik 1 (Tinggi cairan saat tangki mendekati kosong)

$$P_1 = 1,00 \text{ atm}$$

$$Z_1 = 1,50 \text{ m}$$

Titik 2 (Dipilih ujung pipa pemasukan kedalam reactor gelembung)

$$P_2 = 1,00 \text{ Atm}$$

$$Z_2 = 5,49 \text{ m}$$

Volume tangki = 16000 liter

A. Sifat-sifat fisis fluida

1). Densitas cairan

Komponen	A	B	Tc (K)	n
SO3	0,63003	0,27	545	0,3083
H2O	0,3471	0,274	647,13	0,28571

(Sumber : Yaws, C.L., "Chemical Properties Hand Book")

Dihitung dengan persamaan :

$$\rho_i = A \cdot B \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

Perhitungan setiap komponen dengan temperatur 303,15 K :

$$\rho_i \text{ SO3} = 0,63003 \cdot 0,27 \left(1 - \frac{303,15}{545}\right)^{0,3083}$$

$$= 1,7224 \text{ kg/l}$$

$$\rho_i \text{ H2O} = 0,3471 \cdot 0,2742 \left(1 - \frac{303,15}{647,13}\right)^{0,28571}$$

$$= 1,02290 \text{ kg/l}$$

Komponen	Massa	Xi	ρi	v'i = 1/ρi	xi . v'i	xi.ρ
	kg/jam		(Kg/L)	(L/Kg)		
SO3	1595,5450	0,9804	1,7224	0,5806	0,5692	1,6887
H2O	32,5621	0,0196	1,0229	0,9776	0,0192	0,0201
$\sum v'i \text{ xi} =$					0,5884	1,7087

Volume spesifik campuran, Dihitung dengan hukum Amagat

(Pers: 3.64 , Perry's, "Chemical Engineering Hand Book", Hal : 3-273)

Maka, dapat disimpulkan bahwa densitas campuran adalah :

$$V' \text{ mix} = \sum V_i \cdot x_i$$

$$V' \text{ mix} = 0,5884 \text{ kg/l}$$

Massa jenis campuran

$$\rho_l = \frac{1}{V' \text{ mix}} = \frac{1}{0,5884} = 1,70 \text{ kg/l}$$

$$= 1700 \text{ kg/m}^3$$

2.) Viskositas

Harga A,B dan C Untuk beberapa komponen adalah :

Pada temperatur 303,15 K

komponen	A	B	C	D
SO3	12,57	-988,9	-0,04079	0,00003502
H2O	-10,2158	1792,5	0,01773	-0,000012631

(Tabel 22-1 hal : dan Tabel 22-2 hal :501 , Yaws C.L., Chemical properties Hand book)

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log } \mu = A + B/T + C T + D T^2$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu \text{ SO}_3 &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= (12,57) + (-988,9)/303,15 + (-0,04079) (303,15) + (0,00003502) \\ &\quad (303,15)^2 \\ &= 0,161 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu \text{ H}_2\text{O} &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= (-10,2158) + 1792,5/303,00 + (0,01773) (303,15) + (0,0000126) \\ &\quad (303,15)^2 \\ &= -0,087 \end{aligned}$$

komponen	Log (μ)	μ (cp)	X_i	$x_i \cdot \mu$
SO3	0,161	1,448	0,98039	1,4195972
H2O	-0,089	0,8150	0,01961	0,0159811
Total		2.26302	1.00000	1.4355783

Dari table dan perhitungan diatas dapat diketahui viskositas (μ) adalah 1,44 Cp atau 0,00144 Kg/m.s

B. Kapasitas Pompa

Laju Alir (Q) :

Dinyatakan dalam kecepatan volume fluida yang dipompa

Dirancang waktu pengosongan tangki mobil = 15 menit

$$\begin{aligned} Ql &= \frac{\text{Kapasitas tangki mobil}}{\text{waktu pengisian}} \\ Ql &= \frac{16000}{900} \\ &= 17,78 \text{ l/s} \\ &= 0,0178 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

C. Ukuran Pipa

Mengukur ukuran pipa optimum :

$$\begin{aligned} G &= Qp \times \rho \\ &= 17,7778 \times 1,6996 \\ &= 108,78 \text{ kg/jam} \\ &= 239,81 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Untuk bahan *Stainless Steel*, diameter pipi optimum dapat diperoleh dengan persamaan :

$$Di, \text{ opt} = 226 \times G^{0.5} \times \rho^{-0.35} \quad (\text{Coulson and R, hal : 161})$$

$$\begin{aligned} Di, \text{ opt} &= 226 \times 239,81^{0.5} \times 1700^{-0.35} \\ &= 98,45 \text{ mm} \\ &= 3,88 \text{ in} \end{aligned}$$

Dipilih berdasarkan Tabel 11. Kern, D.Q., "Proces Heat Transfer", Hal : 844

Dipilih spesifikasi pipa :

Nominal Pipe Size	NPS	3,5
Schedule Number	Sch.N	40
Inside Diameter	ID	3,548 in
Outside Diameter	OD	4 in

D. Heat Pompa

Dihitung dalam persamaan bernouli.

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1^2}{2g} + hman = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2^2}{2g} + hf$$

(Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI,1996, hal 267)

Dengan hubungan :

- γ : Rapat berat (Weight density), Nm⁻³
- hf : Head karena friksi, m
- $hman$: Head pompa (head manufacturing), m
- $P1, P2$: Tekanan pada titik 1 dan titik 2, Nm⁻²
- $V1, V2$: Kecepatan linier pada titik 1 dan titik 2, m/s
- $Z1, Z2$: Elevasi pada titik 1 dan titik 2, m
- g : Percepatan gravitai normal, ms⁻²

1). Rapat berat (γ)

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma = 1700 \cdot 9,8$$

$$= 16656,5 \text{ N/m}^3$$

2). Head karena friksi

Dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach (Street, R.L., G. E. Watters, J. K. Vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 324)

$$h_f = \frac{f_{dw} [L + \sum L_e] V^2}{2 \cdot g \cdot ID}$$

Dengan hubungan :

f_{dw} : Faktor friksi (dari moody diagram)

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

L : Panjang pipa lurus, m

$\sum L_e$: Panjang ekuivalen (dari fig.12.7, Brown, GG)

ID : Diameter dalam , m

Bahan Konstruksi

Bahan yang dipilih adalah *Commercial steel*

Luas aliran :

$$a_p = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,09^2}{4} = 0,00126 \text{ m}^2$$

Kecepatan linear

Titik 1

$$V_1 = 0$$

Titik 2

$$V_2 = \frac{Q_l}{a_p} = \frac{0,0178}{0,0064} = 2,79 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot ID}{\varphi} = \frac{1700 \times 2,79 \times 0,09}{0,0014} = 297523,24$$

Faktor friksi (f_{dw})

Karena alirannya laminar maka :

$$F = \frac{64}{Re}$$

$$F = \frac{64}{85,75} = 0,76$$

Dirancang pipa lurus $L=30$ m

Panjang ekivalen

Keterangan	Le (ft)	n	n.Le
Ordinary Entrance	35	2	70
Elbow	65	5	325
Valve	650	1	650
Sudden Enlargement	35	2	70
Total			1115

(Sumber : Fig. 127. Brown, G.G., "Unit Operation", p. 141)

$$\sum Le = 1115 \text{ ft}$$

$$= 339,85 \text{ m}$$

Head karena friksi (h_f)

Untuk :

$$L = 50 \text{ m}$$

$$\sum Le = 339,85 \text{ m}$$

$$V = 2,79 \text{ m/s}$$

$$f_{dw} = 0.0$$

$$ID = 0,09 \text{ m}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

maka :

$$\text{Head } F = \frac{fV^2(L+Le)}{(2gc \cdot ID)} = \frac{0,0195 \cdot 2,79^2 (30+339,85)}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,09)} = 31,75 \text{ m}$$

3). Head pompa /Head manufacturing (h_{man})

$$P_1 = 1 \text{ Atm}$$

$$= 101325 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = 1 \text{ Atm}$$

$$= 101325 \text{ N/m}^2$$

$$\gamma = 16656,49 \text{ N/m}^3$$

Maka,

$$h_{press} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{0}{16656,49} = 0 \text{ m}$$

Potential head

$$h_{pot} = Z_2 - Z_1$$

Dimana $Z1 = 1,50$ m

$$Z2 = 5,49$$
 m

$$h_{pot} = 5,49 - 1,50$$

$$= 3,99$$
 m

Kinetik Head

$$h_{kin} = \frac{1}{2g} [V_2^2 + V_1^2]$$

Dimana,

$$V1 = 0$$
 m/s

$$V2 = 2,79$$
 m/s

$$h_{kin} = \frac{1}{2(9,8)} [2,79^2 + 0^2]$$

$$= 0,40$$
 m

Head Pompa/Head Manufacturing (h_{man})

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P2 - P1}{\gamma} + (Z2 - Z1) + \frac{V2^2 + V1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P2 - P1}{\gamma} + (Z2 - Z1) + \frac{V2^2 + V1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = (0 + 3,99 + 0,40)$$

$$= 4,38$$
 m

E. Kecepatan spesifik (N_s)

Dihitung dengan Persamaan : , Brown, G.G., "Unit Operation", hal :

$$N_s = \frac{N \cdot Ql^{0.5}}{(g \cdot h_{man})^{0.75}}$$

Dengan hubungan

N_s : Kecepatan spesifik; 0,1 sampai dengan 1 , 1/s

N : Kecepatan rotasi, rad/s

QL : Kapasitas pompa, m³/s

g : Percepatan gravitasi, m/s²

h_{man} : Head pompa, m

Dirancang dengan kecepatan rotasi = 3000 rpm

$$\text{Slip} = 5 \%$$

(Ludwig, E.E., "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plant", vol III, hal 330)

$$Rpm = 2850 \text{ rpm}$$

$$= 47,5 \text{ rps}$$

$$Ns = \frac{47,5 \cdot 0,0178^{0,5}}{(9,8 \cdot 4,38)^{0,75}} = 0,38 \text{ rotasi}$$

Jika $Ns = 0,1 - 1,1$ maka Ns masuk range standar

F. Daya penggerak poros

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_o = \frac{hman \cdot Q_1 \cdot \gamma}{Eff}$$

Effisiensi pompa

Diperoleh dari fig 3.24 Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", hal 120

dari fig 3.24 diperoleh Effisiensi = 67 %

$$P_o = \frac{0,01778 \cdot 4,39 \cdot 16656,49}{0,67} = 1937,18 \text{ Nm/s}$$

$$= 1937,18 \text{ watt}$$

G. Motor Standar

Daya yang diperlukan

$$P_o = 1937,18 \text{ watt}$$

$$= 2,60 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80 %

(fig 12.18, Peters M. S., and K.D., Timmerhaus, hal 516)

$$\text{Daya motor} = \frac{2,60}{\frac{80}{100}} = 3,25 \text{ Hp}$$

Maka dipilih motor induksi 3 Hp

(Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", vol 3, hal 400)

7. Pompa 4

Fungsi : Memompakan SO₃ ke Pemanas (HE)

Type : Sentrifugal Pumps.

A. Sifat-sifat fisis fluida

1). Densitas cairan

Komponen	A	B	Tc (K)	n
SO ₃	0.63003	0.27472	545	0.3083
H ₂ O	0.3471	0.274	647.13	0.28571

(Sumber : Yaws, C.L., "Chemical Properties Hand Book")

Dihitung dengan persamaan :

$$\rho_i = A \cdot B \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

Perhitungan setiap komponen dengan temperatur 303.15 k :

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ SO}_3 &= 0.63003 \cdot 0.27472 \left(1 - \frac{303.15}{545}\right)^{0.3083} \\ &= 1.7224 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ H}_2\text{O} &= 0.3471 \cdot 0.2742 \left(1 - \frac{303.15}{647.13}\right)^{0.28571} \\ &= 1.02290 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

Komponen	Massa (kg/jam)	xi	ρ_i (kg/l)	$v_i = 1/\rho_i$ (kg/l)	$xi \cdot v_i$
SO ₃	1595.55	0.98	1.7224	0.581	0.569
H ₂ O	32.56	0.02	1.02290	0.978	0.002
$\sum v_i xi =$	1628.11	1		1.7084	0.589

Maka, dapat disimpulkan bahwa densitas campuran adalah :

$$\begin{aligned} \rho \text{ SO}_3 &= \rho_i \cdot xi \\ &= 1,7224 \cdot 0,98 \\ &= 1,6880 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ H}_2\text{O} &= \rho_i \cdot xi \\ &= 1,02290 \cdot 0,02 \\ &= 0,0205 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ Campuran} &= \rho \text{ SO}_3 + \rho \text{ H}_2\text{O} \\ &= 1,6880 \text{ kg/l} + 0,0205 \text{ kg/l} \\ &= 1,7084 \text{ kg/l} \\ &= 1708,44 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

2.) Viskositas

Harga A,B dan C Untuk beberapa komponen adalah :

Pada temperatur 303,15 K

Komponen	A	B	C	D
SO ₃	12.57	-988.9	-0.04079	0.00003502
H ₂ O	-10.2158	1792.5	0.01773	-0.000012631

(Tabel 22-1 hal : dan Tabel 22-2 hal :501 , Yaws C.L., Chemical properties Hand book)

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log } \mu = A + B/T + C T + D T^2$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu \text{ SO}_3 &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= 12.57 + (-988.9)/303,15 + (-0.04079) (303,15) + 0.00003502 \\ &\quad (303,15)^2 \\ &= 0.161 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu \text{ H}_2\text{O} &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= (-10.2158) + 1792.5/303,15 + 0.01773 \times 303,15 + (0.000012631) \\ &\quad (303,15)^2 \\ &= -0.089 \end{aligned}$$

Komponen	Log (μ)	μ (cp)	x_i	$x_i \cdot \mu$
SO ₃	0.161	1.448	0.98000	1.419029
H ₂ O	-0.089	0.8150	0.02000	390.24
Total		2.26302	1.00000	391.66

Dari table dan perhitungan diatas dapat diketahui viskositas (μ) adalah 391.66 Cp atau 0.392 Kg/m.s

B. Kapasitas Pompa

Laju Alir (Q), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = \sum \frac{umpan}{\rho umpan} = \sum \frac{1628.107}{1708.442} = 0.953 \text{ m}^3/\text{jam} = 0.00027 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan faktor keamanan 20%

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas pompa} &= 1.2 \times Q = 1.2 \times 0.953 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 1.143 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

C. Ukuran Pipa

Mengukur ukuran pipa optimum

Asumsi aliran Fluida turbulen

$$G = Qp \times \rho$$

$$= 1.143 \times 1.708 = 1953.73 \text{ kg/jam} = 0.543 \text{ kg/s}$$

Untuk bahan *Stainless Steel*, diameter pipi optimum dapat diperoleh dengan persamaan :

$$D_{i, \text{opt}} = 226 \times G^{0.5} \times \rho^{-0.35} \quad (\text{Coulson and R, hal : 161})$$

$$\begin{aligned} D_{i, \text{opt}} &= 226 \times 0.543^{0.5} \times 1708.4^{-0.35} \\ &= 14.48 \text{ mm} \\ &= 0.57 \text{ in} \end{aligned}$$

Maka, dipilih pipa standart (*brownell and young, Hal : 386-390*) :

Bahan *Stainless Steel*

Nominal Pipe Size	NPS	3/4	in
Schedule Number	Sch.N	80	
Inside Diameter	ID	0.742	in
Outside Diameter	OD	1.05	in

Cek bilangan Reynold :

- Inside Cross Sectional Area

$$A_f = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3.14}{4} \cdot 0.742^2 \text{ in}^2 = 0.00028 \text{ m}^2$$

- Kecepatan linear

$$V = \frac{Q_p}{A_f} = \frac{1.1436}{0.00028} = 4099.20 \text{ m/jam}$$

- Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot ID}{\mu} = \frac{1708.4 \times 4099.20 \times 0.0185}{0.001435} = 91957031.1$$

$Re > 4000$, pemilihan pipa sesuai asumsi

D. Heat Pompa

Dihitung dalam persamaan bernouli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

(*Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 267*)

Dengan hubungan :

γ : Rapat berat (Weight density), Nm⁻³

h_f : Head karena friksi, m

h_{man} : Head pompa (head manufacturing), m

P_1, P_2 : Tekanan pada titik 1 dan titik 2, Nm⁻²

V_1, V_2 : Kecepatan linier pada titik 1 dan titik 2, m/s

Z_1, Z_2 : Elevasi pada titik 1 dan titik 2, m

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

1). Rapat berat (γ)

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 1708.4 \cdot 9.8 \\ &= 16742.7 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

2). Head karena friksi

Dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach (Street, R.L., G. E. Watters, J. K. Vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 324)

$$hf = \frac{f_{dw} [L + \sum Le] V^2}{2 \cdot g \cdot ID}$$

Dengan hubungan :

f_{dw} : Faktor friksi (dari moody diagram)

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

L : Panjang pipa lurus, m

$\sum Le$: Panjang ekuivalen (dari fig.12.7, Brown, GG)

ID : Diameter dalam, m

Bahan Konstruksi

Bahan yang dipilih adalah *Commercial steel*

Kekasaran pipa (ϵ)

$$\epsilon = 0.00015 \text{ ft}$$

$$= 0.00005$$

(fig 2,2 Ludwig, E.E, vol 1)

Kekasaran relative

$$\epsilon / ID = \frac{0.00005}{0.01885} = 0.002425876$$

Luas aliran (a_p)

$$a_p = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.0189^2}{4} = 0.00028 \text{ m}^2$$

Kecepatan linear

Titik 1

$$V_1 = \frac{Q_l}{a_p} = \frac{0.0000}{0.00028} = 0 \text{ m/s}$$

Titik 2

$$V_1 = \frac{Ql}{ap} = \frac{0.0003}{0.00028} = 0.95 \text{ m/s}$$

Faktor friksi (fdw)

Diperoleh dari fig : 125, Brown, G.G., "Unit Operations", p.140

Untuk $Re = 91957031.13$

$\epsilon / ID = 0.002426$

maka, diperoleh $fdw = 0.024$

Rencana pemipaan, dirancang pipa lurus $L = 30 \text{ m}$

Panjang ekivalen

Keterangan	Le (ft)	n	n.Le
Ordinary Entrance	35	2	70
Elbow	65	5	325
Valve Sudden	650	1	650
Enlargement	35	2	70
Total			1115

(Sumber : Fig. 127. Brown, G.G., "Unit Operation", p. 141)

$$\sum Le = 1115 \text{ ft}$$

$$= 339.852 \text{ m}$$

Heat karena friksi (hf)

Untuk :

$$L = 30 \text{ m}$$

$$\sum Le = 339.852 \text{ m}$$

$$V = 0.949369361 \text{ m/s}$$

$$Fdw = 0.024$$

$$ID = 0.0188468 \text{ m}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

maka :

$$\text{Head F} = \frac{fV^2(L+Le)}{(2gc \cdot ID)} = \frac{0.024 \cdot 0.95^2 (30 + 339.85)}{(2 \cdot 9.8 \cdot 0.0185)} = 21.66 \text{ m}$$

3). Head pompa/Head manufacturing (hman)

$$P_1 = 1 \text{ Atm}$$

$$= 101325 \text{ N/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 1 \text{ Atm} \\
 &= 101325 \text{ N/m}^2 \\
 \gamma &= 16742.7 \text{ N/m}^3
 \end{aligned}$$

Maka,

$$h_{press} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{0}{16742.7} = 0 \text{ m}$$

Potential head

$$h_{pot} = Z_2 - Z_1$$

Dimana $Z_1 = 1.2 \text{ m}$

$$Z_2 = 5.5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 h_{pot} &= 5.5 - 1.2 \\
 &= 4.3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kinetik Head

$$h_{kin} = \frac{1}{2g} [V_2^2 + V_1^2]$$

Dimana,

$$V_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0.94937 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}
 h_{kin} &= \frac{1}{2(9.8)} [0.9494^2 + 0^2] \\
 &= 0.046 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Head Pompa/Head Manufacturing (h_{man})

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$\begin{aligned}
 h_{man} &= -WS = (0 + 4.3 + 0.046) \\
 &= 4,35 \text{ m}
 \end{aligned}$$

E. Kecepatan spesifik (N_s)

Dihitung dengan Persamaan : , Brown, G.G., "Unit Operation", hal :

$$N_s = \frac{N \cdot Ql^{0.5}}{(g \cdot h_{man})^{0.75}}$$

Dengan hubungan

N_s : Kecepatan spesifik; 0,1 sampai dengan 1 , 1/s

N : Kecepatan rotasi, rad/s

QL : Kapasitas pompa, m³/s

g : Percepatan gravitasi, m/s²

h_{man} : Head pompa, m

Dirancang dengan kecepatan rotasi = 3000 rpm

$$Slip = 5 \%$$

(Ludwig, E.E., "Applied Proces Design for Chemical and Petrochemical Plant ",
vol III,hal 330)

$$Rpm = 2850 rpm$$

$$= 47.5 rps$$

$$N_s = \frac{47.5 \cdot 0.003^{0.5}}{(9.8 \cdot 4.35)^{0.75}} = 0.0508 \text{ rotasi}$$

Jika $N_s = 0.1 - 1.1$ maka N_s masuk range standar

F. Daya penggerak poros

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_o = \frac{h_{man} \cdot Q_1 \cdot \gamma}{E_{ff}}$$

Effisiensi pompa :

Diperoleh dari fig 3.24 Ludwig, E.E., " Applied process Design for Chemical and
Petrochemical Plants", hal 120

dari fig 3.24 diperoleh Effisiensi = 67 %

$$P_o = \frac{4.35 \cdot 0.0032 \cdot 16742.7}{0.67} = 347.80 \text{ Nm/s}$$

$$= 347.80 \text{ watt}$$

G. Motor Standar

Daya yang diperlukan

$$P_o = 347.80 \text{ watt}$$

$$= 0.45 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 %

(fig12.18, Peters M. S., and K.D., Timmerhaus,hal 516)

$$\text{Daya motor} = \frac{0.45}{\frac{80}{100}} = 0.5 \text{ Hp}$$

Maka dipilih motor induksi 0.5 Hp

(Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", vol 3, hal 400)

8. Heat Exchanger 1

Kode : HE-01

Fungsi : Meningkatkan suhu $C_{14}H_{29}OH$ dari suhu $30^{\circ}C$ menjadi $70^{\circ}C$ agar sesuai dengan kondisi operasi reaktor

Tipe : *Shell and Tube Heat Exchanger*

Langkah menentukan dimensi *heat exchanger* :

1. Dari perhitungan neraca massa dan panas :

$$W = 4186,0694 \text{ kg/jam} \times 2.2046 \text{ lb/kg} \\ = 9228,6085 \text{ lb/jam}$$

$$Q_c = 101864,0587 \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \times \frac{1}{252 \text{ ld}} \times 1000 \frac{\text{ld}}{\text{kkal}} = 404222,4554 \frac{\text{btu}}{\text{jam}}$$

Steam :

$$m = 1886974 \text{ kg/jam} \times 2.205 \text{ lb/kg} \\ = 416,5825 \text{ lb/jam}$$

2. LMTD = Δt

Fluida panas (*steam*) :

Suhu masuk = $160^{\circ}C = 320^{\circ}F$

Suhu keluar = $160^{\circ}C = 320^{\circ}F$

Fluida dingin ($C_{14}H_{29}OH$) :

Suhu masuk = $30^{\circ}C = 86^{\circ}F$

Suhu keluar = $70^{\circ}C = 158^{\circ}F$

Fluida panas	Suhu	Fluida dingin	Selisih
$T_1 = 320^{\circ}F$	Tinggi	$t_1 = 158^{\circ}F$	162 $^{\circ}F$
$T_2 = 320^{\circ}F$	Rendah	$t_2 = 86^{\circ}F$	234 $^{\circ}F$

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 - \Delta T_1)}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{234 - 162}{\ln(234 - 162)} = 195,7986^{\circ}F$$

3. Temperatur kalori

$$T_c = 320 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_c = 122 \text{ }^\circ\text{F}$$

4. Menentukan jenis heater dan penentuan nilai U_D

Jenis heater yang digunakan berdasarkan luas perpindahan panas (A). Jika nilai $A > 200 \text{ ft}^2$ maka jenis heater yang digunakan *shell and tube*. Tetapi jika $A < 200 \text{ ft}^2$ digunakan jenis heater *double pipe*.

a. Dari Tabel 8 Kern, hal 840 :

Hot fluid steam

Cold fluid : heavy organics

Range $U_d = 6-60 \text{ btu/j. ft}^2.\text{F}$

Dipilih $U_d = 8 \text{ btu/j. ft}^2.\text{F}$

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta t} = \frac{404222,4554}{8 \times 195,7986} = 258,0601 \text{ ft}^2$$

b. Dipakai 3/4 in OD, 16 BWG 1 in square pitch

$$a_t' = 0,302 \text{ in}^2 = 0,0021 \text{ ft}^2$$

$$L = 16 \text{ ft}$$

$$a't = 0,1963 \text{ ft}$$

$$N_t = \frac{A}{a't \cdot L} = \frac{258,0601}{0,1963 \times 16} = 82,1638 \text{ buah}$$

Dari table 9 Kern, dipilih $N_t = 81$ buah

$N = 1$ pass

ID shell = 12 in

c. Koreksi U_D

$$A = N_t \cdot a't \cdot L = 81 \times 0,1963 \text{ ft} \times 16 \text{ ft} = 254,4048 \text{ ft}^2$$

Nilai $A > 200 \text{ ft}^2$, maka jenis heater yang digunakan adalah *shell and tube*.

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t} = \frac{404222,4554}{254,4048 \times 195,7986} = 8,1150 \approx 8 \text{ (} U_D \text{ diterima)}$$

Pembagian aliran

Fluida panas (Tube)	Fluida dingin (Shell)
5. $a_t = \frac{N_t \cdot a_t'}{144 \cdot n}$	4. $a_s = \frac{ID \cdot C \cdot B}{144 \cdot P_t}$

$= \frac{81 \times 0,302}{144 \times 1}$ $= 0,1698 \text{ ft}^2$ $6. G_t = \frac{W_t}{a_t}$ $= \frac{416,5825}{0,1698}$ $= 2452,2882 \text{ lb/jam.ft}^2$ <p>7. Pada $t_c = 320^\circ\text{F}$ $\mu = 0,015 \text{ lb/jam.ft}$ $k = 0,0167 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ $C_p = 0,46 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{F}$ $D = 0.62 \text{ in} = 0,0517 \text{ ft}$</p> $Re_t = \frac{D \cdot G_t}{\mu}$ $= \frac{0.0517 \times 2452,2882}{0,015}$ $= 8447,08$ <p>8. $h_{i0} = 1500 \text{ Btu/jam. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$</p>	$= \frac{12 \times 0.25 \times 2,4}{144 \times 1}$ $= 0,05 \text{ ft}^2$ $6. G_s = \frac{W_s}{a_s}$ $= \frac{9228,6085}{0,05}$ $= 184572,171 \text{ lb/jam.ft}^2$ <p>7. Pada $T_c = 122^\circ\text{F}$ $\mu = 225,7773 \text{ lb/jam.ft}$ $k = 0,0760 \text{ btu/jam.ft.F}$ $cp = 0,6079 \text{ btu/lb.F}$ $De = 0.95 \text{ in} = 0.0792 \text{ ft}$</p> $Re_s = \frac{D_e \cdot G_s}{\mu}$ $= \frac{0.0792 \times 184572,171}{225,7773}$ $= 64,7185$ <p>Sehingga didapatkan $jH = 5$</p> $8. h_0 = jH \left(\frac{k}{De} \right) \left(\frac{cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ $h_0 = 328,3392 \text{ btu/jam.ft}^2 \cdot \text{F}$
--	---

$$8. U_c = \frac{h_{i0} \times h_0}{h_{i0} + h_0} = \frac{1500 \times 328,3392}{1500 + 328,3392} = 269,3750 \text{ btu /jam ft}^2$$

9. Dirt factor

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} = \frac{269,3750 - 8}{269,3750 \times 8} = 0,1213$$

$$R_d \text{ min} = 0,003$$

$R_d > R_{dmin}$ maka alat memenuhi syarat

10. Penurunan tekanan

Shell side

$$De = 0,0792 \text{ ft}$$

$$Res = 64,7185$$

$$\rho_{\text{steam}} = 50,8598 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = \frac{\rho_{\text{steam}}}{62,5} = \frac{50,8598}{62,5} = 0,8138$$

$$N+1 = 12 \times \frac{L}{B} = 12 \times \frac{16}{2,4} = 80$$

Dari fig 29 Kern, hal 839 di dapat $f = 0,0036$

$$\Delta p_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot I D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot s} = 8,7526 \text{ psi}$$

Δp_s yang di izinkan = 10 psi (memenuhi syarat)

Tube side

$$D = 0,0516 \text{ ft}$$

$$Ret = 101361,2453$$

$$\rho_{\text{steam}} = 0,2042 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = \frac{\rho_{\text{steam}}}{62,5} = \frac{0,2042}{62,5} = 0,0032$$

dari fig 26 Kern, hal 836 didapat $f = 0,0001$

$$\Delta p_t = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s} = \frac{10584,1425}{8813635,943} = 0,0012 \text{ psi}$$

Δp_t yang di izinkan = 10 psi (memenuhi syarat)

9. Heat Exchanger 2

Fungsi : menaikkan suhu SO_3 dari suhu 30°C menjadi 70°C , sehingga terjadi perubahan fasa dari cair menjadi gas.

Tipe : *shell and tube exchanger*

Langkah menentukan dimensi *heat exchanger* :

1. Dari perhitungan neraca massa dan panas :

$$\begin{aligned} W &= 1628,1071 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\ &= 3589,3250 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$Q_c = 11318,1737 \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \times \frac{1}{252 \text{ kd}} \times 1000 \frac{\text{ld}}{\text{kkal}} = 44913,3879 \frac{\text{btu}}{\text{jam}}$$

Steam :

$$\begin{aligned} m &= 20,9963 \text{ kg/jam} \times 2,205 \text{ lb/kg} \\ &= 46,2884 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

2. $LMTD = \Delta t$

Fluida panas (*steam*) :

$$\text{Suhu masuk} = 160^\circ\text{C} = 320^\circ\text{F}$$

Suhu keluar = $160^{\circ}\text{C} = 320^{\circ}\text{F}$

Fluida dingin ($\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OH}$) :

Suhu masuk = $30^{\circ}\text{C} = 86^{\circ}\text{F}$

Suhu keluar = $70^{\circ}\text{C} = 158^{\circ}\text{F}$

Fluida panas	Suhu	Fluida dingin	Selisih
$T_1 = 320^{\circ}\text{F}$	Tinggi	$t_1 = 158^{\circ}\text{F}$	162°F
$T_2 = 320^{\circ}\text{F}$	Rendah	$t_2 = 86^{\circ}\text{F}$	234°F

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 - \Delta T_1)}$$

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{234 - 162}{\ln(234 - 162)} = 195,7986^{\circ}\text{F}$$

3. Temperatur kalori

$T_c = 320^{\circ}\text{F}$

$t_c = 122^{\circ}\text{F}$

4. Menentukan jenis heater dan penentuan nilai U_D

Jenis heater yang digunakan berdasarkan luas perpindahan panas (A). Jika nilai $A > 200 \text{ ft}^2$ maka jenis heater yang digunakan *shell and tube*. Tetapi jika $A < 200 \text{ ft}^2$ digunakan jenis heater *double pipe*.

a. Dari Tabel 8 Kern, hal 840 :

Hot fluid steam

Cold fluid : heavy organics

Range $U_d = 6-60 \text{ btu/j. ft}^2.\text{F}$

Dipilih $U_d = 33 \text{ btu/j. ft}^2.\text{F}$

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta t} = \frac{44913,3879}{33 \times 195,7986} = 6,9511 \text{ ft}^2$$

b. Dipakai $3/4 \text{ in OD}$, 16 BWG 1 in square pitch

$$a't' = 0,302 \text{ in}^2 = 0,0021 \text{ ft}^2$$

$$L = 16 \text{ ft}$$

$$a't = 0,1963 \text{ ft}$$

$$N_t = \frac{A}{a't \cdot L} = \frac{6,9511}{0,1963 \times 16} = 2,2132 \text{ buah}$$

Dari table 9 Kern, dipilih $N_t = 657 \text{ buah}$

$N = 1 \text{ pass}$

ID shell = 31 in

c. Koreksi U_D

$$A = N_t \cdot a_t \cdot L = 657 \times 0,1963 \text{ ft} \times 16 \text{ ft} = 2063,5056 \text{ ft}^2$$

Nilai $A > 200 \text{ ft}^2$, maka jenis heater yang digunakan adalah *shell and tube*.

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t} = \frac{44913}{2063,5056 \times 195,7986} = 33 \approx 33 \quad (U_D \text{ diterima})$$

Pembagian aliran

Fluida panas (Tube)	Fluida dingin (Shell)
5. $a_t = \frac{N_t \cdot a_t'}{144 \cdot n}$ $= \frac{657 \times 0,302}{144 \times 1}$ $= 1,3779 \text{ ft}^2$	5. $a_s = \frac{ID \cdot C \cdot B}{144 \cdot P_t}$ $= \frac{31 \times 0,25 \times 6,2}{144 \times 1}$ $= 0,3337 \text{ ft}^2$
6. $G_t = \frac{W_t}{a_t}$ $= \frac{46,2867}{1,3779}$ $= 33,5928 \text{ lb/jam.ft}^2$	6. $G_s = \frac{W_s}{a_s}$ $= \frac{3589,4250}{0,3337}$ $= 10756,7700 \text{ lb/jam.ft}^2$
7. Pada $t_c = 320^\circ\text{F}$ $\mu = 0,015 \text{ lb/jam.ft}$ $k = 0,0760 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ $C_p = 0,6079 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{F}$ $D = 0,62 \text{ in} = 0,0517 \text{ ft}$	7. Pada $T_c = 122^\circ\text{F}$ $\mu = 0,4316 \text{ lb/jam.ft}$ $k = 0,0206 \text{ btu/jam.ft.F}$ $c_p = 52,5669 \text{ btu/lb.F}$ $De = 0,95 \text{ in} = 0,0792 \text{ ft}$
$Re_t = \frac{D \cdot G_t}{\mu}$ $= \frac{0,0517 \times 33,5928}{0,015}$ $= 1138,5035$	$Re_s = \frac{D_e \cdot G_s}{\mu}$ $= \frac{0,0792 \times 10756,7700}{0,4316}$ $= 1967,4144$
8. $h_{i0} = 1500 \text{ Btu/jam. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$	Sehingga didapatkan $jH = 60$ 8. $h_0 = jH \left(\frac{k}{De} \right) \left(\frac{c_p \cdot \mu}{k} \right)^{1/4} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ $h_0 = 191,6636 \text{ btu/jam.ft}^2 \cdot \text{F}$

$$8. U_c = \frac{h_{i0} \times h_0}{h_{i0} + h_0} = \frac{1500 \times 191,6636}{1500 + 191,6636} = 169,9483 \text{ btu /jam ft}^2$$

9. Dirt factor

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} = \frac{169,9483 - 33}{169,9483 \times 33} = 0,0244$$

$$R_d \text{ min} = 0,003$$

$R_d > R_{dmin}$ maka alat memenuhi syarat

10. Penurunan tekanan

Shell side

$$D_e = 0,0792 \text{ ft}$$

$$R_{es} = 23676,4144$$

$$\rho_{\text{steam}} = 4,0039 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = \frac{\rho_{\text{steam}}}{62,5} = \frac{4,0039}{62,5} = 0,0641$$

$$N+1 = 12 \times \frac{L}{B} = 12 \times \frac{16}{6,2} = 30,9677$$

Dari fig 29 Kern, hal 839 di dapat $f = 0,0036$

$$\Delta p_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot I D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot s} = \frac{33323594,3}{264738699} = 0,1258 \text{ psi}$$

Δp_s yang di izinkan = 10 psi (memenuhi syarat)

Tube side

$$D = 0,0516 \text{ ft}$$

$$R_{et} = 1388,5034$$

$$\rho_{\text{steam}} = 0,2042 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = \frac{\rho_{\text{steam}}}{62,5} = \frac{0,2042}{62,5} = 0,0032$$

dari fig 26 Kern, hal 836 didapat $f = 0,0001$

$$\Delta p_t = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s} = \frac{206296,9}{8813635,943} = 0,023 \text{ psi}$$

Δp_t yang di izinkan = 10 psi (memenuhi syarat)

10. Netralizer

Fungsi : Menetralkan cairan produk bawah dari Reaktor menggunakan NaOH 50% .

Tipe : Tangki silinder tegak dilengkapi pengaduk.

Kondisi operasi : $P = 1 \text{ atm}$

$$T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dari Neraca Massa didapat :

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	arus 3	arus 4	arus 5
$\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{OSO}_3\text{Na}$			6055.2497

Na ₂ SO ₄			111.0624
C ₁₄ H ₂₉ OH	83.6879		83.6879
NaOH		829.0577	
H ₂ O	20.1582	829.0577	1222.2919
H ₂ SO ₄	76.6487		
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	5633.6816		
Total	5814.1765	1658.1154	7472.2919
	7472.2919		

a. Volume Larutan

Volume larutan = kecepatan volume x waktu tinggal

Waktu tinggal = 15 menit

$$\text{Kecepatan volume } F_v = \sum \frac{\text{kecepatan massa}}{\text{densitas}}$$

Komponen	m (kg/jam)	x	Densitas (kg/m ³)	ρ.x (kg/m ³)
C ₁₄ H ₃₀ O	83,6879	0,0112	800,67	8,9673
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ H	5633,6816	0,7539	861,82	649,7640
H ₂ SO ₄	76,6487	0,0103	1.777,82	18,2288
NaOH	829,0577	0,1110	1.891,82	209,8993
H ₂ O	849,2159	0,1136	985,22	111,9691
	7472,2919	1,0000		998,8268

$$F_v = \frac{7472,2919 \text{ kg/jam}}{998,8268 \text{ kg/m}^3} = 7,985 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$V_L = F_v \times \theta$$

dimana :

F_v : kecepatan volume (m³/jam)

V_L : volume larutan (m³)

θ : waktu tinggal (jam)

$$\begin{aligned} V_L &= 7,985 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,25 \text{ jam} &= 2,00 \text{ m}^3 \\ & &= 70,49 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

b. Volume Tangki

Dirancang over design 20%(Petter and Timmerhaus, hal 35)

$$\begin{aligned} V_t &= 1,2 \times V_L \\ &= 1,2 \times 2,00 \text{ m}^3 = 2,40 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

c. Ukuran Tangki Netraliser

1. Dimensi Tangki

Dirancang diameter (D) : tinggi (H) = 1 : 1

$$\begin{aligned} V_t &= V_{\text{shell}} + 2 (V_{\text{head}}) \\ &= \frac{\pi}{4} D^2 (H) + \frac{2\pi}{24} D^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_t &= \frac{\pi}{4} D^2 (D) + \frac{2\pi}{24} D^3 \\ &= \frac{\pi}{3} x D^3 \end{aligned}$$

$$D = \left(\frac{3 \cdot V_t}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$D = \left(\frac{3 \cdot (2,40)}{\pi} \right)^{1/3} \text{ m} = 1,3176 \text{ m} = 51,8742 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi Netralizer (H)} = 1,3176 \text{ m} = 51,8742 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume head (V}_h\text{)} : \quad V_h &= \frac{\pi}{24} D^3 \\ &= (\pi/24) \times (0,457 \text{ m})^3 \\ &= 0,013 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. Menghitung Tebal Shell dan Head

Tebal Shell

Bahan konstruksi yang digunakan adalah Stainless Steel SA – 167 grade 3 dengan data – data sebagai berikut :

- ◆ Tegangan maximal yang diijinkan (f) = 17.900 psia
- ◆ Efisiensi sambungan (E) untuk Double Welded Butt Joint = 0,85
- ◆ `Faktor korosi (C) = 0,125 in
- ◆ Tekanan operasi 1 atm, digunakan faktor keamanan 20 %, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Tekanan Perancangan (P)} &= 1 \times 1,2 \text{ atm} \times 14,7 \text{ psi/atm} \\ &= 17,64 \text{ psi} \end{aligned}$$

menurut Brownell and Young hal. 254 untuk mencari tebal dinding tangki digunakan persamaan sebagai berikut :

$$t_s = \frac{P.D}{2(f.E - 0,6.P)} + C$$

$$= \frac{17,64 \times 51,8742}{2(17.900 \times 0,85 - 0,6 \times 17,64)} + 0,125 = 0,1551 \text{ in}$$

sehingga digunakan tebal standar shell = 3/16 in.

Tebal Head

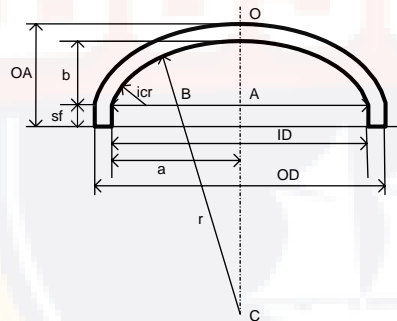
menurut Brownell and Young hal. 256 untuk mencari tebal dinding tangki digunakan persamaan sebagai berikut :

$$t_h = \frac{0,885.P.D}{f.E - 0,1P} + C$$

$$= \frac{0,885 \times 17,64 \times 51,8742}{17.900 \times 0,85 - 0,1 \times 17,64} + 0,125 = 0,1782 \text{ in}$$

sehingga digunakan tebal head standar = 1/4 in.

a) menentukan jarak puncak dengan *staright flange* (*Tinggi Head*) dipilih :



sf	: 2 in
irc (6% ID)	: 3,1136 in
OD (D+2th)	: 52,2307 in
a (ID/2)	: 25,9371 in
AB (a-irc)	: 22,8247 in
BC (r-irc)	: 48,7618 in
AC $(BC^2 - AB^2)^{0,5}$: 43,0900 in
b (r-Ac)	: 8,7843 in

Sehingga diperoleh tinggi Head :

$$\begin{aligned} \mathbf{Hh} &= \mathbf{b + sf + th} \\ &= 8,7843 + 2 + 0,25 \\ &= 11,0343 \text{ in} \end{aligned}$$

b) Menghitung *volume head*

$$V_{head} = 0,000049ID^3 + \frac{\pi(ID)^2(sf)}{4(12)(12)}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{head}} &= 0,000049 \times (51,8742)^3 + (3,14/4) (51,8742/12)^2 (2/12) \\
 &= 9,2861 \text{ in}^3 \\
 &= 0,2630 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

c) Menghitung tinggi larutan dalam shell :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan dalam Tangki (VL)} &= 2,00 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume larutan dalam shell (Vls)} &= 1,7332 \text{ m}^3 \\
 \text{Luas penampang tangki (A)} &= 1,3628 \text{ m}^2 \\
 \text{Tinggi larutan dalam shell (Hls)} &= 1,2718 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d) Menghitung tinggi shell :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tangki (VT)} &= 2,3954 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume shell (Vs)} &= 1,8695 \text{ m}^3 \\
 \text{Luas penampang tangki (A)} &= 1,3628 \text{ m}^2 \\
 \text{Tinggi shell (Ls)} &= 1,3718 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Pengaduk Netraliser

Untuk cairan yang viskositasnya rendah maupun sedang digunakan pengaduk dengan tipe *Marine Propeller*.

Adapun mengenai spesifikasi dari pengaduk yang dirancang adalah sebagai berikut (Holland and Chapman, hal. 12):

- ◆ Jumlah Blade = 3 buah
- ◆ Jumlah Baffle = 4 buah
- ◆ Diameter Impeller (D_i) = $1/3 \times D_t$
 $= 1/3 \times 1,3176 \text{ m}$
 $= 0,4392 \text{ m}$
- ◆ Tinggi Impeller (H_i) = D_i
 $= 0,4392 \text{ m}$
- ◆ Lebar Blade Impeller (q) = $1/5 D_i$
 $= 0,0878 \text{ m}$
- ◆ Panjang Blade Impeller (r) = $1/4 D_i$
 $= 0,1098 \text{ m}$
- ◆ Panjang Blade Impeller dari pusat bantalan (s) = $1/8 D_i = 0,0549 \text{ m}$
- ◆ Lebar Baffle (W_b) = $1/12 \times D_t$
 $= 0,1098 \text{ m}$

Power Motor Pengaduk :

Sifat fisis cairan

$$\rho = 993,1868 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,0239 \text{ kg/m.s}$$

Dipakai putaran pengaduk sebesar 140 rpm atau 2,333 rps.

$$Re = \frac{\rho \text{ laru tan} \cdot n \cdot Di^2}{\mu \text{ laru tan}}$$

$$Re = \frac{993,1868 \text{ kg/m}^3 \times 2,333 \text{ rps} \times (0,4392 \text{ m})^2}{0,0239 \text{ kg/s.m}} = 18.842,16$$

Dari fig.3.4-4 Geankoplis (1985) diperoleh :

$$\text{Power number (Np)} = 0,2$$

$$P = Np \times \rho \times N^3 \times Di^5$$

$$P = 0,2 \times 993,1868 \times (2,333)^3 \times (0,4392)^5$$

$$= 483,8589 \text{ joule/s}$$

$$= 0,6578 \text{ Hp}$$

efisiensi 90%

$$\text{Power} = \frac{0,655}{0,90} = 0,7309 \text{ hp}$$

Digunakan motor dengan power 1 Hp (standar NEMA, Ludwig vol.3, p.400).

11. Pompa 5

Kode : P-5

Tugas : Memompa cairan yang berasal dari Reaktor gelembung ke Netraliser

Tipe : *Sentrifugal Pumps*.

Titik pemompaan :

Titik 1 (Dipilih dari tinggi cairan didalam R-02 pada keadaan kosong kosong, ke pompa)

$$P1 = 1,5 \text{ atm}$$

$$Z1 = 0,5 \text{ m}$$

Titik 2 (Dipilih ujung pipa pemasangan kedalam Netraliser)

$$P2 = 1 \text{ Atm}$$

$$Z2 = 2,318 \text{ m}$$

komponen	BM	Kgmol	kg	fraksi masa
ROH	214	0.3910649	83.6879	0.01439
H2O	18	1.1199018	20.15823	0.003467083
ROSO3H	294	19.162182	5633.682	0.968956075
H2SO4	98	0.7821299	76.64873	0.013183076
Total		21,0642	5814,18	1.00000

W = 5814,18 kg

Perhitungan pompa

A. Sifat-sifat fisis fluida

1). Densitas cairan

Komponen	A	B	Tc (K)	n
ROH	0.26789	0.26293	741	0.31824
H2O	0.3471	0.274	647.13	0.28571
ROSO3H	0.2339	0.215	784.46	0.2857
H2SO4	0.42169	0.1936	925	0.2857

(Sumber : Yaws, C.L., "Chemical Properties Hand Book")

Dihitung dengan persamaan :

$$\rho_i = A \cdot B \cdot \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

Perhitungan setiap komponen dengan temperatur 343 k :

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ ROH} &= 0,26759 \cdot 0,2629 \cdot \left(1 - \frac{343}{741}\right)^{0,31824} \\ &= 0,3582 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ H}_2\text{O} &= 0,3471 \cdot 0,274 \cdot \left(1 - \frac{343}{647,13}\right)^{0,28571} \\ &= 0,4302 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ ROSO}_3\text{H} &= 0,2339 \cdot 0,215 \cdot \left(1 - \frac{343}{784,46}\right)^{0,2857} \\ &= 0,3236 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ H}_2\text{SO}_4 &= 0,42169 \cdot 0,1936 \cdot \left(1 - \frac{343}{925}\right)^{0,2857} \\ &= 0,6324 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

Komponen	Xi	$\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$	ρ_i (kg/l)	$v_i = 1/\rho_i$ (l/kg)	$x_i \cdot v_i$
ROH	0,0144	0,2173978	0,358164	2,7920167	0,04019

H ₂ O	0,0035	0,1658762	0,430248	2,3242432	0,00806
ROSO ₃ H	0,9690	0,2104954	0,323258	3,0935072	2,99747
H ₂ SO ₄	0,0132	0,246806	0,632396	1,5812868	0,02085
$\sum v_i x_i =$					3,04572

Volume spesifik campuran, Dihitung dengan hukum Amagat

(Pers: 3.64 , Perry's, "Chemical Engineering Hand Book", Hal : 3-273)

Maka, dapat disimpulkan bahwa densitas campuran adalah :

$$V'_{mix} = \sum V_i \cdot x_i$$

$$V'_{mix} = 3,04572 \text{ kg/l}$$

Massa jenis campuran

$$\rho_l = \frac{1}{V'_{mix}} = \frac{1}{3,04572} = 0,3283 \text{ kg/l}$$

$$= 328,33 \text{ kg/m}^3$$

2.) Viskositas

Harga A,B dan C Untuk beberapa komponen adalah :

Pada temperatur 343 K:

Komponen	A	B	C	D
ROH	-26,9629	6075,30	0,0371900	-0,0000181
H ₂ O	-10,2156	1792,50	0,0177300	-0,0000126
ROSO ₃ H	-7,134	1352,40	0,0123940	-0,0000101
H ₂ SO ₄	-18,7045	496,20	0,03308	-0,00001702

(Tabel 22-1 hal : dan Tabel 22-2 hal :501 , Yaws C.L., Chemical properties Hand book)

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log } \mu = A + B/T + C T + D T^2$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu_{\text{ROH}} &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= (-26,9629) + (6075,3)/343 + (0,03719) (343) + (- \\ &\quad 0,000018) (343)^2 \\ &= 1.376068 \end{aligned}$$

$$\text{Log } \mu_{\text{H}_2\text{O}} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-10,2158) + 1792,5/343 + (0,01773) (343) + (0,0000126) (343)^2$$

$$= -0.391$$

$$\text{Log } \mu \text{ ROSO}_3\text{H} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-7,134) + 1352,40/343,00 + (0,0124) (343) + (0,0000101) (343)^2$$

$$= -0.125$$

$$\text{Log } \mu \text{ ROSO}_3\text{H} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-18,7045) + 3496,20/343,00 + (0,03308) (343) + (0,00001702) (343)^2$$

$$= 0.833$$

komponen	Log (μ)	μ (cp)	xi	xi . μ
ROH	1,376068	23,772125	0,01439	0,3421704
H2O	-0,391	0,406780	0,00347	0,0014103
ROSO3H	-0,125	0,749757	0,96896	0,726482
H2SO4	0,833	6,800752	0,01318	0,0896548
Total			1,000000	1,0700627

Dari table dan perhitungan diatas dapat diketahui viskositas (μ) adalah 1,0700627

Cp atau 0,00107 Kg/m.s

B. Kapasitas Pompa

Laju Alir (Q) :

Dinyatakan dalam kecepatan volume fluida yang dipompa menggunakan persamaan :

$$Q = \sum \frac{umpan}{\rho umpan}$$

$$Q = \sum \frac{5814,18}{328,33}$$

$$= 17,71 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0.00492 \text{ m}^3/\text{s}$$

C. Ukuran Pipa

Mengukur ukuran pipa optimum :

Aliran turbulent

$$D_i, \text{ opt } 0,363x mv^{0.45} x \rho^{-0.13}$$

(Coulson and R, hal : 161)

$$D_i, \text{ opt } = 0,363 x 0,0049^{0.45} x 328,33^{-0.13}$$

$$= 0,07053 \text{ mm}$$

$$= 2,78 \text{ in}$$

Dipilih berdasarkan Tabel 11. Kern, D.Q., "Proses Heat Transfer", Hal : 844

Dipilih spesifikasi pipa :

Nominal Pipe Size	IPS	3
Schedule Number	Sch.N	80
Inside Diameter	ID	2,9 in
Outside Diameter	OD	3,5 in

D. Head Pompa

Dihitung dalam persamaan bernouli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

(Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 267)

Dengan hubungan :

γ : Rapat berat (Weight density), Nm⁻³

h_f : Head karena friksi, m

h_{man} : Head pompa (head manufacturing), m

P_1, P_2 : Tekanan pada titik 1 dan titik 2, Nm⁻²

V_1, V_2 : Kecepatan linier pada titik 1 dan titik 2, m/s

Z_1, Z_2 : Elevasi pada titik 1 dan titik 2, m

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

1). Rapat berat (γ)

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\begin{aligned}\gamma &= 328,33 \cdot 9,8 \\ &= 3217,63 \text{ N/m}^3\end{aligned}$$

2). Head karena friksi

Dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach (Street, R.L., G. E. Watters, J. K. Vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 324)

$$h_f = \frac{f_{dw} [L + \sum L_e] V^2}{2 \cdot g \cdot ID}$$

Dengan hubungan :

f_{dw} : Faktor friksi (dari moody diagram)

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

L : Panjang pipa lurus, m

$\sum L_e$: Panjang ekuivalen (dari fig.12.7, Brown, GG)

ID : Diameter dalam , m

Bahan Konstruksi

Bahan yang dipilih adalah *Commercial steel*

Kekasaran pipa (s)

$$s = 0,00015 \text{ ft}$$

$$= 0,000046$$

(fig 2,2 Ludwig, E.E, vol 1)

Kekasaran relative

$$\frac{s}{ID} = \frac{0,00005}{0,07366} = 0,00062$$

Luas aliran

$$a_p = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0737^2}{4} = 0,0043 \text{ m}^2$$

Kecepatan linear

Titik 1

$$V_1 = 0$$

Titik 2

$$V_2 = \frac{Q_l}{a_p} = \frac{0,0049}{0,0042} = 1,15 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot ID}{\varphi} = \frac{328,33 \cdot 1,15 \times 0,0737}{0,00107} = 26102,08$$

Faktor friksi (fdw)

Karena alirannya laminar maka :

$$F = \frac{64}{Re}$$

$$F = \frac{64}{26102,08} = 0,00245$$

Dirancang pipa lurus L=20 m

Panjang ekivalen

Keterangan	Le (ft)	n	n.Le
Ordinary Entrance	3	1	3
Elbow	6	3	18
Swing Check	15	1	15
Valve Sudden	70	1	70
Enlargement	6	1	6
Total			112

(Sumber : Fig. 127. Brown, G.G., "Unit Operation", p. 141)

$$\sum Le = 112 \text{ ft}$$

$$= 34,14 \text{ m}$$

$$\Delta P \cdot HE = 10 \text{ Psi (Maksimum)}$$

$$1 \text{ Psi} = 6892,86 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P \cdot HE = 68928,57 \text{ N/m}^2$$

$$\sum Le \cdot HE = \frac{\Delta P \cdot HE}{\gamma} = \frac{6892,86}{3217,63} = 21,43$$

$$\sum Le = \sum Le \cdot HE \cdot \sum Le$$

$$\sum Le = (\sum Le \cdot HE) + (\sum Le)$$

$$\sum Le = (21,42) + (34,14)$$

$$= 55,56 \text{ m}$$

Head karena friksi (h_f)

Untuk :

$$L = 20 \text{ m}$$

$$\sum L_e = 55,56 \text{ m}$$

$$V = 1,15 \text{ m/s}$$

$$f_{dw} = 0.024$$

$$ID = 0,0736 \text{ m}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

maka :

$$\text{Head } F = \frac{fV^2(L+L_e)}{(2gc \cdot ID)} = \frac{0,024 \cdot 1,1549^2(20+55,56)}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,0736)} = 1,23 \text{ m}$$

3). Head pompa /Head manufacturing (h_{man})

$$\begin{aligned} P_1 &= 1,5 \text{ Atm} \\ &= 151988 \text{ N/m}^2 \\ P_2 &= 1 \text{ Atm} \\ &= 101325 \text{ N/m}^2 \\ \gamma &= 3217,63 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

Maka,

$$h_{press} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{1 - 1,5}{3217,63} = 15,75 \text{ m}$$

Potential head

$$h_{pot} = Z_2 - Z_1$$

$$\text{Dimana } Z_1 = 0,50 \text{ m}$$

$$Z_2 = 2,3 \text{ m}$$

$$h_{pot} = 2,3 - 0,50$$

$$= 1,818 \text{ m}$$

Kinetik Head

$$h_{kin} = \frac{1}{2g} [V_2^2 + V_1^2]$$

Dimana,

$$V1 = 0 \text{ m/s}$$

$$V2 = 1,1549 \text{ m/s}$$

$$h_{kin} = \frac{1}{2(9,8)} [1,1549^2 + 0^2]$$

$$= 0,07 \text{ m}$$

Head Pompa/Head Manufacturing (h_{man})

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS \frac{P2 - P1}{\gamma} + (Z2 - Z1) + \frac{V2^2 + V1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P2 - P1}{\gamma} + (Z2 - Z1) + \frac{V2^2 + V1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = (15,7453 + 1,818 + 0,068)$$

$$= 17,63 \text{ m}$$

E. Kecepatan spesifik (N_s)

Dihitung dengan Persamaan : , Brown, G.G., "Unit Operation", hal :

$$N_s = \frac{N \cdot Ql^{0.5}}{(g \cdot h_{man})^{0.75}}$$

Dengan hubungan

N_s : Kecepatan spesifik; 0,1 sampai dengan 1 , 1/s

N : Kecepatan rotasi, rad/s

QL : Kapasitas pompa, m³/s

g : Percepatan gravitasi, m/s²

h_{man} : Head pompa, m

Dirancang dengan kecepatan rotasi = 7000 rpm

$$Slip = 5 \%$$

(Ludwig, E.E., "Applied Proces Design for Chemical and Petrochemical Plant ",
vol III,hal 330)

$$Rpm = 6650 \text{ rpm}$$

$$= 110,83 \text{ rps}$$

$$Ns = \frac{110,83 \cdot 0,0049^{0.5}}{(9,8 \cdot 17,63)^{0.75}} = 0.16 \text{ rotasi}$$

Jika $Ns = 0.1 - 1.1$ maka Ns masuk range standar

F. Daya penggerak poros

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$Po = \frac{hman \cdot Q_1 \cdot \gamma}{Eff}$$

Effisiensi pompa

Diperoleh dari fig 3.24 Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", hal 120

dari fig 3.24 diperoleh Effisiensi = 68 %

$$Po = \frac{17,63 \cdot 0,0049 \cdot 3217,63}{0.68} = 410,38 \text{ Nm/s}$$

$$= 410,38 \text{ watt}$$

G. Motor Standar

Daya yang diperlukan

$$Po = 410,38 \text{ watt}$$

$$= 0,55 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 %

(fig12.18, Peters M. S., and K.D., Timmerhaus, hal 516)

$$\text{Daya motor} = \frac{0,55}{\frac{80}{100}} = 0,69 \text{ Hp}$$

Dipilih motor induksi 220 volt sampai dengan 240 volt

Daya motor induksi 1 Hp

(Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", vol 3, hal 400)

12. Pompa 6

Kode : P-6

Tugas : Memompa NaOH dari tangki mobil menuju vessel 02.

Tipe Alat : Sentrifugal Pumps.

Titik pemompaan :

Titik 1 (Tinggi cairan saat tangki mendekati kosong)

P1 = 1,00 atm

Z1 = 1,50 m

Titik 2 (Dipilih ujung pipa pemasukan kedalam reactor gelembung)

P2 = 1,00 Atm

Z2 = 5,486 m

Volume Tangki Mobil (V) = 16000 liter

A. Sifat-sifat fisis fluida

1). Densitas cairan

Komponen	A	B	Tc (K)	n
NaOH	0,19975	0,09793	2820	0,25382
H ₂ O	0,3471	0,274	647,13	0,28571

(Sumber : Yaws, C.L., "Chemical Properties Hand Book")

Dihitung dengan persamaan :

$$\rho_i = A \cdot B \cdot \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

Perhitungan setiap komponen dengan temperatur 303,15 k :

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ NaOH} &= 0,19975 \cdot 0,09793 \cdot \left(1 - \frac{303,15}{2820}\right)^{0,25382} \\ &= 1,90923 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ H}_2\text{O} &= 0,3471 \cdot 0,2742 \cdot \left(1 - \frac{303,15}{647,13}\right)^{0,28571} \\ &= 1,02288 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

Komponen	xi	(1-T/Tc) ⁿ	ρ_i (kg/l)	$v_i = 1/\rho_i$ (kg/l)	$xi \cdot v_i$
NaOH	0,50000	0,97155	1,909231	0,52378	0,26189
H ₂ O	0,00	0,83480	1,02288	0,97764	0,48882
$\sum v_i \cdot xi$					0,7507

Volume spesifik campuran, Dihitung dengan hukum Amagat

(Pers: 3.64 , Perry's, "Chemical Engineering Hand Book", Hal : 3-273)

Maka, dapat disimpulkan bahwa densitas campuran adalah :

$$V'_{mix} = \sum V_i \cdot x_i$$

$$V'_{mix} = 0,7507 \text{ kg/l}$$

Massa jenis campuran

$$\rho_l = \frac{1}{V'_{mix}} = \frac{1}{0,7507} = 1,33208 \text{ kg/l}$$

$$= 1332,083 \text{ kg/m}^3$$

2.) Viskositas

Harga A,B dan C Untuk beberapa komponen adalah :

Pada temperatur 303,15 K

Komponen	A	B	C	D
NaOH	-4,1939	2051,5	0,0027917	0,0000006159
H ₂ O	-10,2158	1792,5	0,01773	-0,0000126

(Tabel 22-1 hal : dan Tabel 22-2 hal :501 , Yaws C.L., Chemical properties Hand book)

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log } \mu = A + B/T + C T + D T^2$$

$$\text{Log } \mu_{\text{NaOH}} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-4,1939) + (2051,5)/303,15 + (0,0027917) (303,15) +$$

$$(0,0000006159) (303,15)^2$$

$$= 3,47628$$

$$\text{Log } \mu_{\text{H}_2\text{O}} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-10,2158) + 1792,5/303,00 + (0,01773) (303,15) + (0,0000126)$$

$$(303,15)^2$$

$$= -0,08873$$

Komponen	Log (μ)	μ (cp)	X_i	$x_i \cdot \mu$
NaOH	3,47628	2994,208	0,50000	1497,10392
H ₂ O	-0,08873	0,8152	0,50000	0,40760
Total			1.00	1497,51152

Dari table dan perhitungan diatas dapat diketahui viskositas (μ) adalah 1497,51152 Cp atau 1,49751152 Kg/m.s

B. Kapasitas Pompa

Laju Alir (Q)

Dinyatakan dalam kecepatan volume fluida yang dipompa :

$$Ql = \frac{\text{Kapasitas massa}}{\text{massa jenis}}$$

$$Ql = \frac{16000}{900}$$

$$= 17,7778 \text{ liter/s}$$

$$= 0,0178 \text{ m}^3/\text{s}$$

C. Ukuran Pipa

1.) Mengukur ukuran pipa optimum

Aliran viscous

$$Di = 0,133 \times mv^{0.4} \times \varphi^{0.2}$$

(*Plant and Economics For Chemical Engineering, Timmerhous, hal 501*)

$$Di = 0,133 \times 0,0178^{0.4} \times 1,49751^{0.2}$$

$$= 0,0288 \text{ m}$$

$$= 1,13251 \text{ in}$$

Dipilih berdasarkan Tabel 11. Kern, D.Q., "Proses Heat Transfer", Hal : 844

Dipilih spesifikasi pipa :

Nominal Pipe Size	IPS	1,25
Schedule Number	Sch.N	40
Inside Diameter	ID	1,16 in
Outside Diameter	OD	1,66 in

D. Head Pompa

Dihitung dalam persamaan bernouli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

(Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 267)

Dengan hubungan :

γ : Rapat berat (Weight density), Nm⁻³

h_f : Head karena friksi, m

h_{man} : Head pompa (head manufacturing), m

P_1, P_2 : Tekanan pada titik 1 dan titik 2, Nm⁻²

V_1, V_2 : Kecepatan linier pada titik 1 dan titik 2, m/s

Z_1, Z_2 : Elevasi pada titik 1 dan titik 2, m

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

1). Rapat berat (γ)

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 1332,08359 \cdot 9,8 \\ &= 13054,4192 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

2). Head karena friksi

Dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach (Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 324)

$$h_f = \frac{f_{dw} [L + \sum L_e] V^2}{2 \cdot g \cdot ID}$$

Dengan hubungan :

f_{dw} : Faktor friksi (dari moody diagram)

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

L : Panjang pipa lurus, m

$\sum L_e$: Panjang ekivalen (dari fig.12.7, Brown, GG)

ID : Diameter dalam, m

Bahan Konstruksi

Bahan yang dipilih adalah *Commercial steel*

$$\text{Luas aliran : } a_p = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,029464^2}{4} = 0,00068148 \text{ m}^2$$

Kecepatan linear

Titik 1

$$V_1 = 0$$

Titik 2

$$V_2 = \frac{Ql}{a_p} = \frac{0,0178}{0,00068148} = 26,087016 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot ID}{\varphi} = \frac{1332,08359 \cdot 26,08702 \cdot 0,029}{1,49751} = 683,72$$

Faktor friksi (fdw)

Karena alirannya laminar maka :

$$F = \frac{64}{Re}$$

$$F = \frac{64}{683,72} = 0,09361$$

Dirancang pipa lurus L = 30 m

Panjang ekivalen

Keterangan	Le (ft)	n	n.Le
Ordinary Entrance	35	2,00	70
Elbow	65	5	325
Valve	650	1,00	650
Sudden Enlargement	35	2	70
Total			1115

(Sumber : Fig. 127. Brown, G.G., "Unit Operation", p. 141)

$$\sum Le = 1115 \text{ ft}$$

$$= 339,852 \text{ m}$$

Heat karena friksi (hf) untuk :

$$L = 30 \text{ m}$$

$$\sum L_e = 339,852 \text{ m}$$

$$V = 26,08702 \text{ m/s}$$

$$f_{dw} = 0,09361$$

$$ID = 0,02946 \text{ m}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

maka :

$$\text{Head F} = \frac{f V^2 (L + L_e)}{(2 g c \cdot ID)} = \frac{0,09361 \cdot 26,087016^2 (339,852 + 30)}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,02946)} = 40797,313 \text{ m}$$

3). Head pompa /Head manufacturing (hman)

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 \text{ Atm} \\ &= 101325 \text{ N/m}^2 \\ P_2 &= 1 \text{ Atm} \\ &= 101325 \text{ N/m}^2 \\ \gamma &= 13054,4192 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

Maka,

$$h_{press} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{0}{13054,4192} = 0 \text{ m}$$

Potential head

$$h_{pot} = Z_2 - Z_1$$

$$\text{Dimana } Z_1 = 1,50 \text{ m}$$

$$Z_2 = 5,486 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} h_{pot} &= 5,486 - 1,50 \\ &= 3,986 \text{ m} \end{aligned}$$

Kinetik Head

$$h_{kin} = \frac{1}{2g} [V_2^2 + V_1^2]$$

Dimana,

$$V_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 26,087016 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} h_{kin} &= \frac{1}{2(9,8)} [26,087016^2 + 0^2] \\ &= 34,72104 \text{ m} \end{aligned}$$

Head Pompa/Head Manufacturing (h_{man})

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = (0 + 3,986 + 34,72104) \\ = 38,70704 \text{ m}$$

E. Kecepatan spesifik (N_s)

Dihitung dengan Persamaan : , Brown, G.G., "Unit Operation", hal :

$$N_s = \frac{N \cdot Q^{0.5}}{(g \cdot h_{man})^{0.75}}$$

Dengan hubungan

N_s : Kecepatan spesifik; 0,1 sampai dengan 1 , 1/s

N : Kecepatan rotasi, rad/s

Q : Kapasitas pompa, m³/s

g : Percepatan gravitasi, m/s²

h_{man} : Head pompa, m

Dirancang dengan kecepatan rotasi = 3000 rpm

$$\text{Slip} = 5 \%$$

(Ludwig, E.E., "Applied Proces Design for Chemical and Petrochemical Plant ", vol III,hal 330)

$$Rpm = 2850 \text{ rpm}$$

$$= 47,5 \text{ rps}$$

$$N_s = \frac{47,5 \cdot 0,0178^{0.5}}{(9,8 \cdot 38,70704)^{0.75}} = 0,07368 \text{ rotasi}$$

Jika $N_s = 0.1 - 1.1$ maka N_s masuk range standar

F. Daya penggerak poros

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_o = \frac{h_{man} \cdot Q_1 \cdot \gamma}{E_{ff}}$$

Effisiensi pompa

Diperoleh dari fig 3.24 Ludwig, E.E., “ *Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants*”, hal 120

dari fig 3.24 diperoleh Effisiensi = 48 %

$$P_o = \frac{13054,4192 \cdot 38,7070 \cdot 0,01778}{0,71} = 12652,2176 \text{ Nm/s}$$

$$= 12652,2176 \text{ watt}$$

G. Motor Standar

Daya yang diperlukan

$$P_o = 12652,2176 \text{ watt}$$

$$= 16,96662 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 %

(fig12.18, Peters M. S., and K.D., Timmerhaus, hal 516)

$$\text{Daya motor} = \frac{16,96662}{\frac{80}{100}} = 21,20828 \text{ Hp}$$

Maka dipilih motor induksi 25 Hp (Ludwig, E.E., “ *Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants*”, vol 3, hal 400)

13. Pompa 7

Kode : P-7

Tugas : Memompa NaOH dari vessel 02 menuju Netralizer

Type Alat : Sentrifugal Pumps.

Titik pemompaan :

Titik 1 (Tinggi cairan saat tangki mendekati kosong)

$$P1 = 1,00 \text{ atm}$$

$$Z1 = 1,20 \text{ m}$$

Titik 2 (Dipilih ujung pipa pemasukan kedalam reactor gelembung)

$$P2 = 1,00 \text{ Atm}$$

$$Z2 = 2,318 \text{ m}$$

Komponen	BM	m/ jam(kg/jam)	Xi	Mol
NaOH	40	815,653	0,5	20,39133
H ₂ O	18	815,653	0,5	45,31406
		1631,306		65,70538

A. Sifat-sifat fisis fluida

1). Densitas cairan

Komponen	A	B	T _c (K)	N
NaOH	0,19975	0,09793	2820	0,25382
H ₂ O	0,3471	0,274	647,13	0,28571

(Sumber : Yaws, C.L., "Chemical Properties Hand Book")

Dihitung dengan persamaan :

$$\rho_i = A \cdot B \cdot \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

Perhitungan setiap komponen dengan temperatur 303,15 K :

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ NaOH} &= 0,19975 \cdot 0,09793 \cdot \left(1 - \frac{303,15}{2820}\right)^{0,25382} \\ &= 2,03972 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ H}_2\text{O} &= 0,3471 \cdot 0,2742 \cdot \left(1 - \frac{303,15}{647,13}\right)^{0,28571} \\ &= 1,12668 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

Komponen	xi	(1-T/T _c) ⁿ	ρ _i (kg/l)	v _i = 1/ρ _i (kg/l)	xi · v _i
NaOH	0,50000	1	2,03972	0,490262	0,24513
H ₂ O	0,50000	1	1,12668	0,78939	0,3947
$\sum v_i \cdot x_i$					0,63983

Volume spesifik campuran, Dihitung dengan hukum Amagat

(Pers: 3.64 , Perry's, "Chemical Engineering Hand Book", Hal : 3-273)

Maka, dapat disimpulkan bahwa densitas campuran adalah :

$$V'_{mix} = \sum V_i \cdot x_i$$

$$V'_{mix} = 0,63983 \text{ kg/l}$$

Massa jenis campuran

$$\rho_l = \frac{1}{V'_{mix}} = \frac{1}{0,63983} = 1,562914 \text{ kg/l}$$

$$= 1562,914 \text{ kg/m}^3$$

2.) Viskositas

Harga A,B dan C Untuk beberapa komponen adalah :

Pada temperatur 303,15 K

komponen	A	B	C	D
NaOH	-4,1939	2051,5	0,0027917	0,0000006159
H ₂ O	-10,2158	1792,5	0,01773	-0,0000126

(Tabel 22-1 hal : dan Tabel 22-2 hal :501 , Yaws C.L., Chemical properties Hand book)

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log } \mu = A + B/T + C T + D T^2$$

$$\text{Log } \mu \text{ NaOH} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-4,1939) + (2051,5)/303,15 + (0,0027917) (303,15) + (0,0000006159) (303,15)^2$$

$$= 3,47628$$

$$\text{Log } \mu \text{ H}_2\text{O} = A + B/T + C T + D T^2$$

$$= (-10,2158) + 1792,5/303,00 + (0,01773) (303,15) + (0,0000126) (303,15)^2$$

$$= -0,08873$$

Komponen	Log (μ)	μ (cp)	y_i	$y_i \cdot \mu$
NaOH	3,47628	2994,208	0,99973	2993,3928
H ₂ O	-0,08873	0,8152	0,00027	0,00022189
Total			1,00	2993,39307

Dari table dan perhitungan diatas dapat diketahui viskositas (μ) adalah 2993,39307 Cp atau 2,993393 Kg/m.s

B. Kapasitas Pompa

Laju Alir (Q) :

Dinyatakan dalam kecepatan volume fluida yang dipompa

$$Ql = \frac{\text{Kapasitas mass}}{\text{massa jenis}}$$

$$Ql = \frac{16000}{1562,914}$$

$$= 1,0438 \text{ liter/s}$$

$$= 0,0003 \text{ m}^3/\text{s}$$

C. Ukuran Pipa

1.) Mengukur ukuran pipa optimum

Aliran viscous

$$Di = 0.133 \times mv^{0.4} \times \varphi^{0.2}$$

(Plant and Economics For Chemical Engineering, Timmerhous, hal 501)

$$Di = 0,133 \times 0,0003^{0.4} \times 2993,393^{0.2}$$

$$= 0,0254 \text{ m}$$

$$= 0,9980882 \text{ in}$$

Dipilih berdasarkan Tabel 11. Kern, D.Q., "Proces Heat Transfer", Hal : 844

Dipilih spesifikasi pipa :

Nominal Pipe Size	IPS	1,00
Schedule Number	Sch.N	40
Inside Diameter	ID	1,049 in
Outside Diameter	OD	1,315 in

D. Head Pompa

Dihitung dalam persamaan bernouli.

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1^2}{2g} + hman = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2^2}{2g} + hf$$

(Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI,1996, hal 267)

Dengan hubungan :

γ : Rapat berat (Weight density), Nm-3

hf : Head karena friksi, m

hman : Head pompa (head manufacturing), m

P1,P2 : Tekanan pada titik 1 dan titik 2, Nm-2

V1,V2 : Kecepatan linier pada titik 1 dan titik 2, m/s

Z1,Z2 : Elevasi pada titik 1 dan titik 2, m

g : Percepatan gravitasi normal, ms-2

1). Rapat berat (γ)

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma = 1562,914 \cdot 9,8$$

$$= 15316,56 \text{ N/m}^3$$

2). Head karena friksi

Dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach (Street, R.L., G. E. Watters, J. K. Vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 324)

$$h_f = \frac{f_{dw} [L + \sum L_e] V^2}{2 \cdot g \cdot ID}$$

Dengan hubungan :

f_{dw} : Faktor friksi (dari moody diagram)

g : Percepatan gravitasi normal, ms-2

L : Panjang pipa lurus, m

$\sum L_e$: Panjang ekuivalen (dari fig.12.7, Brown, GG)

ID : Diameter dalam , m

Bahan Konstruksi

Bahan yang dipilih adalah *Commercial steel*

Luas aliran

$$a_p = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0266446^2}{4} = 0,000557 \text{ m}^2$$

Kecepatan linear

Titik 1

$$V1 = \frac{Ql}{ap} = \frac{0,0003}{0,000557} = 0,52027 \text{ m/s}$$

Titik 2

$$V2 = \frac{Ql}{ap} = \frac{0,0003}{0,000557} = 0,52027 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho.V.ID}{\varphi} = \frac{1562,914 \cdot 0,520247 \cdot 0,026645}{2,993393} = 7,24$$

Faktor friksi (fdw)

Karena alirannya laminar maka :

$$F = \frac{64}{Re}$$

$$F = \frac{64}{683,72} = 0,09361$$

Dirancang pipa lurus L=30 m

Panjang ekivalen

Keterangan	Le (ft)	n	n.Le
Ordinary Entrance	4	1	4
Elbow	6	4	24
Valve	70	1	70
Swing Chek	16	1	16
Sudden Enlargement	7	1	7
Total			121

(Sumber : Fig. 127. Brown, G.G., "Unit Operation", p. 141)

$$\sum Le = 121 \text{ ft}$$

$$= 36,8808 \text{ m}$$

Head karena friksi (hf)

Untuk :

$$L = 30 \text{ m}$$

$$\sum Le = 36,8808 \text{ m}$$

$$V = 0,520247 \text{ m/s}$$

$$F_{dw} = 0,09$$

$$ID = 0,026645 \text{ m}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

maka :

$$\text{Head F} = \frac{f V^2 (L + Le)}{(2 g c \cdot ID)} = \frac{0,09 \cdot 0,520247^2 (36,8808 + 30)}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,0266446)} = 3,119594 \text{ m}$$

3). Head pompa /Head manufacturing (h_{man})

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 \text{ Atm} \\ &= 101325 \text{ N/m}^2 \\ P_2 &= 1 \text{ Atm} \\ &= 101325 \text{ N/m}^2 \\ \gamma &= 15316,56 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

Maka,

$$h_{press} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{0}{15316,56} = 0 \text{ m}$$

Potential head

$$h_{pot} = Z_2 - Z_1$$

$$\text{Dimana } Z_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$Z_2 = 2,318 \text{ m}$$

$$h_{pot} = 2,318 - 1,20$$

$$= 1,118 \text{ m}$$

Kinetik Head

$$h_{kin} = \frac{1}{2g} [V_2^2 + V_1^2]$$

Dimana,

$$V_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0,520247 \text{ m/s}$$

$$h_{kin} = \frac{1}{2(9,8)} [0,520247^2 + 0^2]$$

$$= 0,013809 \text{ m}$$

Head Pompa/Head Manufacturing (h_{man})

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = (0 + 1,118 + 0,013809)$$

$$= 1,131809 \text{ m}$$

E. Kecepatan spesifik (N_s)

Dihitung dengan Persamaan : , Brown, G.G., "Unit Operation", hal :

$$N_s = \frac{N \cdot Ql^{0.5}}{(g \cdot h_{man})^{0.75}}$$

Dengan hubungan

N_s : Kecepatan spesifik; 0,1 sampai dengan 1 , 1/s

N : Kecepatan rotasi, rad/s

QL : Kapasitas pompa, m³/s

g : Percepatan gravitasi, m/s²

h_{man} : Head pompa, m

Dirancang dengan kecepatan rotasi = 3000 rpm

$$\text{Slip} = 5 \%$$

(Ludwig, E.E., "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plant", vol III, hal 330)

$$Rpm = 2850 \text{ rpm}$$

$$= 47,5 \text{ rps}$$

$$N_s = \frac{47,5 \cdot 0,0003^{0.5}}{(9,8 \cdot 1,131809)^{0.75}} = 0,133074 \text{ rotasi}$$

Jika $N_s = 0,1 - 1,1$ maka N_s masuk range standar

F. Daya penggerak poros

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_o = \frac{hman \cdot Q_1 \cdot \gamma}{Eff}$$

Effisiensi pompa

Diperoleh dari fig 3.24 Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", hal 120

dari fig 3.24 diperoleh Effisiensi = 48 %

$$P_o = \frac{15316,56 \cdot 1,1318 \cdot 0,00029}{0,4} = 12,56528 \text{ Nm/s}$$

$$= 12.56528 \text{ watt}$$

G. Motor Standar

Daya yang diperlukan

$$P_o = 12,56528 \text{ watt}$$

$$= 0,01685 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 %

(fig12.18, Peters M. S., and K.D., Timmerhaus, hal 516)

$$\text{Daya motor} = \frac{0,01685}{\frac{80}{100}} = 0,02106 \text{ Hp}$$

Maka dipilih motor induksi 0,5 Hp

(Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", vol 3, hal 400)

14. Heat Exchanger 3

Fungsi : Meningkatkan suhu NaOH dari suhu 30°C menjadi 70°C

Tipe : Shell and tube exchanger

Langkah menentukan dimensi heat exchanger :

1. Dari perhitungan neraca massa dan panas :

$$W = 1658,1154 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg}$$

$$= 3655,4812 \text{ lb/jam}$$

$$Q_c = 50356,8348 \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \times \frac{1}{252 \text{ ld}} \times 1000 \frac{\text{ld}}{\text{kkal}} = 199828,7090 \frac{\text{btu}}{\text{jam}}$$

Steam :

$$m = 93,4167 \text{ kg/jam} \times 2,5205 \text{ lb/kg} \\ = 205,9389 \text{ lb/jam}$$

2. LMTD = Δt

Fluida panas (*steam*) :

Suhu masuk = $160^\circ\text{C} = 320^\circ\text{F}$

Suhu keluar = $160^\circ\text{C} = 320^\circ\text{F}$

Fluida dingin (NaOH) :

Suhu masuk = $30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$

Suhu keluar = $70^\circ\text{C} = 158^\circ\text{F}$

Fluida panas	Suhu	Fluida dingin	Selisih
$T_1 = 320^\circ\text{F}$	Tinggi	$t_1 = 158^\circ\text{F}$	162 °F
$T_2 = 320^\circ\text{F}$	Rendah	$t_2 = 86^\circ\text{F}$	234 °F

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 - \Delta T_1)}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{234 - 162}{\ln(234 - 162)} = 195,7986^\circ\text{F}$$

3. Temperatur kalori

$T_c = 320^\circ\text{F}$

$t_c = 122^\circ\text{F}$

4. Penentuan nilai U_D

a. Dari Tabel 8 Kern, hal 840 :

Hot fluid steam

Cold fluid : heavy organics

Range $U_d = 6-60 \text{ btu/j. ft}^2.\text{F}$

Dipilih $U_d = 7 \text{ btu/j. ft}^2.\text{F}$

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta t} = \frac{199828,709}{7 \times 195,7986} = 145,7976 \text{ ft}^2$$

b. Dipakai 3/4 in OD, 16 BWG 1 in square pitch

$$a't' = 0,302 \text{ in}^2 = 0,0021 \text{ ft}^2$$

$$L = 16 \text{ ft}$$

$$a't' = 0,1963 \text{ ft}$$

$$N_t = \frac{A}{a't' \cdot L} = \frac{145,7976}{0,1963 \times 16} = 46,4205 \text{ buah}$$

Dari table 9 Kern, dipilih $N_t = 52$ buah

$$N = 1 \text{ pass}$$

$$\text{ID shell} = 10 \text{ in}$$

c. Koreksi U_D

$$A = N_t \cdot a't' \cdot L = 52 \times 0,1963 \text{ ft} \times 16 \text{ ft} = 163,3216 \text{ ft}^2$$

Nilai $A > 200 \text{ ft}^2$, maka jenis heater yang digunakan adalah *shell and tube*.

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t} = \frac{199828,709}{46,4205 \times 195,7986} = 7 \approx 7 \quad (U_D \text{ diterima})$$

Pembagian aliran

Fluida panas (Tube)	Fluida dingin (Shell)
5. $a_t = \frac{N_t \cdot a't'}{144 \cdot n}$ $= \frac{52 \times 0,302}{144 \times 1}$ $= 0,1090 \text{ ft}^2$	4. $a_s = \frac{\text{ID} \cdot C \cdot B}{144 \cdot P_t}$ $= \frac{10 \times 0,25 \times 2}{144 \times 1}$ $= 0,0347 \text{ ft}^2$
6. $G_t = \frac{W_t}{a_t}$ $= \frac{205,9389}{0,1090}$ $= 1888,385 \text{ lb/jam.ft}^2$	6. $G_s = \frac{W_s}{a_s}$ $= \frac{3655,481}{0,0347}$ $= 105277,8576 \text{ lb/jam.ft}^2$
7. Pada $t_c = 320^\circ\text{F}$ $\mu = 0,015 \text{ lb/jam.ft}$ $k = 0,0167 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ $C_p = 0,46 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{F}$ $D = 0,62 \text{ in} = 0,0517 \text{ ft}$ $Re_t = \frac{D \cdot G_t}{\mu}$	7. Pada $T_c = 122^\circ\text{F}$ $\mu = 1189,1441 \text{ lb/jam.ft}$ $k = 0,8213 \text{ btu/jam.ft.F}$ $cp = 0,5197 \text{ btu/lb.F}$ $De = 0,95 \text{ in} = 0,0792 \text{ ft}$ $Re_s = \frac{D_e \cdot G_s}{\mu}$

$= \frac{0.0517 \times 1888,385}{0,015}$ $= 6504,359$ <p>8. $h_{i0} = 1500 \text{ Btu/jam. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$</p>	$= \frac{0.0792 \times 105277,8576}{1189,1441}$ $= 7,0087$ <p>Sehingga didapatkan $jH = 2,3$</p> $8. h_0 = jH \left(\frac{k}{De} \right) \left(\frac{cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ $h_0 = 14,2732 \text{ btu/jam.ft}^2 \cdot \text{F}$
---	---

$$8. U_c = \frac{h_{i0} \times h_0}{h_{i0} + h_0} = \frac{1500 \times 14,2732}{1500 + 14,2732} = 14,1386 \text{ btu /jam ft}^2$$

9. Dirt factor

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} = \frac{14,1386 - 7}{14,1386 \times 7} = 0,0721$$

$$R_d \text{ min} = 0,003$$

$R_d > R_{d \text{ min}}$ maka alat memenuhi syarat

10. Penurunan tekanan

Shell side

$$De = 0,0792 \text{ ft}$$

$$Re_s = 7,0087$$

$$\rho_{\text{steam}} = 90,6739 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = \frac{\rho_{\text{steam}}}{62,5} = \frac{90,6739}{62,5} = 1,4508$$

$$N+1 = 12 \times \frac{L}{B} = 12 \times \frac{16}{2} = 96$$

Dari fig 29 Kern, hal 839 di dapat $f = 0,0075$

$$\Delta p_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot ID_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot De \cdot s} = 1,1092 \text{ psi}$$

Δp_s yang di izinkan = 10 psi (memenuhi syarat)

Tube side

$$D = 0,0516 \text{ ft}$$

$$Re_t = 6504,3594$$

$$\rho_{\text{steam}} = 0,2042 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = \frac{\rho_{\text{steam}}}{62,5} = \frac{0,2042}{62,5} = 0,0032$$

dari fig 26 Kern, hal 836 didapat $f = 0,00015$

$$\Delta p_t = \frac{f \cdot G t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s} = \frac{8558,3984}{8813635,9} = 0,0009 \text{ psi}$$

Δp_t yang di izinkan = 10 psi (memnuhi syarat)

Karena Pressure Drop total < dari 10 Psi, maka :

Perancangan alat ini memenuhi syarat dan layak digunakan.

15. Spray dryer

Fungsi : Meringkakan produk melalui proses kontak langsung dengan udara pengering sehingga didapatkan produk berupa powder

Type : *Spray Dryer equipped with spray nozzle.*

Kondisi operasi :

Tekanan : 1 atm

Suhu : 70 °C

Laju umpan : 43487,9755 kg/jam

H₂O masuk : 1222,2919 kg/jam

H₂O menguap : 1159,1606 kg/jam

H₂O sisa : (1222,2919 – 1159,1606) kg/jam = 63,1313 kg/jam

T udara masuk spray dryer : 105 °C

H : 0,0215 kg H₂O/kg ud.krg

V : 1,1068 m³/kg

T udara keluar spray dryer : 40 °C =

H : 0,049 kg H₂O/kg ud.krg

V : 0,9557 m³/kg

$$\text{laju udara masuk (A)} = \frac{H_2 O \text{ yang menguap} - H_2 O \text{ sisa}}{H \text{ udara keluar} - H \text{ udara masuk}}$$

$$A = \frac{(1159,1606 - 63,1313) \text{ kg / jam}}{(0,049 - 0,0215) \text{ kg H}_2\text{O / kg ud.krg}} = 43487,9755 \text{ kg/jam}$$

Waktu tinggal dalam spray dryer

$$t = 17 \frac{[L]}{[S]} \dots\dots\dots (\text{Brown, 1958})$$

dimana t : waktu tinggal umpan dalam spray dryer, detik

L/S: rasio massa cairan dan padatan dalam umpan

$$t = 17 \left[\frac{1305,980 \text{ kg/jam}}{7472,2919 - 1305,980 \text{ kg/jam}} \right] / 3600 = 3,6000 \text{ det}$$

Volume udara masuk :

$$\begin{aligned} V_a &= A \times t \\ &= 43487,9755/3600 \times 3,6000 = 43,4937 \text{ m}^3 = 1539,7952 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume umpan masuk :

$$\begin{aligned} V_f &= \frac{\text{massamasuk}}{\rho_{campuran}} \times t \\ &= \frac{7472,2919 \text{ kg / jam}}{6874,151 \text{ kg / m}^3} \times \frac{3,6000 \text{ det}}{3600 \text{ det/ jam}} \\ &= 0,0011 \text{ m}^3 = 0,0384 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

V spray dryer :

$$\begin{aligned} V &= V_a + V_f \\ V &= 43,4937 \text{ m}^3 + 0,0011 \text{ m}^3 \\ V &= 43,4948 \text{ m}^3 = 1535,834 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Dirancang spray dryer :

$$\begin{aligned} \text{sudut} &= 60^0 \\ \text{H tabung} &= 4D \dots \dots \dots \text{ (Wallas, p.276)} \end{aligned}$$

$$V = V_{\text{silinder}} + V_{\text{konis}}$$

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 H + \frac{1}{12} \sin 60^0 \pi D^3$$

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 (4D) + \frac{1}{12} (0,866) \pi D^3$$

$$D = \left[\frac{3,3683}{\dots} \right]^{1/3}$$

sehingga didapat $D = 2,3558 \text{ m} = 7,7290 \text{ ft}$

$$\begin{aligned} H &= 4 \times 2,3558 \text{ m} \\ &= 9,4231 \text{ m} = 30,9158 \text{ ft} \end{aligned}$$

$\text{tinggikonis} = D \times \sin 60$

$$= 2,3558 \times 0,866$$

$$= 2,0402 \text{ m} = 6,6935 \text{ ft}$$

tinggi spray dryer = tinggi silinder + tinggi konis

$$= 9,4231 \text{ m} + 2,0402 \text{ m}$$

$$= 11,4633 \text{ m} = 37,6093 \text{ ft}$$

$$T_{\text{shell}} = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + c$$

Digunakan bahan Carbon Steel SA – 167 Grade 3

$$P = \text{tekanan operasi} = 14,7 \text{ psi}$$

$$r_i = \text{jari – jari silinder} = 38,060 \text{ in}$$

$$f = \text{tegangan yang diijinkan} = 18.750 \text{ psi}$$

$$E = \text{efisiensi sambungan} = 0,85$$

$$c = \text{faktor korosi} = 0,125 \text{ in}$$

$$T_{\text{shell}} = \left(\frac{14,7 \times 38,060}{18.750 \times 0,85} - (0,6 \times 14,7) \right) + 0,125$$

$$= 0,126 \text{ in} \dots\dots\dots (\text{dipilih tebal shell standar } 3/16 \text{ inchi})$$

D lubang keluaran produk = $\frac{1}{4}$ diameter tabung

$$= \frac{1}{4} \times 2,3558 \text{ m}$$

$$= 0,5889 \text{ m} = 1,9322 \text{ ft}$$

16. Pompa 8

Kode : P-8

Tugas : Memompa cairan yang berasal dari Netraliser ke Spray dryer

Type Alat : Sentrifugal Pumps.

Titik pemompaan :

Titik 1 (Tinggi cairan saat tangki mendekati kosong)

$$P1 = 1,00 \text{ atm}$$

$$Z1 = 0,50 \text{ m}$$

Titik 2 (Dipilih ujung pipa pemasangan kedalam reactor gelembung)

$$P2 = 1,00 \text{ Atm}$$

$$Z2 = 9,3 \text{ m}$$

Komponen	BM	Kgmol	Kg	F.massa
ROH	214	0,3911	83,6879	0,0112

H2O	18	67,9051	1222,2919	0,1636
R-OSO3Na	316	19,1622	6055,2497	0,8104
Na2SO4	143	0,7821	111,0624	0,0149
		88,2405	7472,2919	1,0000

A. Sifat-sifat fisis fluida

1). Densitas cairan

Komponen	A	B	Tc (K)	n
ROH	0,26759	0,26293	741	0,31824
H2O	0,3471	0,274	647,13	0,28571
R-OSO3Na	0,221	0,204	802,3	0,286
Na2SO4	0,2614	0,1	3700	0,285

(Sumber : Yaws, C.L., "Chemical Properties Hand Book")

Dihitung dengan persamaan :

$$\rho_i = A \cdot B \cdot \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

Perhitungan setiap komponen dengan temperatur 303.15 k :

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ ROH} &= 0,26759 \cdot 0,26293 \cdot \left(1 - \frac{343}{741}\right)^{0,31824} \\ &= 0,800774 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ H2O} &= 0,3471 \cdot 0,2742 \cdot \left(1 - \frac{343}{647,13}\right)^{0,28571} \\ &= 0,985367 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ R - OSO3Na} &= 0,221 \cdot 0,204 \cdot \left(1 - \frac{343}{802,3}\right)^{0,286} \\ &= 0,856971 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_i \text{ Na2SO4} &= 0,2614 \cdot 0,1 \cdot \left(1 - \frac{343}{3700}\right)^{0,285} \\ &= 2,454484 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

Komponen	Xi	(1-T/Tc)^n	ρ_i (kg/l)	v'i = 1/ ρ_i (kg/l)	xi . v'i
ROH	0,01120	0,82053	0,80077	1,24879	0,01399
H2O	0,16358	0,80594	0,98537	1,01485	0,16601
R-OSO3Na	0,8104	0,85254	0,85697	1,16690	0,94561
Na2SO4	0,0149	0,97265	2,45448	0,40741	0,00606
$\sum v'i \cdot xi$					1,13166

Volume spesifik campuran, Dihitung dengan hukum Amagat

(Pers: 3.64 , Perry's, "Chemical Engineering Hand Book", Hal : 3-273)

Maka, dapat disimpulkan bahwa densitas campuran adalah :

$$V'_{mix} = \sum V_i \cdot x_i$$

$$V'_{mix} = 1,13166 \text{ kg/l}$$

Massa jenis campuran

$$\rho_l = \frac{1}{V'_{mix}} = \frac{1}{1.131657} = 0,88366 \text{ kg/l}$$

$$= 883,6597 \text{ kg/m}^3$$

2.) Viskositas

Harga A,B dan C Untuk beberapa komponen adalah :

Pada temperatur 343 K

komponen	A	B	C	D
ROH	-26,963	6075,3	0,03719	0,00001805
H2O	-10,216	1792,5	0,01773	0,000012631
R-OSO3Na	-7,0601	1352,4	0,012394	-0,000010073
Na2SO4	11,2905	-4576,9	0,006785	0,00000092443

(Tabel 22-1 hal : dan Tabel 22-2 hal :501 , Yaws C.L., Chemical properties Hand book)

Viskositas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Log } \mu = A + B/T + C T + D T^2$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu \text{ ROH} &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= (26,963) + (6075,3)/343 + (0,03719) (343) + (0,00001805) (343)^2 \\ &= 5,62898 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \mu \text{ H2O} &= A + B/T + C T + D T^2 \\ &= (-10,216) + (1792,50000)/343 + (0,0177300) (343) + (0,000126) (343)^2 \\ &= 2,57736 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Log } \mu \text{ R-OSO}_3\text{Na} &= A + B/T + C T + D T^2 \\
 &= (-7,0601) + (1352,4)/343 + (0,012394) (343) + \\
 &\quad (-0,00001007) (343)^2 \\
 &= -0,051179
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Log } \mu \text{ Na}_2\text{SO}_4 &= A + B/T + C T + D T^2 \\
 &= (11,2905) + (-4576,9)/343 + (0,006785) (343) + \\
 &\quad (0,00000092443) (343)^2 \\
 &= 0,38278
 \end{aligned}$$

Komponen	Log (μ)	μ (cp)	y_i	$y_i \cdot \mu$
ROH	5,62898	425,578	0,01120	4766,37474
H ₂ O	2,577362	377,88708	0,16358	61,81347
R-OSO ₃ Na	-0,051179	0,888834	0,81036	0,72028
Na ₂ SO ₄	-0,08873	0,8152	0,01486	0,035883
Total			1,00	4828,94437

Dari table dan perhitungan diatas dapat diketahui viskositas (μ) adalah 4828,94437 Cp atau 4,82894437 Kg/m.s

B. Kapasitas Pompa

Laju Alir (Q) :

Dinyatakan dalam kecepatan volume fluida yang dipompa

$$Ql = \frac{\text{Kapasitas mass}}{\text{massa jenis}}$$

$$\begin{aligned}
 Ql &= \frac{7472,2919}{883,6597} \\
 &= 8,46 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 0,002349 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

C. Ukuran Pipa

Mengukur ukuran pipa optimum

Aliran viscous

$$Di = 0,133 \times m v^{0.4} \times \varphi^{0.2}$$

(Plant and Economics For Chemical Engineering, Timmerhous, hal 501)

$$\begin{aligned}
 Di &= 0,133 \times 0,00235^{0.4} \times 883,6597^{0.2} \\
 &= 0,01618 \text{ m} \\
 &= 0,636992 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dipilih berdasarkan Tabel 11. Kern, D.Q., "Proses Heat Transfer", Hal : 844
 Dipilih spesifikasi pipa :

Nominal Pipe Size	IPS	0,25
Schedule Number	Sch.N	40
Inside Diameter	ID	0,364 in
Outside Diameter	OD	0,54 in

D. Head Pompa

Dihitung dalam persamaan bernouli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

(Street, R.L., G. E. Watters, J. K. vennard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 267)

Dengan hubungan :

γ : Rapat berat (Weight density), Nm⁻³

h_f : Head karena friksi, m

h_{man} : Head pompa (head manufacturing), m

P_1, P_2 : Tekanan pada titik 1 dan titik 2, Nm⁻²

V_1, V_2 : Kecepatan linier pada titik 1 dan titik 2, m/s

Z_1, Z_2 : Elevasi pada titik 1 dan titik 2, m

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻¹

1). Rapat berat (γ)

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma = 883,6597 \cdot 9,8$$

$$= 8659,865 \text{ N/m}^3$$

2). Head karena friksi

Dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach (Street, R.L., G. E. Watters, J. K. Venard, "Elementary Fluid Mechanics", edisi XI, 1996, hal 324)

$$h_f = \frac{f_{dw} [L + \sum L_e] V^2}{2 \cdot g \cdot ID}$$

Dengan hubungan :

f_{dw} : Faktor friksi (dari moody diagram)

g : Percepatan gravitasi normal, ms⁻²

L : Panjang pipa lurus, m

$\sum L_e$: Panjang ekuivalen (dari fig.12.7, Brown, GG)

ID : Diameter dalam, m

Bahan Konstruksi

Bahan yang dipilih adalah *Commercial steel*

Luas aliran

$$a_p = \frac{\pi \cdot ID^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.009246^2}{4} = 0,000671 \text{ m}^2$$

Kecepatan linear

Titik 1

$$V_1 = 0$$

Titik 2

$$V_2 = \frac{Q_l}{a_p} = \frac{0,002349}{0,000671} = 35,0047 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot ID}{\varphi} = \frac{883,6597 \times 35,0047 \times 0.009246}{4,82894} = 59,22$$

Faktor friksi (f_{dw}) :

Karena alirannya laminar maka :

$$F = \frac{64}{Re}$$

$$F = \frac{64}{59,22} = 1,08065$$

Dirancang pipa lurus $L=25$ m

Panjang ekivalen

Keterangan	Le (ft)	n	n.Le
Ordinary Entrance	9	1	9
Elbow	14	4	56
Valve	160	1	160
Sudden Enlargement	17	1	17
Total			242

(Sumber : Fig. 127. Brown, G.G., "Unit Operation", p. 141)

$$\sum Le = 242 \text{ ft}$$

$$= 73,7616 \text{ m}$$

Head karena friksi (h_f)

Untuk :

$$L = 25 \text{ m}$$

$$\sum Le = 73,7616 \text{ m}$$

$$V = 235,0047 \text{ m/s}$$

$$F_{dw} = 1,080651$$

$$ID = 0,009246 \text{ m}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

maka :

$$\text{Head } F = \frac{fV^2(L+Le)}{(2gc \cdot ID)} = \frac{1,080651 \cdot 235,0047^2 (25+73,7616)}{(2 \cdot 9,8 \cdot 0,009246)} = 721664,5 \text{ m}$$

3). Head pompa /Head manufacturing (h_{man})

$$\begin{aligned} P_1 &= 1 \text{ Atm} \\ &= 101325 \text{ N/m}^2 \\ P_2 &= 1 \text{ Atm} \\ &= 101325 \text{ N/m}^2 \\ \gamma &= 8659,865 \text{ N/m}^3 \end{aligned}$$

Maka,

$$h_{press} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{0}{8659,865} = 0 \text{ m}$$

Potential head

$$h_{pot} = Z_2 - Z_1$$

Dimana $Z_1 = 0,50 \text{ m}$

$$Z_2 = 9,3 \text{ m}$$

$$h_{pot} = 9,3 - 0,50$$

$$= 8,8 \text{ m}$$

Kinetik Head

$$h_{kin} = \frac{1}{2g} [V_2^2 + V_1^2]$$

Dimana,

$$V_1 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 35,0047 \text{ m/s}$$

$$h_{kin} = \frac{1}{2(9.8)} [35,0047^2 + 0^2]$$

$$= 62,5168 \text{ m}$$

Head Pompa/Head Manufacturing (h_{man})

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_{man} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_f$$

$$h_{man} = -WS = (0 + 8,8 + 62,51679)$$

$$= 71,31680 \text{ m}$$

E. Kecepatan spesifik (N_s)

Dihitung dengan Persamaan : , Brown, G.G., "Unit Operation", hal :

$$N_s = \frac{N \cdot Ql^{0.5}}{(g \cdot h_{man})^{0.75}}$$

Dengan hubungan

N_s : Kecepatan spesifik; 0,1 sampai dengan 1 , 1/s

N : Kecepatan rotasi, rad/s

QL : Kapasitas pompa, m³/s
 g : Percepatan gravitasi, m/s²
 h_{man} : Head pompa, m

Dirancang dengan kecepatan rotasi = 7000 rpm

$$\text{Slip} = 5 \%$$

(Ludwig, E.E., "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plant", vol III, hal 330)

$$Rpm = 6650 \text{ rpm}$$

$$= 110,8333 \text{ rps}$$

$$Ns = \frac{110,8333 \cdot 0,002349^{0,5}}{(9,8 \cdot 71,3168)^{0,75}} = 0,039518 \text{ rotasi}$$

Jika $Ns = 0,1 - 1,1$ maka Ns masuk range standar

F. Daya penggerak poros

Dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_o = \frac{h_{man} \cdot Q_1 \cdot \gamma}{Eff}$$

Effisiensi pompa

Diperoleh dari fig 3.24 Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", hal 120

dari fig 3.24 diperoleh Effisiensi = 48 %

$$\begin{aligned}
 P_o &= \frac{8659,865 \cdot 71,3168 \cdot 0,02349}{0,58} = 2501,159 \text{ Nm/s} \\
 &= 2501,159 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

G. Motor Standar

Daya yang diperlukan

$$P_o = 2501,159 \text{ watt}$$

$$= 3,354054 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80 % (fig 12.18, Peters M. S., and K.D., Timmerhaus, hal 516)

$$\text{Daya motor} = \frac{3,354054}{\frac{80}{100}} = 4,19257 \text{ Hp}$$

Maka dipilih motor induksi 5 Hp

(Ludwig, E.E., "Applied process Design for Chemical and Petrochemical Plants", vol 3, hal 400)

17. Filter udara

Fungsi : Menyaring udara luar yang akan digunakan sebagai udara pengeing *spray dryer*

Tipe : *Automatic Filter*

Kondisi operasi :

P= 1 atm

T = 30 °C = 303.15 K

R = 0,08206 L atm/mol.K

BM udara = 28,84 gr/mol

Konsentrasi debu dalam udara di daerah industry adalah 0,1-2,0 gr /1000 ft³

(Tabel 17-8, hal 17-48 , Perry ed 7)

Kapasitas penyaringan udara sebanyak:

m = 43487,9755 kg/jam = 95873,6 lb/jam = 1597,89 lb/menit

densitas udara pada 303,15 K

$$\rho = \frac{P B \text{ udara}}{RT} = \frac{1 \times 28,84}{303,15 \times 0,08206} = 1,1594 \text{ gr/liter} = 0,0724 \text{ lb/ft}^3$$

kecepatan volume udara :

$$Q = \frac{\text{kapasitas penyaring}}{\text{udara}} = \frac{1597,89}{0,0724} = 22077,1 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

Dari tabel 20-39 Perry, untuk kecepatan volume udara sebesar : 22077,1 ft³/menit digunakan penyaring otomatis.

Kecepatan aliran udara :

Untuk penyaring otomatis, kecepatan aliran udara yang diizinkan 350-750 ft.menit

Diambil kecepatan aliran udara 750 ft/menit

$$\text{Luas penyaringan} = \frac{\text{kecepatan volume udara}}{\text{kecepatan aliran udara}} = \frac{22077,1}{750} = 29,4362 \text{ ft}^2$$

Jumlah debu minimal = konsentrasi minimal debu dalam udara x laju alir

$$\begin{aligned} & \text{volumetric udara} \\ & = 0,0001 \times 22077,1 \end{aligned}$$

$$= 2,20771 \text{ g/menit}$$

$$= 132,463 \text{ g/jam}$$

Jumlah debu maksimal = konsentrasi maksimal debu dalam udara x laju alir volumetric udara

$$= 0,002 \times 22077,1$$

$$= 44,1543 \text{ g/menit}$$

$$= 2649,26 \text{ g/jam}$$

18. Blower

Fungsi : menghembuskan udara ke spray dryer melalui heater, sehingga diperoleh udara panas yang berfungsi sebagai media pengering dalam spray dryer

Tipe : *Centrifugal blower*

kebutuhan udara = 95870,1117 lb/jam

suhu udara masuk = 30 °C

relative humidity = 0,17 %

uap air yang di bawa = $\frac{0,17}{100} \times 95870,1117 = 16297,9190 \text{ lb/jam}$

$$\text{kecepatan udara} = \frac{\text{kebutuhan}}{\text{BM udara}} + \frac{\text{uap air yang di bawa}}{\text{BM air}}$$

$$\text{kecepatan udara} = \frac{95870,1117}{28,84} + \frac{16297,9190}{18} = 4229,6463 \text{ lbmol/jam}$$

kecepatan volumetris udara :

$$P = 14,7 \text{ psi}$$

$$R = 10,73 \text{ ft}^3 \cdot \text{psi/lbmol R}$$

$$T = 546 \text{ R}$$

$$Q = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{4229,6463 \cdot 10,73 \cdot 546}{14,7} = 1685695,3267 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 28094,9221 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

Diambil faktor keamanan = 20 %, maka :

$$Q = \frac{100+20}{100} \times 28094,9221 = 33713,9065 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

Blower bekerja secara adiabatic, maka menurut Mc Cabe Smith, ed 4 hal 189, diperoleh :

$$P = \frac{0,0643 \cdot T_a \cdot \gamma \cdot q_o \left[\left(\frac{P_b}{P_a} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - 1 \right]}{520 (\gamma - 1) \eta \left[\left(\frac{P_a}{P_b} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - 1 \right]}$$

Dimana :

P = power blower

Ta = suhu operasi = 546 R

q₀ = jumlah udara yang di pindahkan = 33713,9065 ft³/menit

efisiensi blower = 85%

Pa = tekanan masuk blower = 14,7 psi

Pb = tekanan keluar blower = 16,7 psi

$$P = \frac{0,0643 \cdot 546 \cdot 1,403 \cdot 33713,9065}{520 (1,403 - 1)^{0,85}} \left[\left(\frac{16,7}{14,7} \right)^{\frac{1,4}{0,85}} - 1 \right] = 347,9289 \text{ hp}$$

Efisiensi motor diambil = 85%

$$\text{Power motor} = \frac{85}{100} \times 347,9289 = 409,3281 \text{ hp}$$

19. Heat Exchanger 4

Langkah menentukan dimensi *heat exchanger* :

1. Dari perhitungan neraca massa dan panas :

$$\begin{aligned} W &= 43487,98 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\ &= 95873,59 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\text{LMTD} = \Delta t$$

Fluida panas (*steam*) :

Suhu masuk = 160°C = 320 °F

Suhu keluar = 160°C = 320 °F

Fluida dingin (Udara) :

Suhu masuk = 30 °C = 86 °F

Suhu keluar = 70 °C = 158 °F

Fluida panas	Suhu	Fluida dingin	Selisih
T ₁ = 320 °F	Tinggi	t ₁ = 158 °F	162 °F
T ₂ = 320 °F	Rendah	t ₂ = 86 °F	234 °F

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 - \Delta T_1)}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{234 - 162}{\ln(234 - 162)} = 195,7986 \text{ } ^\circ\text{F}$$

2. Temperatur kalori

$$T_c = 320 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_c = 122 \text{ } ^\circ\text{F}$$

3. Menentukan jenis heater dan penentuan nilai U_D

Jenis heater yang digunakan berdasarkan luas perpindahan panas (A). Jika nilai $A > 200 \text{ ft}^2$ maka jenis heater yang digunakan *shell and tube*. Tetapi jika $A < 200 \text{ ft}^2$ digunakan jenis heater *double pipe*.

a. Dari Tabel 8 Kern, hal 840 :

Hot fluid steam

Cold fluid : heavy organics

Range $U_D = 6-60 \text{ btu/j. ft}^2.\text{F}$

Dipilih $U_D = 8 \text{ btu/j. ft}^2.\text{F}$

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta t} = \frac{1065305}{8 \times 195,7986} = 848,4969 \text{ ft}^2$$

b. Dipakai 1,5 in OD, 18 BWG 1 in square pitch

$$a't' = 0,302 \text{ in}^2 = 0,0021 \text{ ft}^2$$

$$L = 18 \text{ ft}$$

$$a't' = 0,3925 \text{ ft}$$

$$N_t = \frac{A}{a't' \cdot L} = \frac{848,4969}{0,3925 \times 18} = 120,0986 \text{ buah}$$

Dari table 9 Kern, dipilih $N_t = 127$ buah

$$N = 1 \text{ pass}$$

$$\text{ID shell} = 29 \text{ in}$$

c. Koreksi U_D

$$A = N_t \cdot a't' \cdot L = 127 \times 0,3925 \text{ ft} \times 18 \text{ ft} = 897,255 \text{ ft}^2$$

Nilai $A > 200 \text{ ft}^2$, maka jenis heater yang digunakan adalah *shell and tube*.

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t} = \frac{1065305}{897,255 \times 195,7986} = 8 \approx 8 \text{ (} U_D \text{ diterima)}$$

Pembagian aliran

Fluida panas (Tube)	Fluida dingin (Shell)
---------------------	-----------------------

<p>5. $a_t = \frac{N_t \cdot at'}{144 \cdot n}$</p> $= \frac{127 \times 0,3925}{144 \times 1}$ $= 0,6791 \text{ ft}^2$ <p>6. $G_t = \frac{W_t}{a_t}$</p> $= \frac{1190,418}{0,6791}$ $= 1752,942 \text{ lb/jam.ft}^2$ <p>7. Pada $t_c = 320^\circ\text{F}$ $\mu = 0,015 \text{ lb/jam.ft}$ $k = 0,0167 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ $C_p = 0,46 \text{ Btu/lb} \cdot ^\circ\text{F}$ $D = 0,62 \text{ in} = 0,0517 \text{ ft}$</p> $Re_t = \frac{D \cdot G_t}{\mu}$ $= \frac{0,0517 \times 1752,942}{0,015}$ $= 13633,83$ <p>8. $h_{i0} = 1500 \text{ Btu/jam. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$</p>	<p>4. $a_s = \frac{ID \cdot C \cdot B}{144 \cdot P_t}$</p> $= \frac{29 \times 0,375 \times 5,8}{144 \times 1}$ $= 0,4380 \text{ ft}^2$ <p>6. $G_s = \frac{W_s}{a_s}$</p> $= \frac{95873,59}{0,4380}$ $= 218879,1 \text{ lb/jam.ft}^2$ <p>7. Pada $T_c = 122^\circ\text{F}$ $\mu = 0,04959 \text{ lb/jam.ft}$ $k = 0,019 \text{ btu/jam.ft.F}$ $cp = 0,06 \text{ btu/lb.F}$ $De = 1,43 \text{ in} = 0,1192 \text{ ft}$</p> $Re_s = \frac{D_e \cdot G_s}{\mu}$ $= \frac{0,1192 \times 218879,1}{0,04959}$ $= 525948,2$ <p>Sehingga didapatkan $jH = 280$</p> <p>8. $h_0 = jH \left(\frac{k}{De} \right) \left(\frac{cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$</p> $h_0 = 38,7222 \text{ btu/jam.ft}^2 \cdot \text{F}$
--	--

$$8. U_c = \frac{h_{i0} \times h_0}{h_{i0} + h_0} = \frac{1500 \times 38,7222}{1500 + 38,7222} = 37,7478 \quad \text{btu /jam ft}^2$$

9. Dirt factor

$$Rd = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} = \frac{37,7478 - 8}{37,7478 \times 8} = 0,0985$$

$$Rd \text{ min} = 0,003$$

$Rd > Rd_{min}$ maka alat memenuhi syarat

10. Penurunan tekanan

Shell side

$$De = 0,1192 \text{ ft}$$

$$Res = 525948,2$$

$$\rho \text{ steam} = 43487,98 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = \frac{\rho \text{ steam}}{62,5} = \frac{43487,98}{62,5} = 695,8076$$

$$N+1 = 12 \times \frac{L}{B} = 12 \times \frac{18}{5,8} = 37,2413$$

Dari fig 29 Kern, hal 839 di dapat $f = 0,0036$

$$\Delta p_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot I D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot s} = 0,0035 \text{ psi}$$

Δp_s yang di izinkan = 10 psi (memenuhi syarat)

Tube side

$$D = 0,1166 \text{ ft}$$

$$\text{Ret} = 13633,83$$

$$\rho_{\text{steam}} = 0,2042 \text{ lb/ft}^3$$

$$s = \frac{\rho_{\text{steam}}}{62,5} = \frac{0,2042}{62,5} = 0,0032$$

dari fig 26 Kern, hal 836 didapat $f = 0,0001$

$$\Delta p_t = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s} = 0,00061 \text{ psi}$$

Δp_t yang di izinkan = 10 psi (memenuhi syarat)

Karena Pressure Drop total < dari 10 Psi, maka :

Perancangan alat ini memenuhi syarat dan layak digunakan.

20. Cyclon

Fungsi : memisahkan partikel produk yang terbawa oleh udara yang keluar dari *spray dryer*

Tipe : *cyclone separator*

No	Komponen	masuk	keluar (kg/jam)		X	Rho	Rho . X
		(kg/jam)	atas	bawah		kg/m ³	
1	C14H29OSO3Na	6055.2497	-	6055.2497	0.9592	857.0508	822.0416
2	Na2SO4	111.0624	-	111.0624	0.0176	2454.1279	43.1737
3	C14H30OH	83.6879	-	83.6879	0.0133	800.6687	10.6138
4	H2O	1222.2919	1159.1606	63.1313	0.0100	985.2217	9.8522
Σ		7472.2919	1159.1606	6313.1313	1.0000	5097.0691	885.6813
			7472.2919				

Perhitungan dimensi cyclone :

$$D_{p_{\min}} = \sqrt{\frac{g \cdot \mu \cdot BC}{N_t \pi V_c \cdot (\rho - \rho)}} \quad (\text{perry's Ed.8th, pers 17.3 page 17.27})$$

Diketahui:

$D_{p_{min}}$ = diameter partikel minimum

μ = viskositas udara

ρ_s = densitas partikel = $885,6813 \text{ kg/m}^3 = 55,2894 \text{ lb/ft}^3$

ρ = densitas udara : $P = 1 \text{ atm}$, $R = 0,08206 \text{ atm m}^3/\text{kmol K}$,

BM udara = $28,84 \text{ kg/kmol}$

densitas udara pada $298,15 \text{ K}$

$$\rho = \frac{P \text{ BM udara}}{RT} = \frac{1 \times 28,84}{298,15,15 \times 0,08206} = 1,1789 \text{ kg/m}^3 = 0,0736 \text{ lb/ft}^3$$

BC = diameter lubang inlet

N_t = jumlah aliran karena putaran = 4

$$\begin{aligned} V_c &= \text{kecepatan udara masuk} = \frac{\text{laju udara masuk}}{\text{luas area tabung}} \\ &= \frac{43487 \text{ kg/jam}}{\frac{3,14}{4} \cdot 2,3558} = 9977,1908 \text{ kg/jam. m}^2 \\ &= 2043,8362 \text{ lb/s.ft}^2 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} BC &= \frac{\pi \cdot N_t \cdot V_c (\rho_s - \rho) \cdot (D_{p_{min}})^2}{g \cdot \mu} \\ &= \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 2043,8362 (55,2894 - 0,0736) \cdot (0,000146)^2}{32,2 \cdot 0,0121} = 0,0979 \text{ ft} = 0,0299 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari Perry's ed.6 diperoleh spesifikasi ukuran cyclone:

D_c = diameter cyclone = $4 \times BC = 4 \times 0,0979 = 0,2937 \text{ ft} = 0,0895 \text{ m}$

D_e = diameter gas outlet = $D_c/2 = 0,2937/2 = 0,1468 \text{ ft} = 0,0448 \text{ m}$

H_c = tinggi lubang outlet = $D_c/2 = 0,2937/2 = 0,1468 \text{ ft} = 0,0448 \text{ m}$

L_c = tinggi silinder = $2 \times D_c = 2 \times 0,2937 = 0,5874 \text{ ft} = 0,1790 \text{ m}$

Z_c = tinggi konis = $2 \times D_c = 2 \times 0,2937 = 0,5874 \text{ ft} = 0,1790 \text{ m}$

J_c = diameter lubang dust out = $D_c/4 = 0,2937/4 = 0,0734 \text{ ft} = 0,0224 \text{ m}$

S = panjang outlet dengan kisaran $(0,5-0,625) \times D_c$

Dipilih kisaran 0,625

$S = 0,625 \times 0,2937 = 0,1863 \text{ ft} = 0,0559 \text{ m}$

21. Screw Conveyor

Fungsi : memindahkan produk dari spray dryer menuju bucket elevator

Komponen	m (kg/jam)	m (lb/jam)	Rho (gr/ml)	rho (kg/l)	rho (lb/ft ³)
ROSO ₃ Na	6055.2497	13349.4034	0.3102	0.3102	19.3658
Na ₂ SO ₄	111.0624	244.8483	2.6141	2.6141	163.1930
R-OH	83.6879	184.4983	0.3566	0.3566	22.2601
H ₂ O	63.1313	139.1793	0.4289	0.4289	26.7766
Total	6313.1313		3.7098	3.7098	231.5954

$$F_v = \frac{m}{\rho_{campuran}} = \frac{13917,93}{231,5954} = 60,0959 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Untuk kapasitas 60,0959 ft³/jam, dari tabel 13 Brown hal 53 diperoleh:

Dscrew = 4 in

Rpm max = 220

Panjang 12 ft = 143,9997 in (panjang yang di izinkan, 8-12 ft)

Mencari daya penggerak (brown, hal 53)

$$H_p = \frac{\text{coefficient} \times \text{kapasitas} \times \text{panjang}}{33000} = \frac{1,3 \times 6313,1313 \times 12}{33000} = 2,9844 \text{ kg ft/jam}$$

$$H_p = 0,1097 \text{ hp}$$

Efisiensi motor yang digunakan = 75 %

$$\text{Power} = \frac{0,1097}{0,75} = 0,1462 \text{ hp}$$

Digunakan motor dengan standar 0,5 hp

22. Bucket Elevator

Fungsi : menaikkan produk dari screw conveyer ke silo

Tipe : bucket elevator

Komponen	m (kg/jam)	n (mol/jam)	xi	ρ (kg/m ³)	ρ · Xi
ROSO ₃ Na	6055.2497	19.1622	0.9592	857.0500	822.0408
Na ₂ SO ₄	111.0624	0.7821	0.0176	2454.1300	43.1738
ROH	83.6879	0.3911	0.0133	800.6700	10.6138
H ₂ O	63.1313	3.5073	0.0100	985.2200	9.8522
	6313.1313	23.8427	1.0000		885.6806

Umpan masuk = 6313,1313 kg/jam = 13917,9293 lb/jam

Dari tabel 21-8 Perry ed 6, dipakai ukuran bucket :

Panjang = 8 in

Lebar = 6 in

Tinggi = 6,5 in

Lebar belt = 9 in

Volume bucket = luas x panjang

$$= (0,5 \times P \times T) \times L$$

$$= (0,5 \times 8 \times 6,5) \times 8$$

$$= 156 \text{ in}^3 = 1,7617 \text{ ft}^3 = 0,0497 \text{ m}^3$$

Densitas padatan = $885,6806 \text{ kg/m}^3 = 7,1280 \text{ m}^3/\text{jam} = 55,2912 \text{ lb/ft}^3$

Berat padatan dalam 1 bucket = volume x densitas padatan

$$= 1,7617 \text{ ft}^3 \times 55,2912 \text{ lb/ft}^3$$

$$= 97,4074 \text{ lb/bucket}$$

Waktu tinggal

a. Waktu tinggal untuk 1 bucket

$$t_h = \frac{\text{massa untuk 1 bucket}}{\text{kecepatan umpan masuk}} = \frac{97,4074}{13917,9293} = 0,0070 \text{ jam/bucket} = 0,4199 \text{ menit}$$

b. Waktu tinggal untuk n bucket

Tinggi bucket elevator = 15 ft (dari tinggi silo + penyangga)

Jarak antar bucket = 1,25 ft

Tinggi 1 bucket = tinggi bucket + jarak antar bucket

$$= 0,5417 + 1,25 = 1,7917 \text{ ft}$$

Jumlah bucket vertical = $\frac{\text{tinggi bucket vertical}}{\text{tinggi 1 bucket}} = \frac{15}{1,7917} = 8,3721 \text{ bucket}$

Waktu tinggal n bucket = $n \times t = 8,3721 \times 0,4199 = 3,5156 \text{ menit}$

Kecepatan linear :

$$t = \frac{\text{tinggi bucket elevator}}{\text{waktu tinggal n bucket}} = \frac{15}{0,4919} = 35,7209 \text{ ft/menit}$$

daya bucket elevator :

tinggi bucket elevator standar = 25 ft

daya yang dibutuhkan = 1 hp

hp/ft = 0,02

tinggi bucket elevator = 15 ft

Hp = Hp standar + hp/ft x (tinggi-tinggi standar)

$$= 1 + 0,02 \times (25-15)$$

$$= 0,8000$$

Efisiensi = 0,8000

Daya = $\frac{Hf}{\text{efisiensi}} = 1 \text{ hp}$

23. Silo

Fungsi : menyimpan sementara produk fatty acid sulphonate selama 1 jam

Tipe : silo silinder vertical dengan *conical bottom head*

a. Menghitung kecepatan volumetris umpan

Komponen	m (kg/jam)	n (mol/jam)	xi	ρ (kg/m ³)	$\rho \cdot X_i$
ROSO ₃ Na	6055.2497	19.1622	0.9592	857.0500	822.0408
Na ₂ SO ₄	111.0624	0.7821	0.0176	2454.1300	43.1738
ROH	83.6879	0.3911	0.0133	800.6700	10.6138
H ₂ O	63.1313	3.5073	0.0100	985.2200	9.8522
	6313.1313	23.8427	1.0000		885.6806

$$F_v = \frac{\text{laju umpan} \times 1 \text{ jam}}{\rho} = \frac{6313,1313 \text{ kg/jam} \times 1 \text{ jam}}{885,6806 \text{ kg/m}^3} = 7,1280 \text{ m}^3$$

Volume silo 20 %

$$V_s = \frac{120}{100} \times 7,1280 = 8,5536 \text{ m}^3$$

Tinggi dan diameter silo

$$\text{Dipilih } H/D = 1, \text{ sehingga } t = \frac{D}{2 \tan \alpha}$$

Volume cone kerucut :

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot D^2 \cdot t = \frac{\pi}{3} D^2 \left(\frac{D}{2} \cdot \text{tg} \alpha \right) = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot \text{tg} 30}{6} = 0,3020 D^3$$

Volume silo = volume silinder + volume kerucut

$$= \frac{\pi}{4} D^2 H + 0,3020 D^3$$

$$= 0,785 D^3 + 0,3020 D^3 = 1,0880 D^3$$

$$\text{Diameter silo} = \left(\frac{V}{1,0880} \right)^{1/3} + 0,3020 D^3 = 1,9884 \text{ m} = 78,2838$$

Dipakai diameter standar 100 inci = 2,54 m

$$H=D = 2,54 \text{ m} = 100 \text{ inci}$$

$$\text{Tan } 30 = 0,5773$$

$$t = \frac{D}{2 \times \tan 30} = 0,7328 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi hopper} = H + t = 2,54 + 0,7328 = 3,2728 \text{ m}$$

Digunakan bahan stainless stell SA 167 grade 3

$$T_s = \frac{P r_i}{f \times E - 0,6 P} + C$$

P = tekanan operasi = 14,7 psi

F = factor ketegangan = 18750 psi

E = efisiensi penyambungan = 0,85

C = faktor korosi = 0,125 inci

D = diameter hopper = 100 inci

R = jari-jari hopper = 50 inci

$$t_{shell} = \left(\frac{P \times r_i}{F_{all} \cdot E} - (0,4P) \right) + 0,125 = \frac{14,7 \times 50}{(18750 \times 0,85) - (0,4 \times 14,7)} + 0,125$$

$t_{shell} = 0,1711$ inci

dipakai tebal head standar = 3/16

24. Compressor

Fungsi : menaikkan tekanan SO_3 sebanyak 1595,5450 kg/jam dari 1 atm menjadi 1,5 atm

Tipe : *Centrifugal Compressor*

Data termodinamika dan sifat fisis :

$k = C_p/C_v = 1,4$

BM $\text{SO}_3 = 80$ kg/kmol

Kapasitas :

Laju alir massa = 1595,5450 kg/jam = 58,6253 lb/menit

Factor keamanan = 10 %

Over design = 10 %

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas kompresor} = W_c &= (1 + \text{Over design}) \times (1 + F_{\text{keamanan}}) \times \text{laju alir massa} \\ &= (1 + 0,1) \times (1 + 0,1) \times 58,6253 \text{ lb/menit} \\ &= 70,9366 \text{ lb/menit} = 32,1768 \text{ kg/menit} \end{aligned}$$

Tekanan :

$P_{\text{awal}} = 1$ atm

$P_{\text{akhir}} = 1,5$ atm

Rasio tekanan = $P_{\text{akhir}}/P_{\text{awal}} = 1,5$ atm (Luwig, hal 222)

Stage 1

Inlet : $P_{\text{awal}} = 1$ atm

T = 70°C

Discharge : $P_{\text{akhir}} = 1,5$ atm

T = 70°C

Head Blower (W)

$$W = \frac{1545}{BM} \left[\frac{k}{k-1} T_1 (Rc^{\frac{k-1}{k}} - 1) \right] \quad (\text{Wahyudi, 130})$$

Head = W = 2848,88 ft.lbf/lbm

Brake Horse Power (BHP)

$$BHP = \frac{Wc(\text{lb/min}) * \text{Head}}{33000 * \epsilon_c} \quad (\text{Wahyudi, 130})$$

Efisiensi kompresor berkisar antara 70-80%

Diambil : $\epsilon_c = 80\%$

$$\text{Maka, BHP} = \frac{70,9366 * 2848,88}{33000 * 0,8} = 7,6549 \text{ Hp}$$

Power motor :

Dianggap efisiensi motor, $\epsilon_m = 99\%$

$$\text{Power motor} = 7,6549 * (99/100) = 7,7322 \text{ Hp}$$

Dipakai motor standar : 10 Hp

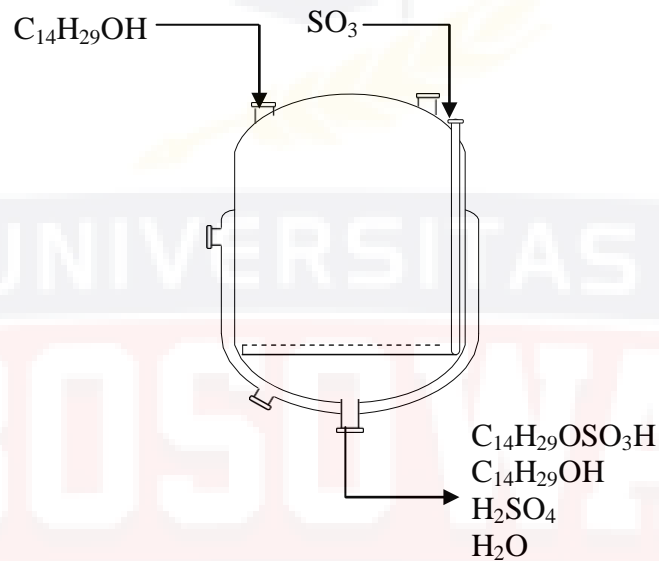
LAMPIRAN D

REAKTOR

Reaktor (R-01)

Fungsi : mereaksikan fatty alkohol ($C_{14}H_{29}OH$) dengan SO_3 membentuk hidrogen alkil sulfonate

Tipe : reaktor gelembung



1. Feed cairan

Komposisi cairan masuk reaktor : $T = 343,15 \text{ }^\circ\text{C}$

$P = 1,5 \text{ atm}$

Komponen	m (kg/jam)	f.massa (x_m)	Mol (kmol/jam)	f.mol (x_n)
ROH	4184,3949	0,9919	19,5532	0,9113
H ₂ O	34,2366	0,0081	1,9020	0,0887
total	4218,6315	1,0000	21,4553	1,0000

Densitas cairan :

$$\rho = A \cdot B \cdot (1 - T/T_c)^n$$

Komponen	A	B	Tc (K)	n
ROH	0,26759	0,26	741	0,31824
H ₂ O	0,3471	0,274	647,13	0,28571

Sumber: Carl L Yaws, "Chemical Properties Handbook"

Komponen	$(1 - T/T_c)^n$	ρ (g/ml)	kg/m ³	volume	$\rho \cdot x_m$
----------	-----------------	---------------	-------------------	--------	------------------

ROH	0,8204	0,8081	808,0640	5,1783	801,5061
H ₂ O	0,8058	0,9852	985,2217	0,0348	7,9956

$$\text{Maka, } \rho_c = 801,5061 + 7,9956 = 809,5017 \text{ kg/m}^3$$

Berat molekul cairan :

Komponen	BM (kg/kmol)	f.mol (x_n)	BMc (kg/kmol)
ROH	214	0,9113	195,0287
H ₂ O	18	0,0887	1,5957

$$\text{Maka, } BM_c = 195,0287 + 1,5957 = 196,6244 \text{ kg/kmol}$$

Kecepatan volumetris cairan :

$$F_c = \frac{\text{massa cairan}}{\rho_c} = \frac{4218,6315 \text{ kg/jam}}{809,5017 \text{ kg/m}^3} = 5,2114 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Viskositas :

$$\mu_c = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2$$

komponen	A	B	C	D
ROH	-26,963	6075,0	3,719E-02	-1,8052E-05
H ₂ O	-10,216	1792,5	1,773E-02	-1,2631E-05

log μ	μ (cp)	$\mu \cdot x_m$ (cp)
1,3767	23,8078	23,6146
-0,3954	0,4023	0,0033

$$\text{Maka, } \mu_c = 23,6146 + 0,0033 = 23,6178 \text{ cp} = 0,0236 \text{ kg/m.s}$$

Surface tension (σ)

$$\sigma_c = A \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$$

Komponen	A	T _c	N
ROH	55,89	741	1,2455
H ₂ O	132,674	647,13	0,955

Komponen	(1-T/T _c) ⁿ	σ	$\sigma \cdot x_m$ (dyne/cm)
ROH	0,4609	25,7588	25,5498
H ₂ O	0,4860	64,4772	0,5233

$$\text{Maka, } \sigma_c = 25,5498 + 0,5233 = 26,0730 \text{ dyne/cm} = 0,0261 \text{ N/m}$$

2. Feed gas

Komposisi gas masuk reaktor : T = 343,15; P = 1,5 atm

Komponen	m (kg/jam)	F.massa (y _m)	Mol (kmol/jam)	f. mol (y _n)
SO ₃	1595,5450	1	19,9443	1
total	1595,5450	1	19,9443	1

Berat molekul gas :

$$\text{SO}_3 = 80 \text{ kg/kmol}$$

Densitas gas masuk :

$$\rho_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{V_{\text{gas}}} = m_{\text{gas}} \frac{P}{n_{\text{gas}} RT} = \frac{BM_{\text{gas}} \cdot P}{R \cdot T}$$

$$\rho_{\text{gas}} = \frac{80 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot 1,5 \text{ atm}}{0,082 \text{ m}^3 \cdot \frac{\text{atm}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot 343,15 \text{ K}} = 4,2646 \text{ kg/m}^3$$

Kecepatan volumetris gas :

$$Q_{\text{gas}} = \frac{m_{\text{gas}}}{\rho_{\text{gas}}} = \frac{1595,5450 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{4,2646 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 374,1327 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

3. Perforated plate

a. Volume cairan

Diketahui : waktu tinggal cairan = 0,5 jam

$V_c = \text{kecepatan volumetris cairan} \times \text{waktu tinggal}$

$$V_c = 5,2114 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 0,5 \text{ jam} = 2,6057 \text{ m}^3$$

b. Diameter reaktor (dr) dan luas plate (ar)

$$dr = \sqrt{\frac{4 \cdot V_c}{\pi}} \text{ dan } ar = \frac{\pi}{4} dr^2$$

$$dr = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,6057 \text{ m}^3}{3,14}} = 1,4917 \text{ m}$$

$$ar = \frac{3,14}{4} (1,4917 \text{ m})^2 = 1,7468 \text{ m}^2$$

c. Kecepatan *superficial gas* (U_{sg})

$$U_{\text{sg}} = \frac{q_g}{ar \cdot 3600} = \frac{374,1327 \text{ m}^3/\text{jam}}{1,7468 \text{ m}^2} = 0,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

d. Diameter *orifice* (do)

do biasanya berukuran 3-12 mm

dipilih do = 3 mm = 0,03 m

e. Diameter *bubble*

$$dp = \left(\frac{6 \cdot do \cdot \sigma \cdot gc}{g \cdot (\rho_c - \rho_g)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Keterangan :

dp = diameter *bubble* (m)

do = diameter *oriface* (m)

σ = surface tension (N/m) = 0,0261 N/m

gc = konstanta garvisional = 1kg.m/N.s²

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s²

ρ_c dan ρ_g = densitas cairan dan gas (kg/m³) = 809,5017 dan 4,2646 kg/m³

$$dp = \left(\frac{6 \cdot 0,03 \cdot 0,0261 \cdot 1}{9,8 \cdot (809,5017 - 4,2646)} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,0039 \text{ m} = 3,9020 \text{ mm}$$

f. Kecepatan terminal gas (U_t)

$$u_t = \sqrt{\frac{2 \cdot gc \cdot \sigma}{db \cdot \rho_c}} + \sqrt{\frac{g \cdot db}{2}}$$

$$u_t = 0,1888 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

g. Kecepatan gas di oriface (Q_{go})

$$Q_{go} = \frac{\pi}{4} dp^2 \cdot u_t = \frac{3,14}{4} (0,0039 \text{ m})^2 \cdot 0,1888 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,2567 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

h. Waktu tinggal gas (t_{gas})

$$t_{gas} = \frac{dp}{U_t} = \frac{0,0039 \text{ m}}{0,1888 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,02 \text{ s} = 5,74 \times 10^{-6} \text{ jam}$$

i. Volume gas (V_g)

$$V_{gas} = t_{gas} \times Q_{gas}$$

$$V_{gas} = 5,74 \times 10^{-6} \text{ jam} \times 374,1327 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} = 0,0021 \text{ m}^3$$

j. *Hold up* gas (s)

$$s = \frac{V_g}{V_g + V_c} = \frac{0,021 \text{ m}^3}{(0,021 + 2,6057) \text{ m}^3} = 0,0008$$

k. Jumlah oriface (no)

$$n_o = \frac{qg}{Qg0.3600} = \frac{374,1327 \frac{m^3}{jam}}{2,2567 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} \cdot \frac{3600s}{jam}} = 46053 \text{ lubang/s}$$

l. Luas oriface (ao)

$$a_o = \frac{\pi}{4} d_o^2 = 7,065 \times 10^{-6} m^2$$

m. Jumlah gelembung gas dalam reaktor

$$n_b = \frac{qg}{vg} = \frac{374,1327 \frac{m^3}{jam}}{0,0021 m^3} = 174193 \text{ buah/jam}$$

n. Dimensi reaktor

1. Tipe

Jenis reaktor = tangki tertutup, silinder tegak

Jenis head = *torispherical head*

2. Kondisi operasi

T.operasi = 70°C

P.operasi = 1,5 atm = 22,05 psi

Over desain = 20%

$P_{\text{desain}} = 1,2 \times 22,05 \text{ psi} = 26,46 \text{ psi}$

3. Pemilihan material

Material :

Spesifikasi : *allowable stress* (f) = 13250 psi (Tabel 13.1 Brownell, 1959)

4. Diameter dan tinggi reaktor

$$\text{volume reaktor} = Vg + Vc = 0,021 + 2,6057 = 2,6078 m^3$$

Over desain = 20%

$$\text{Volume desain} = 1,2 \times 2,6078 m^3 = 3,1294 m^3$$

Volume reaktor (Vt) = volume shell + 2. Volume head

$$\text{Volume reaktor (Vt)} = \frac{1}{4} \pi dr^2 H + 2 \cdot 0,0049 dr^3$$

dr = H, maka

$$\text{Volume reaktor (Vt)} = \frac{1}{4} \pi dr^3 + 2 \cdot 0,0049 dr^3$$

$$dr = H = \sqrt[3]{\frac{Vt}{\frac{1}{4}\pi + 2.0,0049}}$$

$$dr = H = \sqrt[3]{\frac{3,1294 \text{ m}^3}{\frac{1}{4}\pi + 2.0,0049}} = 1,5791 \text{ m} = 62,1680 \text{ in}$$

5. Tebal shell

$$ts = \frac{p \cdot ri}{f \cdot E - 0,6 \cdot p} + c = \frac{26,46 \cdot 31,0840}{13250 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 26,46} = 0,122 \text{ in}$$

Dipilih tebal standar 3/16 in

6. Dimensi head

$$OD_{shell} = ID + 2 \cdot ts = 62,1680 \text{ in} + 2 \cdot 0,1875 \text{ in} = 62,5430 \text{ in}$$

Dari tabel 5.7 Brownell untuk OD 62,5430 in dan $ts = 3/16$ in, diperoleh :

$$icr = 3,6250 \text{ in}$$

$$r = 60 \text{ in}$$

jika 6% dari $icr < icr$, maka berlaku rumus :

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right) \quad \text{Persamaan 7.76 Brownell, 1959}$$

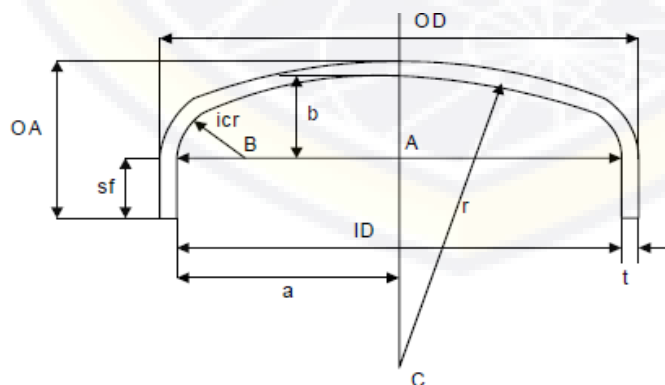
$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{60}{3,6250}} \right) = 1,7671$$

$$\text{Tebal head} = th = \frac{p \cdot r \cdot W}{2 \cdot f \cdot E - 0,2 p} + c = 0,1738 \text{ in}$$

Dipilih tebal standar = 0,1875 in = 3/16 in (Tabel 5.6 Brownell, 1959)

$$OD_{head} = ID + 2 \cdot th = 62,1680 \text{ in} + 2 \cdot 0,1875 \text{ in} = 62,5430 \text{ in}$$

7. Tinggi reaktor total



Dari tabel 5.8 Brownell and Young untuk $t_{head} = 3/16$ in, maka:

(Standar straight flange) $sf = 1,5-4,5$

dipilih $sf = 2$ in

dari persamaan untuk fig 5.8 Brownell and Young, 1959 :

$$a = \frac{ID}{2} = 31,0840 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = 31,0840 - 3,6250 = 27,4590 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = 60 - 3,6250 = 56,3750 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{BC^2 - AB^2} = \sqrt{56,3750^2 - 27,4590^2} = 49,2356 \text{ in}$$

$$b = r - AC = 60 - 49,2356 = 10,7644 \text{ in}$$

$$OA = sf + b + t_{\text{head}} = 2 + 10,7644 + 0,1875 = 13,9519 \text{ in} = 0,3290 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi reaktor total} &= \text{tinggi silinder} + 2 \cdot t_{\text{head}} \\ &= 62,1680 + 2 \cdot 0,1875 \\ &= 62,5430 \text{ in} \sim 2 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Jaket pendingin

Beban panas jaket pendingin :

$$Q_H = 2815575,5699 \text{ btu/jam}$$

Medium pendingin :

Dipilih : air pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm

$$T_{c1} = \text{suhu air masuk jaket} = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

$$T_{c2} = \text{suhu air keluar jaket} = 45^\circ\text{C} = 113^\circ\text{F}$$

$$T_{c,\text{avg}} = \text{suhu air rata-rata} = \frac{1}{2} (T_{c1} + T_{c2}) = 37,5^\circ\text{C} = 99,5^\circ\text{F}$$

Sifat fisis air pada suhu rata-rata :

$$\text{Berat molekul} = BM_c = 18,015 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Konduktivitas panas} = k_c = 1,2226 \text{ W/m.K} = 0,7064 \text{ btu/jam. ft}^2(\text{°F/ft})$$

$$\text{Densitas} = \rho_c = 991,6749 \text{ kg/m}^3 = 61,9083 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Kapasitas panas} = C_{p,c} = 75252,8154 \text{ J/kmol.K} = 0,9977 \text{ Btu/lb F}$$

$$\text{Viskositas} = \mu_c = 0,0007 \text{ Pa.dtk} = 1,7193 \text{ lb/ft.jam}$$

Massa air pendingin :

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$m = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta T} = \frac{2815575,5699}{0,9977 \cdot (113-86)} = 104519,4139 \text{ lb/jam} = 47410,0061 \text{ kg/jam}$$

Beda suhu logaritmik :

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_R - T_{c1}) - (T_R - T_{c2})}{\ln \frac{(T_R - T_{c1})}{(T_R - T_{c2})}} = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{\ln \frac{(T_R - T_{c1})}{(T_R - T_{c2})}}$$

$$\Delta T_{lm} = 31,9146 \text{ } ^\circ\text{C} = 89,4464 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Dari tabel 8, hal 840 Kern dapat diketahui fluida panas ini merupakan light organic, sedangkan fluida dingin air.

Dalam system cooler maka nilai $U_D = 75-150$, diambil $U_D = 150 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{ } ^\circ\text{F}$

- a. Menghitung luas permukaan panas yang dibutuhkan (A_j)

$$A_j = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}}$$

$$A_j = \frac{2815575,5699}{150 \times 89,4464} = 209,8521 \text{ ft}^2$$

Over desain 20%,

$$A_j = 1,2 \times 209,8521 = 251,8225 \text{ ft}^2 = 36262,4357 \text{ in}^2$$

- b. Menghitung luas penampang shell tangki (AT)

$$AT = \pi \times D \times L$$

$$D = 1,5791 \text{ m} = 62,1682 \text{ in}$$

$$L = 1,5935 \text{ m} = 62,7305 \text{ in}$$

$$AT = 3,14 \times 1,5791 \times 1,5935 = 7,9043 \text{ m}^2 = 85,0813 \text{ ft}^2$$

- c. Menghitung luas permukaan reaktor (A_r)

$$\begin{aligned} A_r &= AT + \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 7,9043 \text{ m}^2 + \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1,5791^2 \\ &= 9,8627 \text{ m}^2 = 105,8946 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

- d. Perancangan ukuran jaket

$$D_j = D_r + 2 \times L$$

$$= D + (2 \times t_s) + (2 \times L)$$

Dimana : D_j = diameter jaket pendingin (in)

$$D_r = \text{diameter luar reaktor (in)} = 62,36 \text{ in}$$

$$t_s = \text{tebal shell (in)} = 0,1875 \text{ in}$$

L = jarak antara dinding reaktor dan dinding jaket dipilih 2,5 in

$$D_j = 67,7305 \text{ in} = 1,7204 \text{ m}$$

$$\text{Lebar jaket dinding reaktor} = D_j - D_r$$

$$= 67,7305 - 62,36 = 1,0968 \text{ m}$$

- e. Menghitung flow area

$$A_f = \frac{\Pi(D_j - D_r)^2}{4} = 3,14 \times (1,0968)^2 / 4 = 0,1568 \text{ m}^2 = 24,3002 \text{ in}^2$$

f. Menghitung tebal dinding shell jaket (t_j)

$$t_j = \frac{P \times D_j}{(2 \times f \times E) - P} + c =$$

dimana :

$$P = 14,7 \text{ psi}$$

$$D_j = 67,7305 \text{ in} = 1,7204 \text{ m}$$

$$f = 13250 \text{ psi}$$

$$E = 0,8$$

$$\text{Sehingga, } t_j = 0,1742 \text{ in} = 0,4425 \text{ cm}$$

Dipilih tebal standar 0,24 in

g. Menghitung tinggi shell jaket

$$A = \left[(\Pi D L_j) + \left(\frac{\Pi D^2}{4} \right) \right]$$

$$L_j = \frac{A - \left(\frac{\Pi D^2}{4} \right)}{\Pi D}$$

$$L_j = \frac{36362,4357 - \left(\frac{3,14}{4} \right) 62,1682^2}{3,14 \times 62,1682}$$

$$L_j = 170,1268 \text{ in} = 4,3212 \text{ m}$$

5. Perancangan pipa

a. Perancangan pipa masuk gas ke dalam reaktor

Diketahui :

$$\text{Laju alir massa gas (G) : } 1595,5450 \text{ kg/jam} = 0,4432 \text{ kg/detik} = 0,9771$$

lbm/dtk

$$\rho_{\text{gas}} = 4,2646 \text{ kg/m}^3 = 332,0248 \text{ lbm/ft}^3$$

Diasumsikan aliran masuk umpan gas turbulen

Diameter pipa optimum :

$$d_{\text{opt}} = 226 \cdot G^{0,5} \cdot \rho^{-0,35}$$

$$d_{\text{opt}} = 226 \cdot 0,4432^{0,5} \cdot 4,2646^{-0,35}$$

$$d_{\text{opt}} = 90,5634 \text{ mm} = 3,5655 \text{ in}$$

Dari tabel 13, hal:962, Peter dan Timmerhaus dipilih *standart steel pipe dimensions*

Sc number : 80

$$\text{Nps} : 4 \text{ in} = 0,3333 \text{ ft}$$

$$\text{ID} : 3,8260 \text{ in} = 0,3188 \text{ ft}$$

$$\text{OD} : 4,5 \text{ in} = 0,3750 \text{ ft}$$

$$\text{At} : 11,5 \text{ in}^2 = 0,0799 \text{ ft}^2$$

Cek jenis aliran :

$$Q = \frac{\text{rate massa (G)}}{\rho_{\text{gas}}} = \frac{0,9771}{332,0248} = 0,0029 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

Kecepatan aliran :

$$V = \frac{Q}{\text{at}} = \frac{0,0029}{0,0799} = 0,0368 \text{ ft}^2/\text{detik}$$

$$\mu = 0,000012 \text{ lbm}/\text{ft}\cdot\text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot \text{ID}}{\mu} = \frac{332,0248 \times 0,0368 \times 0,3188}{0,000012} = 323328,5236$$

b. Perancangan pipa masuk cairan ke dalam reaktor

Diketahui :

$$\text{Laju alir massa (G)} : 4218,6315 \text{ kg}/\text{jam} = 1,1718 \text{ kg}/\text{detik} = 2,5835 \text{ lbm}/\text{dtk}$$

$$\rho_{\text{gas}} = 809,5017 \text{ kg}/\text{m}^3 = 63023,8384 \text{ lbm}/\text{ft}^3$$

Diasumsikan aliran masuk umpan gas turbulen

Diameter pipa optimum :

$$d_{\text{opt}} = 226 \cdot G^{0,5} \cdot \rho^{-0,35}$$

$$d_{\text{opt}} = 226 \cdot 2,5835^{0,5} \cdot 63023,8384^{-0,35}$$

$$d_{\text{opt}} = 7,5925 \text{ mm} = 0,2989 \text{ in}$$

Dari tabel 13, hal:962, Peter dan Timmerhaus dipilih *standart steel pipe dimensions*

Sc number : 80

$$\text{Nps} : 1/8 \text{ in} = 0,0104 \text{ ft}$$

$$\text{ID} : 0,215 \text{ in} = 0,0179 \text{ ft}$$

$$\text{OD} : 0,405 \text{ in} = 0,0338 \text{ ft}$$

$$\text{At} : 0,036 \text{ in}^2 = 0,0003 \text{ ft}^2$$

Cek jenis aliran :

$$Q = \frac{\text{rate massa (G)}}{\rho_{\text{gas}}} = \frac{2,5835}{63023,8384} = 4,1 \times 10^{-5} \text{ ft}^3/\text{detik}$$

Kecepatan aliran :

$$V = \frac{Q}{at} = \frac{4,1 \times 10^{-5}}{0,0003} = 0,164 \text{ ft}^2/\text{detik}$$

$$\mu = 1,4638 \times 10^{-6} \text{ lbm/ft.s}$$

$$Re = \frac{\rho.V.ID}{\mu} = \frac{63023,8384 \times 0,164 \times 0,0179}{1,4638 \times 10^{-6}} = 1,26 \times 10^8$$

c. Perancangan pipa pengeluaran produk

Diketahui :

Laju alir massa gas (G) : 5814,1765 kg/jam = 1,6150 kg/detik = 3,5606 lbm/dtk

$$\rho_{\text{gas}} = 0,8331 \text{ kg/m}^3 = 332,0248 \text{ lbm/ft}^3$$

Diasumsikan aliran masuk umpan gas turbulen

Diameter pipa optimum :

$$d_{\text{opt}} = 226.G^{0,5}.\rho^{-0,35}$$

$$d_{\text{opt}} = 226.3,5606^{0,5}.68,7499^{-0,35}$$

$$d_{\text{opt}} = 97,0115 \text{ mm} = 3,8193 \text{ in}$$

Dari tabel 13, hal:962, Peter dan Timmerhaus dipilih *standart steel pipe dimensions* : Sc number : 80

$$\text{Nps} : 4 \text{ in} = 0,3333 \text{ ft}$$

$$\text{ID} : 3,8260 \text{ in} = 0,3188 \text{ ft}$$

$$\text{OD} : 4,5 \text{ in} = 0,3750 \text{ ft}$$

$$\text{At} : 11,5 \text{ in}^2 = 0,0799 \text{ ft}^2$$

Cek jenis aliran :

$$Q = \frac{\text{rate massa (G)}}{\rho_{\text{gas}}} = \frac{3,5606}{68,7499} = 0,0518 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

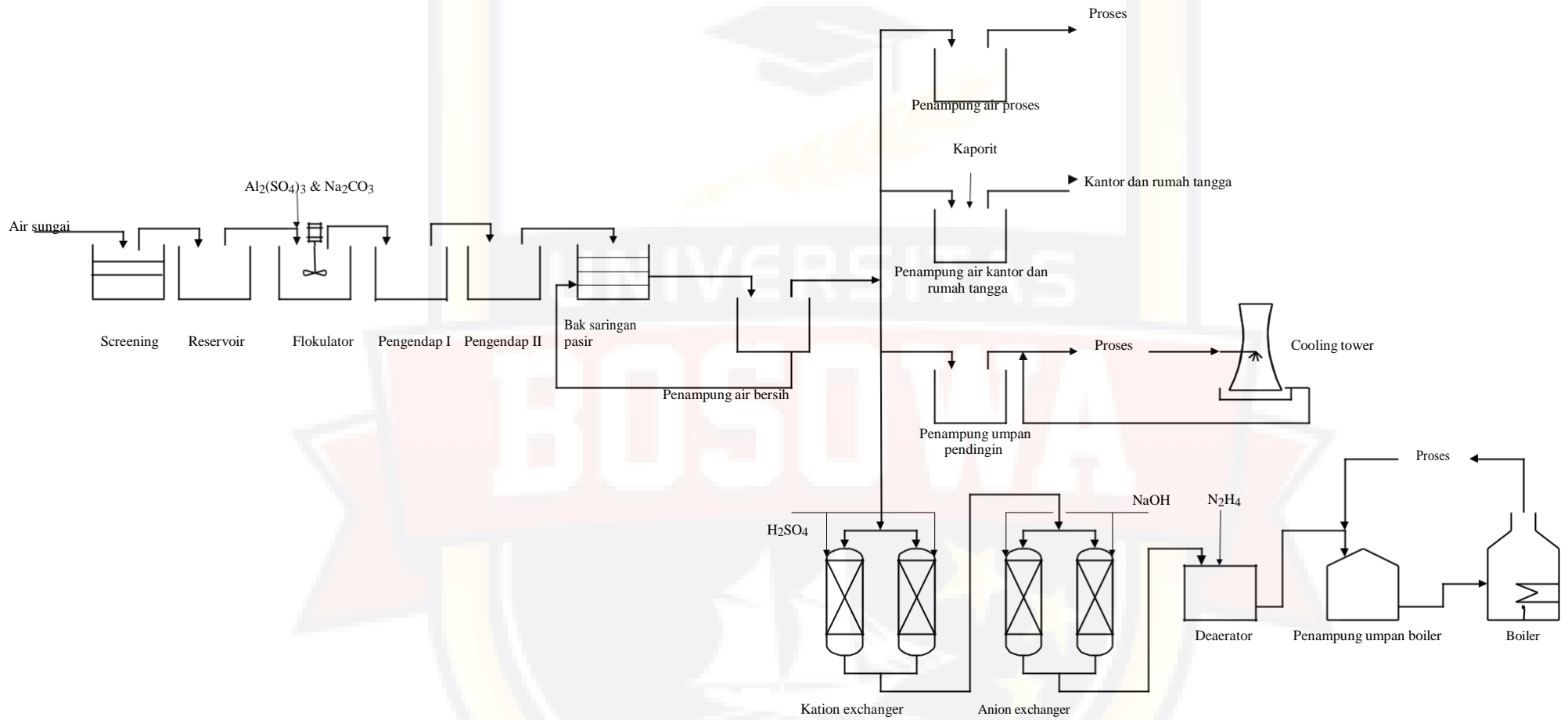
Kecepatan aliran :

$$V = \frac{Q}{at} = \frac{0,0518}{0,0799} = 0,6484 \text{ ft}^2/\text{detik}$$

$$\mu = 0,0005 \text{ lbm/ft.s}$$

$$Re = \frac{\rho.V.ID}{\mu} = \frac{68,7499 \times 0,6484 \times 0,3188}{0,0005} = 26644,2360$$

LAMPIRAN D DIAGRAM ALIR PENGOLAHAN AIR



LAMPIRAN F

EVALUASI EKONOMI

1. Perhitungan biaya produksi (*Production Cost*)
 - 1.1 Modal Investasi (*Capital Investment*), meliputi :
 - 1.1.1 Modal Tetap (*Fixed Capital*)
 - 1.1.2 Modal kerja (*Working Capital*)
 - 1.2 Biaya Manufaktur (*Manufacturing Cost*)
 - 1.2.1 Biaya Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
 - 1.2.2 Biaya Tak Langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
 - 1.2.3 Biaya Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
 - 1.3 Pengeluaran Umum (*General Expense*)
 - 1.3.1 administrasi
 - 1.3.2 Penjualan (*Sales*)
 - 1.3.3 Riset dan Paten (*Research and Patent*)
 - 1.3.4 Keuangan (*Finance*)
2. Analisis Kelayakan
 - 2.1 Keuntungan / *Profit On Sales* (POS)
 - 2.2 *Return On Investment* (ROI)
 - 2.3 *Pay Out Time* (POT)
 - 2.4 *Break Event Point* (BEP)
 - 2.5 *Shut Down Point* (SDP)
 - 2.6 *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR)

Basis Perhitungan

Kapasitas produksi : 50000 ton/tahun

Satu tahun operasi : 330 hari

Tahun pembangunan dan pemesanan alat : 2022

Tahun operasi : 2023

Harga bahan baku :

- Fatty Alcohol = 29.000/kg

- Sulfur trioxide = 15.000/kg
- Natrium hidroksida = 28.200/kg

Asumsi 1\$ = 14.000 (per tanggal 1 Januari 2021)

1. Perhitungan biaya produksi (*Production Cost*)

1.1 Modal Investasi (*Capital Investment*), meliputi :

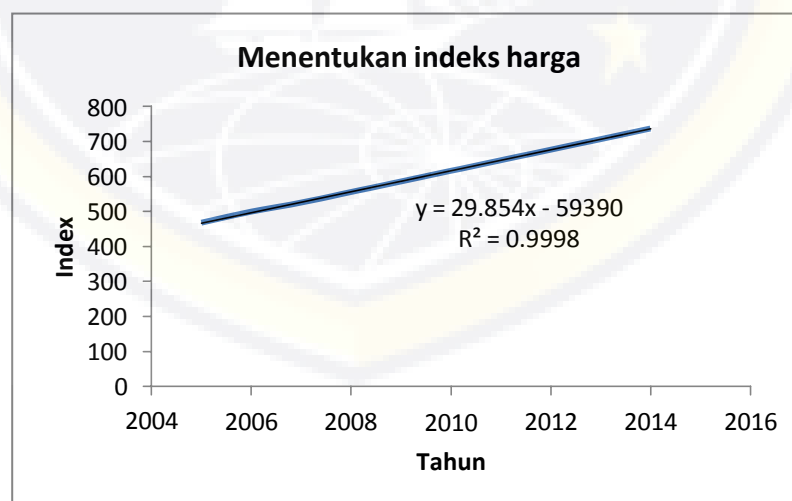
1.1.1 Modal Tetap (*Fixed Capital*)

Kesulitan paling besar dalam menentukan harga alat adalah kenyataan bahwa suatu data harga alat akan selalu berubah karena adanya perubahan kondisi ekonomi yang terus terjadi. Untuk memperkirakan harga alat, diperlukan indeks yang dapat digunakan untuk mengkonversi harga alat pada masa yang akan datang.

Harga indeks tahun 2022 dicari dengan menggunakan metode least square, dengan data indeks dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2014.

Tahun	Indeks
2005	468,2
2006	499,6
2007	525,4
2008	555,6
2009	585,8
2010	616,1
2011	646,3
2012	676,5
2013	706,7
2014	736,9

(Sumber : : www.toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices)



Dari perhitungan di atas di dapat persamaan $y = 10,914x - 21386$,

dimana: $y =$ indeks harga tahun ke- i

$x =$ tahun ke i

Maka nilai indeks untuk tahun 2022 :

$$\begin{aligned} y_{2022} &= (10,914 \times 2022) - 21386 \\ &= 682,108 \end{aligned}$$

Harga peralatan dan yang lainnya dapat dilihat dari www.matche.com. Harga di situs tersebut adalah harga tahun 2014, maka perkiraan harga alat tersebut pada tahun 2022 digunakan persamaan :

$$E_x = E_y \cdot \left(\frac{N_x}{N_y} \right) \quad (\text{Aries dan Newton, 1955})$$

Dimana :

$E_x =$ harga pembelian alat tahun 2022

$E_y =$ harga pembelian alat tahun 2014

$N_x =$ Indeks harga alat tahun 2022 = 682,108

$N_y =$ indeks harga alat tahun 2014 = 576,1

Sehingga untuk estimasi data tahun 2022 :

$$E_x = E_y \cdot \left(\frac{682,108}{576,1} \right)$$

Dari perhitungan di dapat harga alat 2022 yang kemudian di buat tabel.

Harga alat yang di impor dari luar negeri dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel Harga Peralatan Proses

Nama Alat	Jumlah	Harga 2014	Harga 2022	Harga Total	Harga Total
		US \$	US\$	US\$	Rp
Tangki C14H300	4	280.609.00	332.243.78	1.328.975.13	18.605.651.885,49
Tangki SO3	2	184.053.00	217.920.54	435.841.08	6.101.775.150,62
Tangki NaOH	1	247.838.00	293.442.60	293.442.60	4.108.196.415,65
R. Bubble	1	693.210.00	820.767.38	820.767.38	11.490.743.297,21
Netralizer	1	756.344.00	895.518.65	895.518.65	12.537.261.072,95
Spray Dryer	1	157.587.00	186.584.54	186.584.54	2.612.183.557,62
Cyclone	1	119.00	140.90	140.90	1.972.560,19
Heat Exchanger 1	1	12.408.00	14.691.19	14.691.19	205.676.696,57
Heat Exchanger 2	1	4.032.00	4.773.93	4.773.93	66.834.980,70
Heat Exchanger 3	1	4.735.00	5.606.29	5.606.29	78.488.004,37
Heat Exchanger 4	1	84.495.00	100.042.90	100.042.90	1.400.600.618,71
pompa 1	1	6.594.00	7.807.36	7.807.36	109.303.041,36

Pompa 2	1	3.568.00	4.224.55	4.224.55	59.143.653,56
Pompa 3	1	6.594.00	7.807.36	7.807.36	109.303.041,36
Pompa 4	1	2.584.00	3.059.48	3.059.48	42.832.735,65
Pompa 5	1	5.728.00	6.782.01	6.782.01	94.948.107,51
Pompa 6	1	3.229.00	3.823.17	3.823.17	53.524.343,43
pompa 7	1	4.600.00	5.446.44	5.446.44	76.250.226,00
Pompa 8	1	2.001.00	2.369.20	2.369.20	33.168.848,31
Blower	1	2.922.00	3.459.68	3.459.68	48.435.469,65
Compresor	1	50.397.00	59.670.54	59.670.54	835.387.530,40
Screw Conveyor	1	12.632.00	14.956.41	14.956.41	209.389.751,06
Bucket Elevator	1	7.296.00	8.638.53	8.638.53	120.939.488,89
Silo	1	19.515.00	23.105.95	23.105.95	323.483.295,75
Total					59.325.493.773,03

Total harga peralatan proses pada Tahun 2022 adalah Rp 59.325.493.773,03

Diperkirakan biaya impor. pengangkutan. pembongkaran dan transportasi alat sampai dilokasi 25% dari harga alat.

Jadi. harga alat proses tahun 2022 = 1.25 x Rp 59.325.493.773,03

= Rp 74.156.867.216,28

Tabel harga peralatan utilitas

Nama Alat	Jumlah	Harga 2014	Harga 2022	Harga Total	Harga Total
		US \$	US\$	US\$	Rp
Tangki Pengendap	2	18.900.0	22377.7837	44755.5674	626.577.944,11
Kation Exchanger	2	20.600.0	24390.6002	48781.2005	682.936.806,80
Anion Exchanger	2	19.400.0	22969.7886	45939.5772	643.154.080,19
Cooling Water	1	105.600.0	125031.4265	125031.4265	1.750.439.970,84
Pompa Air Sungai	2	6.100.0	7222.4593	14444.9186	202.228.860,27
Pompa Distribusi Air	2	6.100.0	7222.4593	14444.9186	202.228.860,27
Pompa Pengendap	2	6.100.0	7222.4593	14444.9186	202.228.860,27
Pompa Boiler	2	3.500.0	4144.0340	8288.0680	116.032.952,61
Pompa Air Pendingin	2	9.600.0	11366.4933	22732.9866	318.261.812,88
Pompa Cooling	2	9.600.0	11366.4933	22732.9866	318.261.812,88
Pompa Air Sanitasi	2	3.700.0	4380.8360	8761.6719	122.663.407,05
Boiler	1	1.681.600.0	1991030.7461	1991030.7461	27.874.430.444,71
Generator	1	77.200.0	91405.5504	91405.5504	1.279.677.705,95
Tangki Bahan Bakar	1	26.100.0	30902.6537	30902.6537	432.637.151,88
Tangki Saringan	2	38.100.0	45110.7704	90221.5407	1.263.101.569,87

Tangki Umpan Boiler	2	315.900.0	374028.6707	748057.3414	10.472.802.780,07
Pompa Bahan Bakar	2	1.400.0	1657.6136	3315.2272	46.413.181,04
Total					46.554.078.201,70

Total harga peralatan utilitas tahun 2022 adalah Rp 46.554.078.201,70

Diperkirakan biaya impor. pengangkutan. pembongkaran dan transportasi alat sampai dilokasi 25% dari harga alat.

$$\begin{aligned} \text{Jadi. harga alat} &= 1.25 \times \text{Rp } 46.554.078.201,70 \\ &= \text{Rp } 58.192.597.752,13 \end{aligned}$$

Harga peralatan yang dibuat di lokasi pabrik

Nama Alat	Jumlah	Harga/unit (Rp)	Harga total (Rp)
Bak air sungai	1	92.500	92.500
Bak air bersih	1	92.500	92.500
Bak air pendingin	1	151.500	151.500
Bak air sanitasi	1	46.890	46.890
Total			383.390

Harga pembelian alat total :

$$\begin{aligned} &= \text{Rp } 74.156.867.216,28 + \text{Rp } 58.192.597.752,13 + \text{Rp } 383.390 \\ &= \text{Rp } 132.349.848.358,41 \end{aligned}$$

1.1.2 Perkiraan Modal Investasi (*Capital Investment*)

Modal investasi dihitung berdasarkan harga peralatan :

a. Modal tetap (*fixed capital investmen*)

1. Biaya langsung (<i>direct cost</i>)		Harga
A. Harga Peralatan	100%	Rp 132.349.848.358
B. Pemasangan Alat	47% (a)	Rp 62.204.428.728
C. Instrumentasi dan Kontrol	36% (a)	Rp 47.645.945.409
D. Perpipaan	68% (a)	Rp 89.997.896.884
E. Instalasi Listrik	11% (a)	Rp 14.558.483.319
F. Gudang Dan Perawatan	18% (a)	Rp 23.822.972.705
G. Fasilitas Pelayanan	70% (a)	Rp 92.644.893.851
H. Halaman	10% (a)	Rp 13.234.984.836
G. Tanah	6% (a)	Rp 7.940.990.902
Total		Rp 484.400.444.992

2. Biaya langsung (<i>indirect cost</i>)			
A. Rekayasa Dan Supervisi	33%	(a)	Rp 43.675.449.958
B. Biaya Konstruksi	41%	(a)	Rp 54.263.437.827
			Total
3. Biaya kontraktor	22%(1+2)		Rp
128.114.653.211			
4. Biaya tak terduga	11%(1+2)		Rp
256.229.306.422			

Total modal tetap (FCI) = (1)+(2)+(3)+(4)

= Rp 484.400.444.992 + Rp 97.938.887.785 + 128.114.653.211 + Rp

256.229.306.422

= Rp 966.683.292.410

b. Modal Kerja (*working capital investment*)

WCI = 15% TCI

c. Modal total (*total capital investment*)

TCI = FCI + 0.15 TCI

(1-0.15) TCI = FCI

0.85 TCI = FCI

TCI = Rp 966.683.292.410 / 0.85 = Rp 1.137.274.461.657

WCI = Rp 170.591.169.249

Investasi ini direncanakan 40% modal sendiri dan 60% modal pinjamandari bank dengan masa konstruksi 2 (dua)tahun. Dimana 60% dari total investasi dikeluarkan pada tahun pertama.

a. Investasi pada tahun pertama (-1) konstruksi :

Investasi tahun pertama adalah 60% TCI

= 60% x Rp 1.137.274.461.657 = Rp 682.364.676.995

Investasi ini terdiri dari 40% modal sendiri dan sisanya modal pinjaman.

1. Modal sendiri :

= 40% x TCI = 40% x Rp 1.137.274.461.657 = Rp 454.909.784.663

2. Modal pinjaman = investasi tahun pertama – modal sendiri

= Rp 682.364.676.995 - Rp 454.909.784.663

= Rp 227.454.892.332

Bunga pinjaman akhir tahun pertama sebesar 15%/tahun :

= 15 % x modal pinjaman

= 15 % x Rp 227.454.892.332 = Rp 34,118,233,850

Total investasi tahun pertama konstruksi :
 = investasi tahun pertama + bunga pinjaman
 = Rp 682.364.676.995 + Rp 34.118.233.850
 = Rp 716.482.910.845

b. Investasi pada akhir tahun masa konstruksi

Pada akhir masa konstruksi di keluarkan biaya 40% dari total investasi (TCI)
 = 40% x TCI
 = 40% x Rp 1.137.274.461.657 = Rp 454.909.784.663

Bunga pada akhir masa konstruksi (tahun 0)

= 0.1 (Rp 454.909.784.663 + Rp 227.454.892.332 + Rp 34.118.233.850)
 = Rp 71.648.291.084

Total investasi pada akhir masa konstruksi :

= modal pinjaman + bunga pinjaman
 = Rp 227.454.892.332 + Rp 71.648.291.084
 = Rp 299.103.183.416

Jadi, total investasi yang dikeluarkan sebesar :

= investasi tahun pertama + investasi akhir konstruksi
 = Rp 682.364.676.995 + Rp 299.103.183.416 = Rp1.015.586.094.261

4.1.1 Perhitungan biaya produksi dan biaya operasi

a. Biaya bahan baku

Bahan	Kebutuhan (kg/jam)	Harga/kg (Rp)	Harga/tahun (Rp)
fatty alcohol	4186	29000	961456413375
SO ₃	1628	15000	193419127130
NaOH	1658	28200	370330121387
		Total	1525205661892

b. Biaya Utilitas

Komponen	Kebutuhan	Harga (Rp)	Harga/tahun (Rp)
bahan bakar solar	1312.9152 liter/jam	5150	53551185178
koagulan	0.85kg/jam	2000	13464000
Listrik	784.916 kWh	2000	12433069440
kaporit	8.08 kg/jam	30000	1919808000
HCl 37%	13.15 liter/bln	32500	5128500
NaOH	695.73kg/bln	28200	235435032
		Total	68158090150

c. Gaji karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan- Org	Gaji/Th (Rp)
1	Direktur utama	1	30.000.000	360.000.000
2	Direktur	2	20.000.000	480.000.000
3	Staff ahli	2	15.000.000	360.000.000
4	Kepala bagian	5	10.000.000	600.000.000
5	Kepala seksi	13	9.000.000	1.404.000.000
6	Kepala regu	12	12.000.000	1.728.000.000
7	Sekretaris	3	3.000.000	108.000.000
8	Karyawan D3	56	8.000.000	5.376.000.000
9	Karyawan SMA	28	2.000.000	672.000.000
10	SATPAM dan K3	15	2.000.000	360.000.000
11	Sopir	5	2.500.000	150.000.000
Total		142	-	11.5980.00.000

I. *Manufacturing Cost*a. Biaya produksi langsung (*direct production cost*)

1. Bahan Baku				Rp 1.525.205.661.892
2. Gaji Karyawan				Rp 11.598.000.000
3. Utilitas				Rp 68.158.090.150
4. Pengawasan (2)	15%	(2)		Rp 1.739.700.000
5. Pemeliharaan dan Pebaikan	2%	FCI		Rp 19.333.665.848
6. Operasi	0.50%	FCI		Rp 4.833.416.462
7. Laboratorium	10%	(2)		Rp 1.159.800.000
8. Paten Royalty	2%	TPC		Rp -
Total				Rp1.632.028.334.352 + 0,02 TPC

b. Biaya tetap (*fixed charges*)

1. Depresiasi 10% FCI	10%	FCI	Rp 96.668.329.241
2. Pajak	3%	FCI	Rp 29.000.498.772
3. Asuransi	0,50%	FCI	Rp 4.833.416.462

Total Rp 130.502.244.475 + 0.05 TPC

c. Biaya pengeluaran tambahan pabrik

(*Plant overhead cost*) 5 % TPC = 0.05 TPC

Jadi *total manufacturing cost* :

$$\begin{aligned}
 &= (a) + (b) + (c) \\
 &= \text{Rp}1.632.028.334.352 + 0,02 \text{ TPC} + \text{Rp} 130.502.244.475 + 0,05 \text{ TPC} \\
 &= \text{Rp} 1.762.530.578.827 + 0,07 \text{ TPC}
 \end{aligned}$$

II. Pengeluaran Umum (*general expenses*)

a. Biaya administrasi	3% TPC	Rp.	0.03 TPC
b. Biaya distribusi	3% TPC	Rp.	0.03 TPC
c. Riset dan pengembangan	3% TPC	Rp.	0.03 TPC
d. Pembiayaan	3% TCI	Rp.	34.118.233.850
Total		Rp.	34.118.233.850 + 0,1 TPC

Maka total biaya produksi (*total product cost*)

TPC = *manufacturing cost* + *general expenses*

$$= \text{Rp} 1.762.530.578.827 + 0.07 \text{ TPC} + \text{Rp} 34.118.233.850 + 0.1 \text{ TPC}$$

$$\text{TPC} - 0.17 \text{ TPC} = \text{Rp} 1.796.648.812.677$$

$$\text{TPC} = \frac{\text{Rp}1.796.648.812.677}{0.83}$$

$$= \text{Rp} 2.164.637.123.707$$

3.1.1 Harga penjualan produk

Produk total triaodium phospat = 50.000 ton/tahun = 500.000.000 kg/tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Harga dasar} &= \frac{\text{TPC}}{\text{Produksi Total}} \\
 &= \frac{\text{Rp} 2.164.637.123.707}{500.000.000 / \text{Kg}} \\
 &= \text{Rp}. 43293/\text{kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Harga jual} = \text{Rp}. 50.393/\text{kg}$$

Harga penjualan produksi pertahun (S) :

$$= \text{Rp}. \text{Rp}. 50.393 \text{ kg} \times 500.000.000 \text{ kg/tahun}$$

$$= \text{Rp} 2.519.637.123.707/\text{tahun}$$

4. Analisis Kelayakan

4.1 Keuntungan / *Profit On Sales* (POS)

a. Laba kotor

$$= \text{Harga Penjualan} - \text{TPC}$$

$$= \text{Rp} 2.519.637.123.707 - \text{Rp} 2.164.637.123.707$$

$$= \text{Rp. } 355.000.000.000$$

b. Pajak penghasilan :

$$= 35 \% \times \text{laba kotor}$$

$$= 35 \% \times \text{Rp. } 355.000.000.000$$

$$= \text{Rp. } 124.250.000.000$$

c. Laba bersih :

$$= \text{Laba kotor} - \text{Pajak}$$

$$= \text{Rp. } 355.000.000.000 - \text{Rp. } 124.250.000.000$$

$$= \text{Rp. } 230.750.000.000$$

4.2 Return On Investment (ROI)

a. ROI sebelum pajak

$$= \frac{\text{Laba kotor}}{\text{TCI}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp } 355.000.000.000}{\text{Rp}1.137.274.461.657} \times 100\%$$

$$= 31,21 \% \quad (\text{Syarat ROI minimum sebelum pajak} = 11\% \text{ untuk industri kimia. tabel 54 hal. 193 Aries \& Newton})$$

b. ROI sesudah pajak

$$= \frac{\text{Laba bersih}}{\text{TCI}} \times 100 \%$$

$$= \frac{\text{Rp } 230.750.000.000}{\text{Rp}1.137.274.461.657} \times 100\%$$

$$= 20,29 \%$$

4.3 Pay Out Time (POT)

a. POT sebelum pajak

$$= \frac{\text{FCI}}{\text{Laba kotor} + \text{Depresiasi}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 966.683.292.410}{\text{Rp } 355.000.000.000 + \text{Rp } 96.668.329.241}$$

= 2.14 tahun (Syarat POT maksimum sebelum pajak = 5 tahun untuk industri kimia. tabel 55 hal.196 Aries & Newton)

b. POT sesudah pajak

$$= \frac{\text{FCI}}{\text{Laba bersih} + \text{Depresiasi}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 966.683.292.410}{\text{Rp } 230.750.000.000 + \text{Rp } 96.668.329.241}$$

$$= 2.95 \text{ tahun}$$

4.4 Break Event Point (BEP)

Perhitungan BEP dengan persamaan :

$$\text{BEP} = \frac{\text{FC} + 0,3\text{SVC}}{\text{S} - 0,7\text{SVC} - \text{VC}} \times 100\%$$

Dimana :

- S : total harga penjualan (*sales*)
 FC : biaya tetap (*fixed charges*)
 SVC : biaya semi variabel (*semi variabel cost*)
 VC : biaya variabel (*variabel cost*)

a. Biaya tetap (FC)

1. Depresiasi 10% FCI	10%	FCI	Rp 96.668.329.241
2. Pajak	3%	FCI	Rp 29.000.498.772
3. Asuransi	0,50%	FCI	Rp 4.833.416.462
Total			Rp 130.502.244.475

b. Biaya variabel (VC)

1. Bahan baku & pembantu	Rp 1.525.205.661.892
2. Utilitas	Rp 68.158.090.150
3. Paten dan royalti	Rp 43.292.742.474
Total	Rp 1.636.656.494.516

c. Total harga penjualan (S) Rp 2.519.637.123.707

d. Biaya semi variabel (SVC)	
1. Pembiayaan	Rp 34.118.233.850
2. Gaji karyawan	Rp 11.598.000.000
3. Laboratorium	Rp 1.159.800.000
4. Pemeliharaan dan perbaikan	Rp 19.333.665.848
5. <i>Operasi Suplay</i>	Rp 4.833.416.462
6. <i>Plant over head cost</i>	Rp 151.524.598.659
7. Administrasi	Rp 64.939.113.711
8. Riset dan pengembangan	Rp 64.939.113.711
9. Distribusi dan penjualan	Rp 64.939.113.711
Total	Rp 417.385.055.953

maka :

$$\text{BEP} = \frac{\text{Rp}130.502.244.475 + 0,3 \times \text{Rp} 417.385.055.953}{\text{Rp}2.519.637.123.707 - 0,7 \times \text{Rp}417.385.055.953 - \text{Rp}1.636.656.494.516} \times 100\%$$

$$= 43.28\%$$

4. *Shut Down Point (SDP)*

Perhitungan SDP dengan persamaan :

$$\text{SDP} = \frac{0,3 \text{SVC}}{\text{S} - 0,7 \text{SVC} - \text{VC}} \times 100\%$$

Dimana :

S = total harga penjualan (*sales*)

FC = biaya tetap (*fixed charges*)

SVC = biaya semi variabel (*semi variabel cost*)

VC = biaya variabel (*variabel cost*)

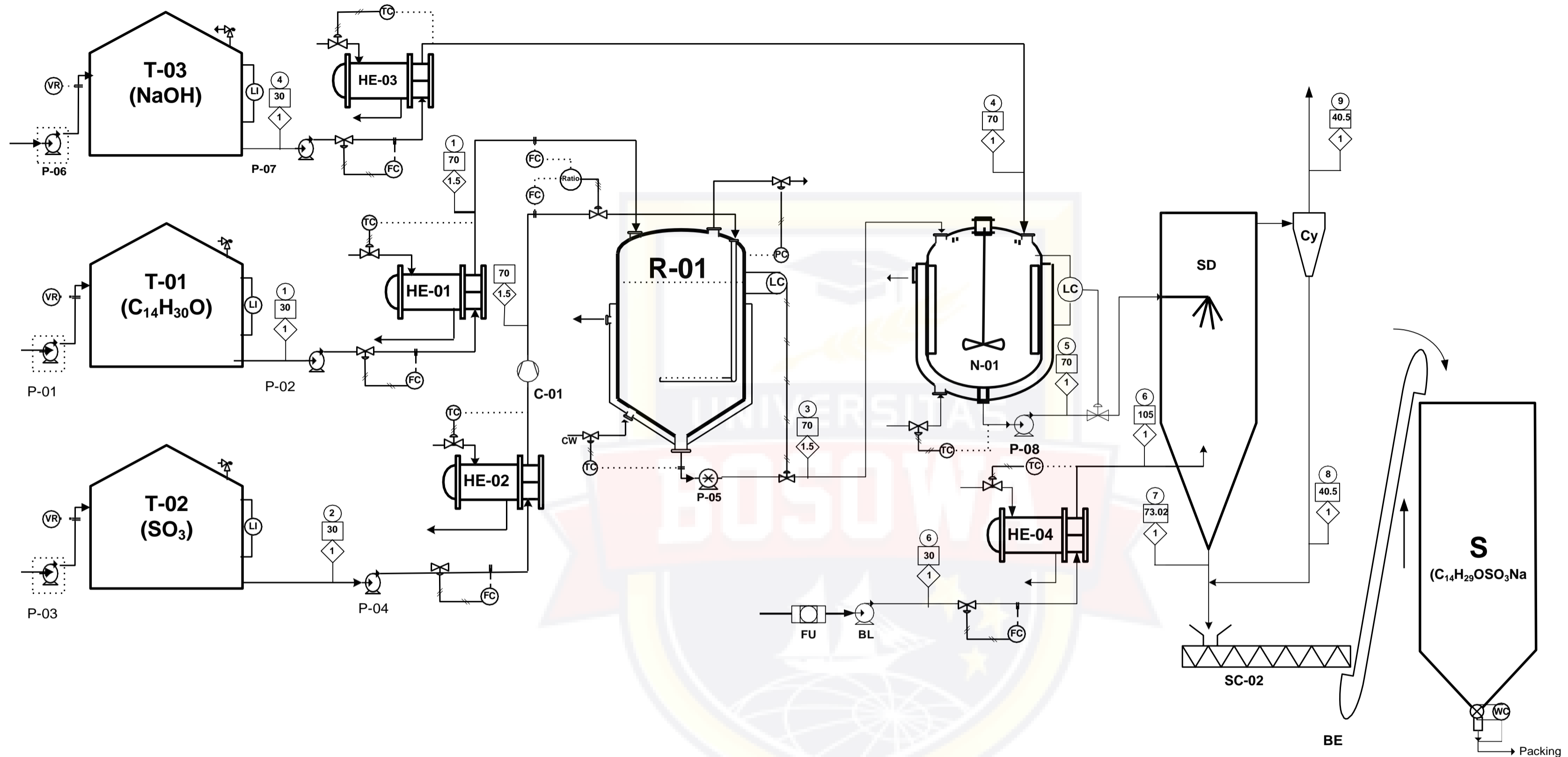
maka :

$$\text{SDP} = \frac{0,3 \times \text{Rp} 417.385.055.953}{\text{Rp} 2.519.637.123.707 - 0,7 \times \text{Rp} 417.385.055.953 - \text{Rp}1.636.656.494.516} \times 100\%$$

$$= 21.21 \%$$

Prarancangan Pabrik Fatty Acid Sulfonate dari Fatty Alkohol dan Sulfur Trioxide

Kapasitas : 50.000 ton/tahun




Keterangan Laju Arus

Komponen	Laju Arus (kg/jam)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C ₁₄ H ₃₀ O	4.184,395		83,688		83,688		82,851	0,837	
SO ₃		1.595,545							
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃			5.633,682						
H ₂ SO ₄			76,649						
NaOH				829,058					
Na ₂ SO ₄					111,062		109,952	1,111	
C ₁₄ H ₂₉ OSO ₃ Na					6.055,250		5.994,697	60,553	
H ₂ O	1,674	32,562	20,158	829,058	1.222,292		62,500	0,631	
Dry air						43.487,976			43.487,976
Total	4.186,069	1.628,107	5.814,177	1.658,115	7.472,292	43.487,97	6.250,000	63,131	43.487,976

Keterangan Gambar :

BE	Bucket Elevator	LI	Level Indicator	○	Nomor Arus
BL	Blower	LC	Level Controller	□	Suhu (°C)
Cy	Cyclone	FC	Flow Controller	◇	Tekanan (atm)
C	Compressor	PC	Pressure Controller	◇	Control Valve
FU	Filter Udara	TC	Temperature Controller	—	Electric Connection
HE	Heater	VR	Volume Recorder	—	Udara Instrumen
N	Netralizer	WC	Weight Control	—	Piping Line
P	Pompa				
R	Reaktor				
S	Silo				
T	Tangki Penyimpan				



PRARANCANGAN PABRIK
FATTY ACID SULPHONATE dari FATTY
ALCOHOL dan SULFUR TRIOXIDE
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

DISUSUN OLEH :
 Isna Yustika Fajriani (4518044028)

DOSEN PEMBIMBING
 1. Dr. Hamsina, S.T., M.Si
 2. Fitri Ariani, S.Si., M.Eng

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
 2022

LAMPIRAN G

TABEL YAWS C. L.

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _c	OMEGA
1	CBrClF ₂	BROMOCHLORODIFLUOROMETHANE	165.365	113.65	269.14	426.15	42.54	246.0	0.6722	0.295	0.187
2	CBrCl ₃	BROMOTRICHLOROMETHANE	198.273	252.15	378.05	606.00	49.70	284.0	0.6981	0.280	0.192
3	CBrF ₃	BROMOTRIFLUOROMETHANE	148.910	105.15	215.26	340.15	39.72	200.0	0.7446	0.281	0.173
4	CBr ₂ F ₂	DIBROMODIFLUOROMETHANE	209.816	163.05	295.94	478.00	53.30	249.0	0.8426	0.334	0.200
5	CClF ₃	CHLOROTRIFLUOROMETHANE	104.459	92.15	191.74	301.96	39.46	180.3	0.5794	0.283	0.180
6	CClN	CYANOGEN CHLORIDE	61.470	266.65	286.00	449.00	59.90	163.0	0.3771	0.262	0.320
7	CCl ₂ F ₂	DICHLORODIFLUOROMETHANE	120.913	115.15	243.36	384.95	41.25	217.0	0.5572	0.280	0.180
8	CCl ₂ O	PHOSGENE	98.916	145.37	280.71	455.00	56.74	190.2	0.5200	0.285	0.201
9	CCl ₃ F	TRICHLORODIFLUOROMETHANE	137.368	162.04	296.97	471.20	44.08	248.0	0.5539	0.279	0.184
10	CCl ₄	CARBON TETRACHLORIDE	153.822	250.33	349.79	556.35	45.60	276.0	0.5573	0.272	0.193
11	CF ₂ O	CARBONYL FLUORIDE	66.007	161.89	188.58	297.00	57.60	141.0	0.4681	0.329	0.283
12	CF ₄	CARBON TETRAFLUORIDE	88.005	89.56	145.09	227.50	37.39	140.0	0.6286	0.277	0.186
13	CHBr ₃	TRIBROMOMETHANE	252.731	281.20	422.35	696.00	60.90	286.0	0.8837	0.301	0.156
14	CHClF ₂	CHLORODIFLUOROMETHANE	86.468	115.73	232.32	369.30	49.71	166.0	0.5209	0.269	0.219
15	CHCl ₂ F	DICHLORODIFLUOROMETHANE	102.923	138.15	282.05	451.58	51.84	196.0	0.5251	0.271	0.207
16	CHCl ₃	CHLOROFORM	119.377	209.63	334.33	536.40	54.72	239.0	0.4995	0.293	0.213
17	CHF ₃	TRIFLUOROMETHANE	70.014	117.97	190.99	298.89	48.36	133.3	0.5252	0.259	0.267
18	CH ₃ I	TRIIODOMETHANE	393.732	396.16	491.16	794.55	53.12	349.5	1.1266	0.281	0.193
19	CHN	HYDROGEN CYANIDE	27.026	259.91	298.85	456.65	53.91	138.6	0.1950	0.197	0.410
20	CHNS	ISOTHIOCYANIC-ACID	59.086	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
21	CH ₂ BrCl	BROMOCHLOROMETHANE	129.384	185.20	341.20	557.00	68.10	188.0	0.6882	0.276	0.220
22	CH ₂ Br ₂	DIBROMOMETHANE	173.835	220.60	370.10	611.00	71.70	223.0	0.7795	0.315	0.210
23	CH ₂ ClF	CHLORODIFLUOROMETHANE	68.478	140.16	264.06	424.91	51.31	158.5	0.4320	0.230	0.199
24	CH ₂ Cl ₂	DICHLOROMETHANE	84.932	178.01	312.90	510.00	60.80	185.0	0.4591	0.265	0.192
25	CH ₂ F ₂	DIFLUOROMETHANE	52.024	137.00	221.50	351.60	58.30	121.0	0.4300	0.241	0.276
26	CH ₂ I ₂	DIIODOMETHANE	267.836	279.25	455.15	747.00	54.70	272.0	0.9847	0.240	0.141
27	CH ₂ O	FORMALDEHYDE	30.026	181.15	254.05	408.00	65.86	105.0	0.2860	0.204	0.282
28	CH ₂ O ₂	FORMIC ACID	46.026	281.55	373.71	580.00	73.90	125.0	0.3682	0.192	0.473
29	CH ₃ Br	METHYL BROMIDE	94.939	179.55	276.71	467.00	80.00	156.0	0.6086	0.321	0.192
30	CH ₃ Cl	METHYL CHLORIDE	50.488	175.45	248.93	416.25	66.79	139.0	0.3632	0.268	0.153
31	CH ₃ Cl ₃ Si	METHYL TRICHLOROSILANE	149.478	195.35	339.55	517.00	35.30	340.0	0.4396	0.279	0.263
32	CH ₃ F	METHYL FLUORIDE	34.033	131.35	194.82	317.70	58.77	113.0	0.3012	0.251	0.204
33	CH ₃ I	METHYL IODIDE	141.939	206.70	315.58	528.00	73.70	185.0	0.7672	0.311	0.193
34	CH ₃ NO	FORMAMIDE	45.041	275.70	493.00	771.00	78.00	163.0	0.2763	0.198	0.453
35	CH ₃ NO ₂	NITROMETHANE	61.040	244.60	374.35	588.15	63.13	173.4	0.3520	0.224	0.348
36	CH ₃ NO ₂	METHYL-NITRITE	61.040	256.16	261.16	-----	-----	-----	-----	-----	-----
37	CH ₃ NO ₃	METHYL-NITRATE	77.040	190.86	339.16	-----	-----	-----	-----	-----	-----
38	CH ₄	METHANE	16.043	90.67	111.66	190.58	46.04	99.3	0.1616	0.288	0.011
39	CH ₄ Cl ₂ Si	METHYL DICHLOROSILANE	115.034	182.55	314.70	483.00	39.50	289.0	0.3980	0.284	0.276
40	CH ₄ O	METHANOL	32.042	175.47	337.85	512.58	80.96	117.8	0.2720	0.224	0.566
41	CH ₄ O ₃ S	METHANESULFONIC ACID	96.107	292.81	561.00	-----	-----	220.0	0.4369	-----	-----
42	CH ₄ S	METHYL MERCAPTAN	48.109	150.18	279.11	469.95	72.35	145.0	0.3318	0.268	0.146
43	CH ₅ ClSi	METHYL CHLOROSILANE	80.589	139.05	281.85	442.00	41.70	246.0	0.3276	0.279	0.225
44	CH ₅ N	METHYLAMINE	31.057	179.69	266.82	430.05	74.58	154.0	0.2017	0.321	0.281
45	CH ₆ Si	METHYL SILANE	46.144	116.34	216.25	352.50	48.40	205.0	0.2251	0.339	0.139
46	CN ₄ O ₈	TETRA-NITROMETHANE	196.033	287.05	398.85	540.00	17.40	468.0	0.4189	0.181	0.516
47	CO	CARBON MONOXIDE	28.010	68.15	81.70	132.92	34.99	93.1	0.3009	0.295	0.066
48	COS	CARBONYL SULFIDE	60.076	134.35	223.00	378.80	63.49	135.1	0.4447	0.272	0.097
49	CO ₂	CARBON DIOXIDE	44.010	216.58	194.67	304.19	73.82	94.0	0.4682	0.274	0.228
50	CS ₂	CARBON DISULFIDE	76.143	161.58	319.37	552.00	79.03	160.0	0.4759	0.276	0.108
51	C ₂ BrF ₃	BROMOTRIFLUOROETHYLENE	160.921	-----	270.65	432.00	44.80	239.0	0.6733	0.298	0.175
52	C ₂ Br ₂ F ₂	1,2-DIBROMOTETRAFLUOROETHANE	259.824	162.65	320.41	487.80	33.93	341.0	0.7619	0.285	0.250
53	C ₂ ClF ₃	CHLOROTRIFLUOROETHYLENE	116.470	115.00	245.30	379.15	40.53	212.0	0.5494	0.273	0.264
54	C ₂ ClF ₅	CHLOROPENTAFLUOROETHANE	154.467	173.71	234.04	353.15	31.57	252.0	0.6130	0.271	0.251
55	C ₂ Cl ₂ F ₂	1,2-DICHLOROTETRAFLUOROETHANE	170.921	179.15	276.92	418.85	32.63	293.7	0.5820	0.275	0.252
56	C ₂ Cl ₃ F ₃	1,1,2-TRICHLOROTRIFLUOROETHANE	187.375	238.15	320.75	487.25	34.15	325.3	0.5760	0.274	0.255
57	C ₂ Cl ₄	TETRACHLOROETHYLENE	165.833	250.80	394.40	620.00	44.90	248.0	0.6687	0.216	0.214
58	C ₂ Cl ₄ F ₂	1,1,2,2-TETRACHLORODIFLUOROETHANE	203.830	299.15	366.00	551.00	33.40	351.0	0.5807	0.264	0.291
59	C ₂ Cl ₄ O	TRICHLOROACETYL CHLORIDE	181.832	-----	391.15	590.00	41.00	332.0	0.5477	0.277	0.348
60	C ₂ Cl ₆	HEXACHLOROETHANE	236.738	459.95	460.00	698.00	33.40	412.0	0.5746	0.237	0.221
61	C ₂ F ₄	TETRAFLUOROETHYLENE	100.016	142.00	197.51	306.45	39.44	172.0	0.5815	0.266	0.226
62	C ₂ F ₆	HEXAFLUOROETHANE	138.012	172.45	194.95	292.80	29.79	224.0	0.6161	0.274	0.245
63	C ₂ HBrClF ₃	HALOTHANE	197.382	-----	323.35	521.00	39.20	296.0	0.6668	0.268	0.091
64	C ₂ HClF ₂	2-CHLORO-1,1-DIFLUOROETHYLENE	98.479	134.65	254.55	400.55	44.58	197.0	0.4999	0.264	0.219
65	C ₂ HCl ₃	TRICHLOROETHYLENE	131.388	188.40	360.10	571.00	49.10	256.0	0.5132	0.265	0.217
66	C ₂ HCl ₃ O	DICHLOROACETYL CHLORIDE	147.387	-----	382.15	579.00	46.10	288.0	0.5118	0.276	0.371
67	C ₂ HCl ₃ O	TRICHLOROACETALDEHYDE	147.387	216.00	370.85	565.00	44.10	288.0	0.5118	0.270	0.332
68	C ₂ HCl ₅	PENTACHLOROETHANE	202.293	244.15	433.03	665.00	36.80	369.0	0.5482	0.246	0.246
69	C ₂ HF ₃	TRIFLUOROETHENE	82.025	94.53	221.01	347.22	45.16	182.5	0.4495	0.286	0.238
70	C ₂ HF ₃ O ₂	TRIFLUOROACETIC ACID	114.024	257.90	344.95	491.25	32.58	204.0	0.5589	0.163	0.524
71	C ₂ HF ₅	PENTAFLUOROETHANE	120.022	170.15	225.15	342.00	34.40	216.0	0.5557	0.261	0.259
72	C ₂ H ₂	ACETYLENE	26.038	192.40	189.15	308.32	61.39	113.0	0.2305	0.271	0.187
73	C ₂ H ₂ Br ₄	1,1,2,2-TETRABROMOETHANE	345.654	273.15	516.65	824.00	46.00	401.0	0.8620	0.269	0.177
74	C ₂ H ₂ Cl ₂	1,1-DICHLOROETHYLENE	96.943	150.65	304.71	482.00	51.90	224.0	0.4328	0.290	0.272
75	C ₂ H ₂ Cl ₂	cis-1,2-DICHLOROETHYLENE	96.943	193.15	333.65	527.00	51.90	224.0	0.4328	0.265	0.264
76	C ₂ H ₂ Cl ₂	trans-1,2-DICHLOROETHYLENE	96.943	223.35	320.85	508.00	51.90	224.0	0.4328	0.275	0.264
77	C ₂ H ₂ Cl ₂ O	CHLOROACETYL CHLORIDE	112.943	251.15	379.15	581.00	51.10	245.0	0.4610	0.259	0.358
78	C ₂ H ₂ Cl ₂ O	DICHLOROACETALDEHYDE	112.943	223.00	362.00	555.00	49.50	245.0	0.4610	0.263	0.344

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
79	C2H2Cl2O2	DICHLOROACETIC ACID	128.942	286.55	467.15	686.00	51.70	265.0	0.4866	0.240	0.555
80	C2H2Cl3F	1,1,1-TRICHLOROFLUOROETHANE	151.394	-----	366.00	565.00	39.90	294.0	0.5149	0.250	0.250
81	C2H2Cl4	1,1,1,2-TETRACHLOROETHANE	167.849	202.94	403.65	624.00	40.20	325.0	0.5165	0.252	0.242
82	C2H2Cl4	1,1,2,2-TETRACHLOROETHANE	167.849	229.35	418.25	645.00	40.90	325.0	0.5165	0.248	0.259
83	C2H2F2	1,1-DIFLUOROETHYLENE	64.035	129.15	187.50	302.80	44.58	154.0	0.4158	0.273	0.139
84	C2H2F2	cis-1,2-DIFLUOROETHENE	64.035	107.90	247.86	394.67	47.69	163.5	0.3917	0.238	0.210
85	C2H2F2	trans-1,2-DIFLUOROETHENE	64.035	107.90	247.86	394.67	47.69	163.5	0.3917	0.238	0.210
86	C2H2F4	1,1,1,2-TETRAFLUOROETHANE	102.031	172.15	247.15	380.00	36.90	203.0	0.5026	0.237	0.239
87	C2H2O	KETENE	42.037	122.00	223.34	370.00	58.10	144.0	0.2919	0.272	0.126
88	C2H2O4	OXALIC ACID	90.036	462.65	569.00	804.00	70.20	205.0	0.4392	0.215	0.918
89	C2H3Br	VINYL BROMIDE	106.950	135.35	288.95	473.00	71.80	200.0	0.5348	0.365	0.282
90	C2H3Cl	VINYL CHLORIDE	62.499	119.36	259.78	432.00	56.70	179.0	0.3492	0.283	0.101
91	C2H3ClF2	1-CHLORO-1,1-DIFLUOROETHANE	100.495	142.35	263.14	410.20	41.24	231.0	0.4350	0.279	0.237
92	C2H3ClO	ACETYL CHLORIDE	78.498	160.30	323.90	508.00	57.40	196.0	0.4005	0.266	0.334
93	C2H3ClO	CHLOROACETALDEHYDE	78.498	-----	358.00	555.00	53.70	201.0	0.3905	0.234	0.330
94	C2H3ClO2	CHLOROACETIC ACID	94.497	333.15	462.50	686.00	57.80	221.0	0.4276	0.224	0.551
95	C2H3ClO2	METHYL CHLOROFORMATE	94.497	-----	344.00	525.00	53.60	221.0	0.4276	0.271	0.393
96	C2H3Cl3	1,1,1-TRICHLOROETHANE	133.404	242.75	347.23	545.00	42.96	281.0	0.4747	0.266	0.216
97	C2H3Cl3	1,1,2-TRICHLOROETHANE	133.404	236.50	387.00	602.00	44.80	281.0	0.4747	0.252	0.260
98	C2H3F	VINYL FLUORIDE	46.044	112.65	200.95	327.80	52.39	144.0	0.3198	0.277	0.189
99	C2H3F3	1,1,1-TRIFLUOROETHANE	84.041	161.85	225.75	346.25	37.58	194.0	0.4332	0.253	0.253
100	C2H3N	ACETONITRILE	41.053	229.32	354.75	545.50	48.33	173.0	0.2373	0.184	0.338
101	C2H3NO	METHYL ISOCYANATE	57.052	256.15	312.00	505.00	51.90	190.0	0.3003	0.235	0.175
102	C2H4	ETHYLENE	28.054	104.01	169.47	282.36	50.32	129.1	0.2174	0.277	0.085
103	C2H4Br2	1,1-DIBROMOETHANE	187.862	210.15	381.15	628.00	60.30	276.0	0.6807	0.319	0.125
104	C2H4Br2	1,2-DIBROMOETHANE	187.862	282.94	404.51	650.15	54.77	261.6	0.7182	0.265	0.207
105	C2H4Cl2	1,1-DICHLOROETHANE	98.959	176.19	330.45	523.00	50.66	240.0	0.4123	0.280	0.244
106	C2H4Cl2	1,2-DICHLOROETHANE	98.959	237.49	356.59	561.00	53.70	220.0	0.4498	0.253	0.288
107	C2H4Cl2O	BIS(CHLOROMETHYL)ETHER	114.959	231.65	378.00	579.00	45.80	258.0	0.4456	0.245	0.324
108	C2H4F2	1,1-DIFLUOROETHANE	66.051	156.15	247.35	386.60	44.99	181.0	0.3649	0.253	0.263
109	C2H4F2	1,2-DIFLUOROETHANE	66.051	-----	303.65	476.00	43.40	202.0	0.3270	0.222	0.224
110	C2H4I2	1,2-DIODOETHANE	281.863	356.16	473.16	749.91	47.30	323.5	0.8713	0.245	0.223
111	C2H4O	ACETALDEHYDE	44.053	150.15	293.55	461.00	55.50	157.0	0.2806	0.227	0.317
112	C2H4O	ETHYLENE OXIDE	44.053	161.45	283.85	469.15	71.94	140.3	0.3140	0.259	0.198
113	C2H4OS	THIOACETIC-ACID	76.113	150.16	360.16	577.34	69.21	219.5	0.3468	0.317	0.304
114	C2H4O2	ACETIC ACID	60.053	289.81	391.05	592.71	57.86	171.0	0.3512	0.201	0.462
115	C2H4O2	METHYL FORMATE	60.053	174.15	304.90	487.20	59.98	172.0	0.3491	0.255	0.254
116	C2H4S	THIACYCLOPROPANE	60.114	165.37	328.07	555.00	73.80	151.5	0.3968	0.214	0.154
117	C2H5Br	BROMOETHANE	108.966	154.55	311.50	503.80	62.32	214.9	0.5070	0.320	0.183
118	C2H5Cl	ETHYL CHLORIDE	64.514	136.75	285.42	460.35	52.69	200.0	0.3226	0.275	0.204
119	C2H5ClO	2-CHLOROETHANOL	80.514	205.65	401.75	585.00	59.20	212.0	0.3798	0.258	0.637
120	C2H5F	ETHYL FLUORIDE	48.060	129.95	235.45	375.31	50.28	164.0	0.2930	0.264	0.209
121	C2H5I	ETHYL IODIDE	155.966	162.05	345.45	561.00	59.90	238.0	0.6553	0.306	1.137
122	C2H5N	ETHYLENEIMINE	43.068	195.20	329.00	537.00	68.50	173.0	0.2489	0.265	0.089
123	C2H5NO	ACETAMIDE	59.068	354.15	494.30	761.00	66.00	215.0	0.2747	0.224	0.189
124	C2H5NO	N-METHYLFORMAMIDE	59.068	269.35	472.66	721.00	56.20	215.0	0.2747	0.202	0.192
125	C2H5NO2	NITROETHANE	75.067	183.63	387.22	593.00	51.60	236.0	0.3181	0.247	0.265
126	C2H5NO3	ETHYL-NITRATE	91.066	178.56	360.36	-----	-----	-----	-----	-----	-----
127	C2H6	ETHANE	30.070	90.35	184.55	305.42	48.80	147.9	0.2033	0.284	0.099
128	C2H6AlCl	DIMETHYLALUMINUM CHLORIDE	92.054	252.15	399.15	619.00	36.20	320.0	0.2877	0.225	0.183
129	C2H6O	DIMETHYL ETHER	46.069	131.66	248.31	400.10	53.70	170.0	0.2710	0.274	0.204
130	C2H6O	ETHANOL	46.069	159.05	351.44	516.25	63.84	166.9	0.2760	0.248	0.637
131	C2H6OS	DIMETHYL SULFOXIDE	78.135	291.67	462.15	726.00	56.50	227.0	0.3442	0.212	0.209
132	C2H6O2	ETHYLENE GLYCOL	62.068	260.15	470.45	645.00	75.30	191.0	0.3250	0.268	1.137
133	C2H6O4S	DIMETHYL SULFATE	126.133	241.35	461.95	758.00	51.60	293.0	0.4305	0.240	0.089
134	C2H6S	DIMETHYL SULFIDE	62.136	174.88	310.48	503.04	55.30	200.9	0.3093	0.266	0.189
135	C2H6S	ETHYL MERCAPTAN	62.136	125.26	308.15	499.15	54.90	207.0	0.3002	0.274	0.192
136	C2H6S2	DIMETHYL DISULFIDE	94.202	188.44	382.90	606.00	53.60	252.0	0.3738	0.268	0.265
137	C2H7N	DIMETHYLAMINE	45.084	180.96	280.03	437.65	53.09	187.0	0.2411	0.273	0.294
138	C2H7N	ETHYLAMINE	45.084	192.15	289.73	456.15	56.24	182.0	0.2477	0.270	0.285
139	C2H7NO	MONOETHANOLAMINE	61.084	283.65	444.15	638.00	68.70	225.0	0.2715	0.291	0.797
140	C2H8N2	ETHYLENEDIAMINE	60.099	284.29	390.41	593.00	62.90	264.0	0.2276	0.337	0.479
141	C2H8Si	DIMETHYL SILANE	60.171	122.93	253.55	402.00	35.60	258.0	0.2332	0.275	0.132
142	C2N2	CYANOGEN	52.036	245.25	252.00	400.15	59.78	195.0	0.2669	0.350	0.279
143	C3F6	HEXAFLUOROPROPYLENE	150.023	116.65	243.55	368.00	29.00	268.0	0.5598	0.254	0.204
144	C3F6O	HEXAFLUOROACETONE	166.023	151.15	245.88	357.14	28.37	329.0	0.5046	0.314	0.364
145	C3F8	OCTAFLUOROPROPANE	188.020	125.46	236.40	345.05	26.80	299.0	0.6288	0.279	0.326
146	C3H2N2	MALONONITRILE	66.062	304.90	491.50	715.00	40.40	248.0	0.2664	0.169	0.509
147	C3H3Cl	PROPARGYL CHLORIDE	74.510	-----	331.00	541.00	53.00	211.0	0.3531	0.249	0.152
148	C3H3N	ACRYLONITRILE	53.064	189.63	350.50	535.00	44.80	212.0	0.2503	0.214	0.350
149	C3H3NO	OXAZOLE	69.063	-----	342.65	554.00	63.20	237.0	0.2914	0.325	0.233
150	C3H4	METHYLACETYLENE	40.065	170.45	249.94	402.39	56.28	164.0	0.2443	0.276	0.216
151	C3H4	PROPADIENE	40.065	136.87	238.65	393.15	54.70	162.0	0.2473	0.271	0.160
152	C3H4Cl2	2,3-DICHLOROPROPENE	110.970	191.50	365.75	577.00	43.80	277.0	0.4006	0.253	0.206
153	C3H4O	ACROLEIN	56.064	185.45	325.84	506.00	50.00	197.0	0.2846	0.234	0.320
154	C3H4O	PROPARGYL ALCOHOL	56.064	221.35	386.75	580.00	65.30	176.0	0.3185	0.238	0.555
155	C3H4O2	ACRYLIC ACID	72.064	286.65	414.15	615.00	56.60	208.0	0.3465	0.230	0.518
156	C3H4O2	beta-PROPIOLACTONE	72.064	239.75	435.15	686.00	69.10	195.0	0.3696	0.236	0.345

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
157	C3H4O2	VINYL FORMATE	72.064	-----	320.00	498.00	50.20	217.0	0.3321	0.263	0.285
158	C3H4O3	ETHYLENE CARBONATE	88.063	309.55	511.15	790.00	67.70	193.0	0.4563	0.199	0.416
159	C3H4O3	PYRUVIC ACID	88.063	286.75	438.15	634.52	56.50	239.0	0.3685	0.256	0.670
160	C3H5Br	3-BROMO-1-PROPENE	120.977	153.76	343.16	540.20	51.39	246.5	0.4908	0.282	0.273
161	C3H5Cl	2-CHLOROPROPENE	76.525	135.75	295.80	478.00	47.10	234.0	0.3270	0.277	0.153
162	C3H5Cl	3-CHLOROPROPENE	76.525	138.65	318.11	514.15	47.10	234.0	0.3270	0.258	0.154
163	C3H5ClO	alpha-EPICHLOROHYDRIN	92.525	215.95	389.26	610.00	49.00	233.0	0.3971	0.225	0.256
164	C3H5ClO2	METHYL CHLOROACETATE	108.524	241.03	402.97	600.00	45.00	270.0	0.4019	0.244	0.434
165	C3H5ClO2	ETHYL CHLOROFORMATE	108.524	192.00	366.00	508.15	45.00	274.0	0.3961	0.292	0.835
166	C3H5Cl3	1,2,3-TRICHLOROPROPANE	147.431	258.45	430.00	652.00	38.70	334.0	0.4414	0.238	0.306
167	C3H5I	3-IODO-1-PROPENE	167.977	173.86	375.16	595.81	45.29	272.5	0.6164	0.249	0.202
168	C3H5N	PROPIONITRILE	55.079	180.26	370.50	564.40	41.85	229.0	0.2405	0.204	0.325
169	C3H5NO	ACRYLAMIDE	71.079	357.65	465.75	710.00	57.30	260.0	0.2734	0.252	0.196
170	C3H5NO	HYDRACRYLONITRILE	71.079	227.15	494.15	690.00	48.90	243.0	0.2925	0.207	0.826
171	C3H5NO	LACTONITRILE	71.079	233.00	457.00	643.00	50.30	243.0	0.2925	0.229	0.796
172	C3H5N3O9	NITROGLYCERINE	227.088	286.15	523.00	680.00	30.00	419.0	0.5420	0.222	1.184
173	C3H6	CYCLOPROPANE	42.081	145.73	240.37	397.91	55.75	162.8	0.2585	0.274	0.134
174	C3H6	PROPYLENE	42.081	87.90	225.43	364.76	46.13	181.0	0.2325	0.275	0.142
175	C3H6Br2	1,2-DIBROMOPROPANE	201.888	217.96	413.16	634.11	54.07	321.5	0.6280	0.330	0.384
176	C3H6Cl2	1,1-DICHLOROPROPANE	112.986	-----	361.25	560.00	42.40	291.0	0.3883	0.265	0.253
177	C3H6Cl2	1,2-DICHLOROPROPANE	112.986	172.71	369.52	572.00	42.40	291.0	0.3883	0.259	0.251
178	C3H6Cl2	1,3-DICHLOROPROPANE	112.987	173.65	393.55	603.00	41.50	291.0	0.3883	0.241	0.292
179	C3H6Cl2	2,2-DICHLOROPROPANE	112.986	239.36	342.46	539.46	41.04	290.5	0.3889	0.266	0.198
180	C3H6I2	1,2-DIIODOPROPANE	295.889	253.16	500.16	780.49	42.06	373.5	0.7922	0.242	0.237
181	C3H6O	ACETONE	58.080	178.45	329.44	508.20	47.02	209.0	0.2779	0.233	0.306
182	C3H6O	ALLYL ALCOHOL	58.080	144.15	370.23	545.05	56.20	208.0	0.2792	0.258	0.572
183	C3H6O	METHYL VINYL ETHER	58.080	151.15	278.65	437.00	46.70	210.0	0.2766	0.270	0.237
184	C3H6O	n-PROPIONALDEHYDE	58.080	193.15	321.15	496.00	46.60	210.0	0.2766	0.237	0.302
185	C3H6O	1,2-PROPYLENE OXIDE	58.080	161.22	307.05	482.25	49.24	186.0	0.3123	0.228	0.271
186	C3H6O	1,3-PROPYLENE OXIDE	58.080	-----	321.00	520.00	57.50	188.0	0.3089	0.250	0.201
187	C3H6O2	ETHYL FORMATE	74.079	193.55	327.46	508.40	47.42	229.0	0.3235	0.257	0.285
188	C3H6O2	METHYL ACETATE	74.079	175.15	330.09	506.80	46.90	228.0	0.3249	0.254	0.325
189	C3H6O2	PROPIONIC ACID	74.079	252.45	414.32	604.00	45.30	230.0	0.3221	0.207	0.536
190	C3H6O2S	3-MERCAPTOPROPIONIC ACID	106.145	290.65	501.00	729.00	50.20	281.0	0.3777	0.233	0.587
191	C3H6O3	LACTIC ACID	90.079	291.15	447.00	616.00	59.65	216.9	0.4153	0.253	1.035
192	C3H6O3	METHOXYACETIC ACID	90.079	281.00	478.26	691.00	49.80	251.0	0.3589	0.218	0.630
193	C3H6O3	TRIOXANE	90.079	334.65	387.65	604.00	58.20	206.0	0.4373	0.239	0.334
194	C3H6S	THIACYCLOBUTANE	74.140	199.96	368.13	603.00	61.00	199.5	0.3716	0.228	0.195
195	C3H7Br	1-BROMOPROPANE	122.993	163.15	344.15	544.00	53.90	266.0	0.4624	0.317	0.285
196	C3H7Br	2-BROMOPROPANE	122.993	184.15	332.56	532.00	55.10	266.0	0.4624	0.331	0.243
197	C3H7Cl	ISOPROPYL CHLORIDE	78.541	155.97	308.85	489.00	45.40	247.0	0.3180	0.276	0.224
198	C3H7Cl	n-PROPYL CHLORIDE	78.541	150.35	319.67	503.15	45.80	247.0	0.3180	0.270	0.228
199	C3H7F	1-FLUOROPROPANE	62.087	114.16	269.95	422.00	41.57	221.5	0.2803	0.263	0.227
200	C3H7F	2-FLUOROPROPANE	62.087	139.80	263.81	415.68	42.00	215.5	0.2881	0.262	0.204
201	C3H7I	ISOPROPYL IODIDE	169.993	183.15	362.65	578.00	51.20	290.0	0.5862	0.309	0.238
202	C3H7I	n-PROPYL IODIDE	169.993	171.85	375.60	593.00	50.30	290.0	0.5862	0.296	0.258
203	C3H7N	ALLYLAMINE	57.095	184.95	326.45	505.00	51.70	247.0	0.2312	0.304	0.327
204	C3H7N	PROPYLENIMINE	57.095	229.00	334.00	529.00	54.20	208.0	0.2745	0.256	0.257
205	C3H7NO	N,N-DIMETHYLFORMAMIDE	73.095	212.72	426.15	647.00	44.20	267.0	0.2738	0.219	0.376
206	C3H7NO	N-METHYLACETAMIDE	73.095	301.15	478.15	718.00	49.80	267.0	0.2738	0.223	0.435
207	C3H7NO2	1-NITROPROPANE	89.094	169.16	404.33	605.00	43.50	288.0	0.3094	0.249	0.412
208	C3H7NO2	2-NITROPROPANE	89.094	181.83	393.40	594.00	44.50	288.0	0.3094	0.260	0.376
209	C3H7NO3	PROPYL-NITRATE	105.093	173.16	383.16	-----	-----	-----	-----	-----	-----
210	C3H7NO3	ISOPROPYL-NITRATE	105.093	173.16	373.66	-----	-----	-----	-----	-----	-----
211	C3H8	PROPANE	44.096	85.46	231.11	369.82	42.49	202.9	0.2174	0.280	0.152
212	C3H8O	ISOPROPANOL	60.096	185.28	355.41	508.31	47.64	220.1	0.2730	0.248	0.669
213	C3H8O	METHYL ETHYL ETHER	60.096	160.00	280.50	437.80	43.98	221.0	0.2719	0.267	0.219
214	C3H8O	n-PROPANOL	60.096	146.95	370.35	536.71	51.70	218.5	0.2750	0.253	0.628
215	C3H8O2	2-METHOXYETHANOL	76.095	188.05	397.55	564.00	50.10	242.0	0.3144	0.259	0.731
216	C3H8O2	METHYLAL	76.095	168.35	315.00	480.60	39.52	213.0	0.3573	0.211	0.290
217	C3H8O2	1,2-PROPYLENE GLYCOL	76.095	213.15	460.75	626.00	61.00	239.0	0.3184	0.280	1.107
218	C3H8O2	1,3-PROPYLENE GLYCOL	76.095	246.45	487.55	658.00	59.20	217.0	0.3507	0.235	1.152
219	C3H8O3	GLYCEROL	92.095	291.33	563.15	723.00	40.00	264.0	0.3488	0.176	1.320
220	C3H8S	n-PROPYLMERCAPTAN	76.163	159.95	340.87	536.00	46.30	254.0	0.2999	0.264	0.235
221	C3H8S	ISOPROPYL MERCAPTAN	76.163	142.61	325.71	517.00	47.50	254.0	0.2999	0.281	0.212
222	C3H8S	ETHYL-METHYL-SULFIDE	76.156	167.20	340.15	532.80	42.50	257.5	0.2958	0.262	0.216
223	C3H9N	n-PROPYLAMINE	59.111	190.15	321.65	496.95	47.42	260.0	0.2274	0.298	0.296
224	C3H9N	ISOPROPYLAMINE	59.111	177.95	305.55	471.85	45.39	221.0	0.2675	0.256	0.279
225	C3H9N	TRIMETHYLAMINE	59.111	156.08	276.02	433.25	40.73	254.0	0.2327	0.287	0.209
226	C3H9NO	1-AMINO-2-PROPANOL	75.111	274.89	432.61	614.00	56.70	278.0	0.2702	0.309	0.794
227	C3H9NO	3-AMINO-1-PROPANOL	75.111	284.15	460.65	649.00	55.00	278.0	0.2702	0.283	0.830
228	C3H9NO	METHYLETHANOLAMINE	75.111	268.65	431.15	630.00	52.20	253.0	0.2969	0.252	0.586
229	C3H9O4P	TRIMETHYL PHOSPHATE	140.076	227.00	465.85	764.00	85.00	229.4	0.6105	0.307	-----
230	C3H10N2	1,2-PROPANEDIAMINE	74.126	236.53	392.45	587.00	52.70	316.0	0.2346	0.341	0.474
231	C3H10Si	TRIMETHYL SILANE	74.198	137.26	279.85	432.00	31.90	311.0	0.2386	0.276	0.175
232	C4Cl4S	TETRACHLOROTHIOPHENE	221.921	301.97	506.54	753.00	36.70	428.0	0.5185	0.251	0.361
233	C4Cl6	HEXACHLORO-1,3-BUTADIENE	260.760	252.15	488.15	741.00	28.40	491.0	0.5311	0.226	0.155
234	C4F8	OCTAFLUORO-2-BUTENE	200.031	138.15	270.36	392.00	23.30	347.0	0.5765	0.248	0.291

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
235	C4F8	OCTAFLUOROCYCLOBUTANE	200.031	232.96	267.17	388.37	27.78	324.8	0.6159	0.279	0.356
236	C4F10	DECAFLUOROBUTANE	238.028	144.95	271.15	386.35	23.23	397.0	0.5996	0.287	0.372
237	C4H2	BUTADIENE(BIACETYLENE)	50.060	237.16	283.46	478.02	58.63	183.5	0.2728	0.271	0.100
238	C4H2O3	MALEIC ANHYDRIDE	98.058	326.00	475.15	721.00	72.80	219.0	0.4478	0.266	0.546
239	C4H4	VINYLCETYLENE	52.076	-----	278.25	454.00	48.60	205.0	0.2540	0.264	0.118
240	C4H4N2	SUCCINONITRILE	80.089	331.30	540.15	770.00	35.40	300.0	0.2670	0.166	0.559
241	C4H4O	FURAN	68.075	187.55	304.50	490.15	55.02	218.2	0.3120	0.295	0.200
242	C4H4O2	DIKETENE	84.075	266.65	399.20	616.00	59.60	234.0	0.3593	0.272	0.382
243	C4H4O3	SUCCINIC ANHYDRIDE	100.074	393.00	536.58	811.00	67.30	223.0	0.4488	0.223	0.530
244	C4H4O4	FUMARIC ACID	116.073	560.15	563.15	771.00	49.80	297.0	0.3908	0.231	0.989
245	C4H4O4	MALEIC ACID	116.073	403.45	565.00	773.00	49.90	297.0	0.3908	0.231	0.998
246	C4H4S	THIOPHENE	84.142	234.94	357.31	579.35	56.90	219.0	0.3842	0.259	0.193
247	C4H5Cl	CHLOROPRENE	88.536	143.15	332.55	525.00	42.60	273.0	0.3243	0.266	0.193
248	C4H5N	trans-CROTONITRILE	67.090	222.00	394.38	586.00	38.80	282.0	0.2379	0.225	0.398
249	C4H5N	cis-CROTONITRILE	67.090	200.55	380.60	568.00	38.80	265.0	0.2532	0.218	0.379
250	C4H5N	METHACRYLONITRILE	67.090	237.35	363.45	554.00	38.80	265.0	0.2532	0.223	0.301
251	C4H5N	PYRROLE	67.090	249.74	403.00	639.75	62.10	230.0	0.2917	0.269	0.288
252	C4H5N	VINYLCACETONITRILE	67.090	186.15	391.67	584.00	38.80	259.0	0.2590	0.207	0.378
253	C4H5NO2	METHYL CYANOACETATE	99.089	260.08	478.24	687.00	38.10	305.0	0.3249	0.203	0.549
254	C4H6	CYCLOBUTENE	54.091	153.76	275.75	446.33	52.66	195.5	0.2767	0.278	0.189
255	C4H6	1,2-BUTADIENE	54.092	136.95	284.00	444.00	45.00	219.0	0.2470	0.267	0.251
256	C4H6	1,3-BUTADIENE	54.092	164.25	268.74	425.37	43.30	220.8	0.2449	0.270	0.193
257	C4H6	DIMETHYLACETYLENE	54.092	240.91	300.13	488.15	50.80	221.0	0.2448	0.277	0.130
258	C4H6	ETHYLACETYLENE	54.092	147.43	281.22	443.20	49.50	222.0	0.2437	0.298	0.247
259	C4H6Cl2	1,3-DICHLORO-trans-2-BUTENE	124.997	-----	402.00	618.00	37.80	325.0	0.3846	0.239	0.242
260	C4H6Cl2	1,4-DICHLORO-cis-2-BUTENE	124.997	225.15	425.65	640.00	37.80	343.0	0.3644	0.244	0.331
261	C4H6Cl2	1,4-DICHLORO-trans-2-BUTENE	124.997	274.15	429.26	646.00	37.80	330.0	0.3788	0.232	0.333
262	C4H6Cl2	3,4-DICHLORO-1-BUTENE	124.997	212.00	388.00	589.00	38.50	330.0	0.3788	0.259	0.300
263	C4H6O	trans-CROTONALDEHYDE	70.091	196.65	377.25	571.00	42.50	250.0	0.2804	0.224	0.346
264	C4H6O	2,5-DIHYDROFURAN	70.091	-----	339.00	542.00	55.00	216.0	0.3245	0.264	0.229
265	C4H6O	DIVINYL ETHER	70.091	172.05	301.45	463.00	42.50	250.0	0.2804	0.276	0.291
266	C4H6O	METHACROLEIN	70.091	192.15	341.15	530.00	42.50	250.0	0.2804	0.241	0.246
267	C4H6O2	2-BUTYNE-1,4-DIOL	86.090	331.00	511.15	695.00	58.60	256.0	0.3363	0.260	1.134
268	C4H6O2	gamma-BUTYROLACTONE	86.090	229.78	477.15	739.00	59.40	265.0	0.3249	0.256	0.369
269	C4H6O2	cis-CROTONIC ACID	86.090	288.65	445.05	647.00	47.00	270.0	0.3189	0.236	0.572
270	C4H6O2	trans-CROTONIC ACID	86.090	344.55	458.15	666.00	47.00	270.0	0.3189	0.229	0.578
271	C4H6O2	METHACRYLIC ACID	86.090	288.15	434.15	643.00	47.00	270.0	0.3189	0.237	0.468
272	C4H6O2	METHYL ACRYLATE	86.090	196.32	353.35	536.00	42.50	270.0	0.3189	0.258	0.348
273	C4H6O2	VINYL ACETATE	86.090	180.35	345.65	524.00	42.50	270.0	0.3189	0.263	0.338
274	C4H6O3	ACETIC ANHYDRIDE	102.090	200.15	411.78	569.15	46.81	290.0	0.3520	0.287	0.840
275	C4H6O4	SUCCINIC ACID	118.089	461.15	591.00	806.00	47.10	300.0	0.3936	0.211	0.991
276	C4H6O5	DIGLYCOLIC ACID	134.089	421.15	610.00	820.00	44.20	331.0	0.4051	0.215	1.081
277	C4H6O5	MALIC ACID	134.089	403.15	602.00	781.00	50.70	331.0	0.4051	0.258	1.530
278	C4H6O6	TARTARIC ACID	150.088	479.15	660.00	828.00	51.80	305.0	0.4921	0.230	2.011
279	C4H7N	n-BUTYRONITRILE	69.106	161.25	390.75	582.25	37.90	278.0	0.2486	0.218	0.371
280	C4H7N	ISOBUTYRONITRILE	69.106	201.70	376.76	565.00	37.60	278.0	0.2486	0.223	0.338
281	C4H7NO	ACETONE CYANOHYDRIN	85.106	253.15	463.00	647.00	42.50	296.0	0.2875	0.234	0.733
282	C4H7NO	2-METHACRYLAMIDE	85.106	383.65	488.00	741.00	54.50	298.0	0.2856	0.264	0.421
283	C4H7NO	3-METHOXYPROPIONITRILE	85.106	210.12	439.00	638.00	36.30	324.0	0.2627	0.222	0.465
284	C4H7NO	2-PYRROLIDONE	85.106	298.15	518.15	792.00	61.70	264.0	0.3224	0.247	0.434
285	C4H8	1-BUTENE	56.107	87.80	266.90	419.59	40.20	239.9	0.2338	0.276	0.187
286	C4H8	cis-2-BUTENE	56.107	134.26	276.87	435.58	42.06	234.0	0.2398	0.272	0.203
287	C4H8	trans-2-BUTENE	56.107	167.62	274.03	428.63	41.02	238.2	0.2356	0.274	0.218
288	C4H8	CYCLOBUTANE	56.107	182.48	285.66	459.93	49.85	210.2	0.2670	0.274	0.187
289	C4H8	ISOBUTENE	56.107	132.81	266.25	417.90	39.99	238.9	0.2349	0.275	0.189
290	C4H8Br2	1,2-DIBROMOBUTANE	215.915	207.76	439.46	659.28	47.17	377.5	0.5720	0.325	0.429
291	C4H8Br2	2,3-DIBROMOBUTANE	215.915	238.66	434.16	656.96	47.69	371.5	0.5812	0.324	0.397
292	C4H8Cl2	1,4-DICHLOROBUTANE	127.013	235.85	427.05	641.00	36.10	343.0	0.3703	0.232	0.322
293	C4H8I2	1,2-DIODOBUTANE	309.916	279.06	476.76	726.41	37.27	429.5	0.7216	0.265	0.281
294	C4H8O	n-BUTYRALDEHYDE	72.107	176.75	347.95	525.00	40.00	263.0	0.2742	0.241	0.345
295	C4H8O	ISOBUTYRALDEHYDE	72.107	208.15	337.25	507.00	41.00	263.0	0.2742	0.256	0.370
296	C4H8O	1,2-EPOXYBUTANE	72.107	123.15	336.57	526.00	43.90	258.0	0.2795	0.259	0.235
297	C4H8O	METHYL ETHYL KETONE	72.107	186.48	352.79	535.50	41.54	267.0	0.2701	0.249	0.324
298	C4H8O	ETHYL VINYL ETHER	72.107	157.35	308.70	475.15	40.73	263.0	0.2742	0.271	0.266
299	C4H8O	TETRAHYDROFURAN	72.107	164.65	338.00	540.15	51.88	223.9	0.3220	0.259	0.226
300	C4H8O2	cis-2-BUTENE-1,4-DIOL	88.106	284.15	508.15	677.88	52.00	279.0	0.3158	0.257	1.174
301	C4H8O2	trans-2-BUTENE-1,4-DIOL	88.106	300.45	510.00	681.00	52.00	279.0	0.3158	0.256	1.174
302	C4H8O2	ISOBUTYRIC ACID	88.106	227.15	427.85	609.15	40.53	292.0	0.3017	0.234	0.618
303	C4H8O2	n-BUTYRIC ACID	88.106	267.95	436.42	628.00	44.20	283.0	0.3113	0.240	0.604
304	C4H8O2	1,4-DIOXANE	88.106	284.95	374.47	587.00	52.08	238.0	0.3702	0.254	0.280
305	C4H8O2	ETHYL ACETATE	88.106	189.60	350.21	523.30	38.80	286.0	0.3081	0.255	0.366
306	C4H8O2	METHYL PROPIONATE	88.106	185.65	352.60	530.60	40.04	282.0	0.3124	0.256	0.353
307	C4H8O2	n-PROPYL FORMATE	88.106	180.25	353.97	538.00	40.63	285.0	0.3091	0.259	0.318
308	C4H8O2S	SULFOLANE	120.172	300.75	558.15	849.00	50.30	300.0	0.4006	0.214	0.382
309	C4H8S	TETRAHYDROTHIOPHENE	88.173	176.99	394.27	631.95	51.60	249.0	0.3541	0.245	0.199
310	C4H9Br	1-BROMOBUTANE	137.019	160.75	374.75	577.00	45.40	319.0	0.4295	0.302	0.323
311	C4H9Br	2-BROMOBUTANE	137.019	161.25	364.37	567.00	46.30	320.0	0.4282	0.314	0.268
312	C4H9Cl	n-BUTYL CHLORIDE	92.568	150.05	351.58	537.00	38.20	300.0	0.3086	0.257	0.274

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
313	C4H9Cl	sec-BUTYL CHLORIDE	92.568	141.85	341.25	520.60	39.00	300.0	0.3086	0.270	0.291
314	C4H9Cl	tert-BUTYL CHLORIDE	92.568	247.75	323.75	507.00	39.00	300.0	0.3086	0.278	0.194
315	C4H9I	2-IODO-2-METHYLPROPANE	184.020	234.96	373.16	587.90	38.82	336.5	0.5469	0.267	0.179
316	C4H9N	PYRROLIDINE	71.122	215.31	359.72	568.55	56.13	248.7	0.2860	0.295	0.275
317	C4H9NO	N,N-DIMETHYLACETAMIDE	87.122	253.15	439.25	658.00	40.30	321.0	0.2714	0.236	0.364
318	C4H9NO	MORPHOLINE	87.122	270.05	401.15	618.00	53.40	276.0	0.3157	0.287	0.358
319	C4H9NO2	1-NITROBUTANE	103.121	191.83	426.05	624.00	38.00	341.5	0.3020	0.260	0.452
320	C4H9NO2	2-NITROBUTANE	103.121	141.16	412.85	615.00	36.00	335.5	0.3074	0.264	0.357
321	C4H10	n-BUTANE	58.123	134.86	272.65	425.18	37.97	254.9	0.2280	0.274	0.199
322	C4H10	ISOBUTANE	58.123	113.54	261.43	408.14	36.48	262.7	0.2213	0.282	0.177
323	C4H10N2	PIPERAZINE	86.137	379.15	419.15	638.00	55.30	310.0	0.2779	0.323	0.414
324	C4H10O	n-BUTANOL	74.123	183.85	390.81	562.93	44.13	274.5	0.2700	0.259	0.595
325	C4H10O	sec-BUTANOL	74.123	158.45	372.70	536.01	41.94	268.0	0.2766	0.252	0.571
326	C4H10O	tert-BUTANOL	74.123	298.97	355.57	506.20	39.72	275.0	0.2695	0.260	0.616
327	C4H10O	DIETHYL ETHER	74.123	156.85	307.58	466.70	36.38	280.0	0.2647	0.262	0.285
328	C4H10O	METHYL-PROPYL-ETHER	74.122	156.87	311.72	476.20	38.00	274.0	0.2705	0.263	0.271
329	C4H10O	METHYL ISOPROPYL ETHER	74.123	127.93	303.92	464.50	38.80	276.0	0.2686	0.277	0.279
330	C4H10O	ISOBUTANOL	74.123	165.15	380.81	547.73	42.95	272.0	0.2725	0.257	0.589
331	C4H10O2	1,3-BUTANEDIOL	90.122	196.15	480.15	643.00	50.00	292.0	0.3086	0.273	1.146
332	C4H10O2	1,4-BUTANEDIOL	90.122	293.05	501.15	667.00	48.80	297.0	0.3034	0.261	1.189
333	C4H10O2	2,3-BUTANEDIOL	90.122	280.75	453.85	611.00	51.30	267.0	0.3375	0.270	1.106
334	C4H10O2	t-BUTYL HYDROPEROXIDE	90.122	277.45	405.50	576.00	43.40	290.0	0.3108	0.263	0.668
335	C4H10O2	1,2-DIMETHOXYETHANE	90.122	215.15	357.20	536.15	38.70	270.6	0.3330	0.235	0.346
336	C4H10O2	2-ETHOXYETHANOL	90.122	-----	408.15	569.00	42.40	294.0	0.3065	0.264	0.759
337	C4H10O3	DIETHYLENE GLYCOL	106.122	262.70	518.15	744.60	46.00	312.0	0.3401	0.232	0.621
338	C4H10O4S	DIETHYL SULFATE	154.187	248.00	483.00	792.00	68.90	398.0	0.3874	0.416	0.162
339	C4H10S	n-BUTYL MERCAPTAN	90.189	157.46	371.61	569.00	39.70	307.0	0.2938	0.258	0.278
340	C4H10S	ISOBUTYL MERCAPTAN	90.189	128.31	361.64	559.00	40.60	307.0	0.2938	0.268	0.252
341	C4H10S	sec-BUTYL MERCAPTAN	90.189	133.02	358.13	554.00	40.60	307.0	0.2938	0.271	0.248
342	C4H10S	tert-BUTYL MERCAPTAN	90.189	274.26	337.37	530.00	40.60	307.0	0.2938	0.273	0.191
343	C4H10S	DIETHYL SULFIDE	90.189	169.20	365.25	557.15	39.62	318.0	0.2836	0.272	0.294
344	C4H10S	ISOPROPYL-METHYL-SULFIDE	90.183	171.65	357.90	551.00	39.00	307.5	0.2933	0.269	0.259
345	C4H10S	METHYL-PROPYL-SULFIDE	90.183	160.19	368.71	563.00	38.50	313.5	0.2877	0.266	0.285
346	C4H10S2	DIETHYL DISULFIDE	122.255	171.63	427.13	642.00	38.70	358.0	0.3415	0.260	0.346
347	C4H11N	n-BUTYLAMINE	73.138	224.05	350.55	531.90	42.00	313.0	0.2337	0.297	0.330
348	C4H11N	ISOBUTYLAMINE	73.138	188.55	340.88	513.73	42.15	312.0	0.2344	0.308	0.363
349	C4H11N	sec-BUTYLAMINE	73.138	168.65	336.15	514.30	40.00	310.0	0.2359	0.290	0.282
350	C4H11N	tert-BUTYLAMINE	73.138	206.19	317.55	483.90	38.40	293.0	0.2496	0.280	0.275
351	C4H11N	DIETHYLAMINE	73.138	223.35	328.60	496.60	37.09	301.0	0.2430	0.270	0.304
352	C4H11NO	DIMETHYLETHANOLAMINE	89.137	214.15	407.15	571.82	41.40	300.0	0.2971	0.261	0.711
353	C4H11NO2	DIETHANOLAMINE	105.137	301.15	542.04	715.00	32.70	349.0	0.3013	0.192	1.046
354	C4H11NO2	2-AMINOETHOXYETHANOL	105.137	-----	514.00	699.00	43.60	330.0	0.3186	0.248	0.969
355	C4H12N2O	N-AMINOETHYL ETHANOLAMINE	104.152	-----	517.00	698.00	44.60	387.0	0.2691	0.297	1.050
356	C4H12Si	TETRAMETHYLSILANE	88.225	174.07	299.80	450.40	28.14	357.0	0.2471	0.268	0.224
357	C4H13N3	DIETHYLENE TRIAMINE	103.167	234.15	480.25	676.00	42.20	342.0	0.3017	0.257	0.700
358	C5Cl6	HEXACHLOROCYCLOPENTADIENE	272.771	284.49	512.15	746.00	30.10	526.0	0.5186	0.255	0.369
359	C5H4O2	FURFURAL	96.086	236.65	434.85	657.00	55.12	252.0	0.3813	0.254	0.444
360	C5H5N	PYRIDINE	79.101	231.53	388.41	619.95	56.34	254.0	0.3114	0.278	0.239
361	C5H6	CYCLOPENTADIENE	66.103	188.15	314.65	507.00	51.50	225.0	0.2938	0.275	0.212
362	C5H6	2-METHYL-1-BUTENE-3-YNE	66.103	160.15	305.40	492.00	43.80	248.0	0.2665	0.266	0.137
363	C5H6	1-PENTENE-3-YNE	66.103	-----	332.40	520.00	44.00	256.0	0.2582	0.261	0.252
364	C5H6	1-PENTENE-4-YNE	66.103	-----	315.65	503.00	44.00	256.0	0.2582	0.269	0.179
365	C5H6N2	GLUTARONITRILE	94.116	244.21	559.15	782.00	31.50	352.0	0.2674	0.171	0.603
366	C5H6O2	FURFURYL ALCOHOL	98.101	258.52	443.15	632.00	53.50	263.0	0.3730	0.268	0.736
367	C5H6O3	GLUTARIC ANHYDRIDE	114.101	328.00	562.69	838.00	58.00	275.0	0.4149	0.229	0.537
368	C5H6O4	CITRACONIC ACID	130.100	356.15	607.00	829.00	42.40	340.0	0.3826	0.209	0.927
369	C5H6O4	ITACONIC ACID	130.100	438.75	601.00	821.00	42.40	340.0	0.3826	0.211	0.925
370	C5H6S	2-METHYLTHIOPHENE	98.162	209.77	385.71	610.00	48.50	275.5	0.3563	0.265	0.238
371	C5H6S	3-METHYLTHIOPHENE	98.162	204.18	388.60	615.00	49.50	275.5	0.3563	0.263	0.242
372	C5H7N	N-METHYLPIRROLE	81.117	216.91	385.89	610.00	47.70	283.0	0.2866	0.266	0.213
373	C5H7NO2	ETHYL CYANOACETATE	113.116	250.65	479.15	679.00	33.40	358.0	0.3160	0.212	0.573
374	C5H8	CYCLOPENTENE	68.118	138.13	317.38	507.00	47.90	240.0	0.2838	0.273	0.195
375	C5H8	ISOPRENE	68.118	127.27	307.21	484.00	38.50	276.0	0.2468	0.264	0.158
376	C5H8	3-METHYL-1,2-BUTADIENE	68.118	159.53	314.00	490.00	38.30	291.0	0.2341	0.274	0.187
377	C5H8	2-METHYL-1,3-BUTADIENE	68.118	127.20	307.22	483.30	37.40	266.0	0.2561	0.248	0.164
378	C5H8	1,2-PENTADIENE	68.118	135.89	318.01	500.00	38.00	276.0	0.2468	0.252	0.154
379	C5H8	cis-1,3-PENTADIENE	68.118	132.35	317.22	499.00	37.40	276.0	0.2468	0.249	0.147
380	C5H8	trans-1,3-PENTADIENE	68.118	185.71	315.17	500.00	37.40	276.0	0.2468	0.248	0.116
381	C5H8	1,4-PENTADIENE	68.118	124.86	299.11	479.00	37.40	303.0	0.2248	0.285	0.084
382	C5H8	2,3-PENTADIENE	68.118	147.50	321.40	497.00	38.00	295.0	0.2309	0.271	0.218
383	C5H8	1-PENTYNE	68.118	167.45	313.33	481.20	41.70	277.0	0.2459	0.289	0.290
384	C5H8	2-PENTYNE	68.118	163.86	329.22	521.99	42.28	277.5	0.2455	0.270	0.186
385	C5H8	3-METHYL-1-BUTYNE	68.118	183.45	302.15	463.20	42.00	275.0	0.2477	0.300	0.308
386	C5H8	SPIROPENTANE	68.118	166.11	312.19	499.74	52.13	236.5	0.2880	0.297	0.221
387	C5H8N4O12	PENTAERYTHRITOL TETRANITRATE	316.138	413.65	543.00	676.00	22.40	731.0	0.4325	0.291	1.451
388	C5H8O	CYCLOPENTANONE	84.118	221.85	403.80	626.00	58.50	258.0	0.3260	0.290	0.388
389	C5H8O	METHYL ISOPROPENYL KETONE	84.118	219.55	371.15	566.00	38.90	302.0	0.2785	0.250	0.286
390	C5H8O2	ACETYLACETONE	100.117	249.65	413.55	602.00	39.60	323.0	0.3100	0.256	0.496

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
391	C5H8O2	ALLYL ACETATE	100.117	138.00	377.15	559.00	36.80	323.0	0.3100	0.256	0.388
392	C5H8O2	ETHYL ACRYLATE	100.117	201.95	372.65	553.00	36.80	323.0	0.3100	0.259	0.378
393	C5H8O2	METHYL METHACRYLATE	100.117	224.95	373.45	564.00	36.80	323.0	0.3100	0.253	0.317
394	C5H8O2	VINYL PROPIONATE	100.117	-----	364.35	546.00	36.80	323.0	0.3100	0.262	0.336
395	C5H8O3	2-HYDROXYETHYL ACRYLATE	116.117	213.00	484.00	662.00	39.80	359.0	0.3234	0.260	0.864
396	C5H8O3	LEVULINIC ACID	116.117	308.15	518.95	723.00	40.20	343.0	0.3385	0.229	0.787
397	C5H8O3	METHYL ACETOACETATE	116.117	193.15	444.85	642.00	37.10	343.0	0.3385	0.238	0.513
398	C5H8O4	GLUTARIC ACID	132.116	370.65	595.54	807.00	40.40	363.0	0.3640	0.219	0.959
399	C5H9N	VALERONITRILE	83.133	176.95	414.45	603.00	32.60	331.0	0.2512	0.215	0.415
400	C5H9NO	n-BUTYL ISOCYANATE	99.133	-----	388.15	568.00	34.40	360.0	0.2754	0.262	0.415
401	C5H9NO	N-METHYL-2-PYRROLIDONE	99.133	249.15	475.15	724.00	47.80	316.0	0.3137	0.251	0.358
402	C5H9NO4	L-GLUTAMIC ACID	147.131	497.15	670.00	886.00	41.34	383.3	0.3839	0.215	1.197
403	C5H10	CYCLOPENTANE	70.134	179.31	322.40	511.76	45.02	258.3	0.2715	0.273	0.194
404	C5H10	2-METHYL-1-BUTENE	70.134	135.58	304.30	485.00	34.00	292.0	0.2402	0.257	0.229
405	C5H10	2-METHYL-2-BUTENE	70.134	139.39	311.71	471.00	34.00	292.0	0.2402	0.254	0.277
406	C5H10	3-METHYL-1-BUTENE	70.134	104.66	293.21	450.37	35.16	302.1	0.2322	0.284	0.229
407	C5H10	1-PENTENE	70.134	107.93	303.11	464.78	35.29	296.0	0.2369	0.270	0.233
408	C5H10	cis-2-PENTENE	70.134	121.75	310.08	475.93	36.54	302.1	0.2322	0.279	0.241
409	C5H10	trans-2-PENTENE	70.134	132.89	309.49	475.37	36.54	302.1	0.2322	0.279	0.237
410	C5H10Br2	2,3-DIBROMO-2-METHYLBUTANE	229.942	288.00	444.01	668.37	42.55	422.5	0.5442	0.324	0.377
411	C5H10Cl2	1,5-DICHLOROPENTANE	141.040	200.35	453.15	663.00	31.90	422.0	0.3342	0.244	0.385
412	C5H10O	METHYL ISOPROPYL KETONE	86.134	181.15	367.55	553.00	38.50	310.0	0.2779	0.260	0.350
413	C5H10O	2-PENTANONE	86.134	196.29	375.46	561.08	36.94	301.0	0.2862	0.238	0.346
414	C5H10O	DIETHYL KETONE	86.134	234.18	375.14	560.95	37.39	336.0	0.2564	0.269	0.350
415	C5H10O	VALERALDEHYDE	86.134	182.00	376.15	554.00	35.00	316.0	0.2726	0.240	0.393
416	C5H10O2	n-BUTYL FORMATE	102.133	181.25	379.25	559.00	35.10	336.0	0.3040	0.254	0.384
417	C5H10O2	ETHYL PROPIONATE	102.133	199.25	372.25	546.00	33.62	345.0	0.2960	0.256	0.394
418	C5H10O2	ISOBUTYL FORMATE	102.133	177.35	371.22	551.35	38.81	352.0	0.2902	0.298	0.390
419	C5H10O2	ISOPROPYL ACETATE	102.133	199.75	361.65	538.00	35.80	336.0	0.3040	0.269	0.355
420	C5H10O2	n-PROPYL ACETATE	102.133	178.15	374.65	549.40	33.60	345.0	0.2960	0.254	0.394
421	C5H10O2	METHYL n-BUTYRATE	102.133	187.35	375.90	554.50	34.73	340.0	0.3004	0.256	0.381
422	C5H10O2	2-METHYLBUTYRIC ACID	102.133	-----	450.15	643.00	38.90	347.0	0.2943	0.252	0.589
423	C5H10O2	ISOVALERIC ACID	102.133	243.85	448.25	634.00	38.90	336.0	0.3040	0.248	0.648
424	C5H10O2	VALERIC ACID	102.133	239.15	458.65	651.00	38.10	336.0	0.3040	0.237	0.627
425	C5H10O2	TETRAHYDROFURFURYL ALCOHOL	102.133	-----	451.15	639.00	46.60	290.0	0.3522	0.254	0.703
426	C5H10O2S	3-METHYL SULFOLANE	134.199	273.65	549.15	817.00	42.40	353.0	0.3802	0.220	0.419
427	C5H10O3	DIETHYL CARBONATE	118.133	230.15	399.95	576.00	33.90	356.0	0.3318	0.252	0.485
428	C5H10O3	ETHYL LACTATE	118.133	247.15	427.65	588.00	38.60	354.0	0.3337	0.280	0.793
429	C5H10S	THIACYCLOHEXANE	102.194	292.14	414.90	657.12	46.53	295.5	0.3458	0.252	0.220
430	C5H10S	CYCLOPENTANETHIOL	102.194	155.39	405.33	629.00	42.70	310.5	0.3291	0.276	0.262
431	C5H11Br	1-BROMOPENTANE	151.046	185.26	402.74	564.76	37.68	377.5	0.4001	0.303	0.384
432	C5H11Cl	1-CHLOROPENTANE	106.595	174.15	381.54	568.00	33.50	352.0	0.3028	0.250	0.334
433	C5H11Cl	1-CHLORO-3-METHYLBUTANE	106.595	168.76	371.66	558.87	33.53	358.5	0.2973	0.259	0.293
434	C5H11Cl	2-CHLORO-2-METHYLBUTANE	106.595	199.66	358.76	548.97	33.96	353.5	0.3015	0.263	0.233
435	C5H11N	N-METHYLPYRROLIDINE	85.149	183.15	352.30	550.00	42.00	298.0	0.2857	0.274	0.227
436	C5H11N	PIPERIDINE	86.149	262.65	379.55	594.05	46.51	308.0	0.2765	0.290	0.243
437	C5H11NO	tert-BUTYLFORMAMIDE	101.148	289.15	475.15	692.00	35.60	383.0	0.2841	0.237	0.449
438	C5H12	ISOPENTANE	72.150	113.25	300.99	460.43	33.81	305.8	0.2359	0.270	0.228
439	C5H12	NEOPENTANE	72.150	256.58	282.65	433.78	31.99	303.6	0.2377	0.269	0.196
440	C5H12	n-PENTANE	72.150	143.42	309.22	469.65	33.69	312.3	0.2310	0.269	0.249
441	C5H12O	2,2-DIMETHYL-1-PROPANOL	88.150	327.15	386.25	550.00	38.80	327.0	0.2696	0.277	0.604
442	C5H12O	tert-PENTYL-ALCOHOL	88.149	327.00	386.30	549.00	39.71	323.5	0.2725	0.280	0.621
443	C5H12O	2-METHYL-1-BUTANOL	88.150	-----	401.85	565.00	38.80	327.0	0.2696	0.270	0.678
444	C5H12O	2-METHYL-2-BUTANOL	88.150	264.35	375.15	545.15	38.80	327.0	0.2696	0.280	0.483
445	C5H12O	3-METHYL-1-BUTANOL	88.150	155.95	404.35	579.45	38.80	327.0	0.2696	0.263	0.556
446	C5H12O	3-METHYL-2-BUTANOL	88.150	-----	384.65	574.00	39.60	327.0	0.2696	0.271	0.351
447	C5H12O	1-PENTANOL	88.150	195.56	410.95	586.15	38.80	326.0	0.2704	0.260	0.594
448	C5H12O	2-PENTANOL	88.150	200.00	392.15	552.00	38.80	327.0	0.2696	0.276	0.675
449	C5H12O	3-PENTANOL	88.150	204.15	388.45	547.00	38.80	327.0	0.2696	0.279	0.675
450	C5H12O	METHYL sec-BUTYL ETHER	88.150	-----	332.15	498.00	34.10	329.0	0.2679	0.271	0.306
451	C5H12O	METHYL tert-BUTYL ETHER	88.150	164.55	328.35	497.10	34.30	329.0	0.2679	0.273	0.267
452	C5H12O	METHYL ISOBUTYL ETHER	88.150	-----	331.70	497.00	34.10	329.0	0.2679	0.272	0.310
453	C5H12O	ETHYL PROPYL ETHER	88.150	145.65	337.01	500.23	33.70	339.0	0.2600	0.275	0.346
454	C5H12O2	ETHYLENE GLYCOL MONOPROPYL ETHER	104.149	183.15	424.50	582.00	36.70	347.0	0.3001	0.263	0.783
455	C5H12O2	NEOPENTYL GLYCOL	104.149	400.00	483.00	643.00	42.40	345.0	0.3019	0.274	1.143
456	C5H12O2	1,5-PENTANEDIOL	104.149	257.15	512.15	673.00	41.50	345.0	0.3019	0.256	1.220
457	C5H12O3	2-(2-METHOXYETHOXY)ETHANOL	120.148	197.15	466.75	630.00	35.40	367.0	0.3274	0.248	0.870
458	C5H12O4	PENTAERYTHRITOL	136.148	534.15	631.00	780.00	47.80	381.0	0.3573	0.281	2.120
459	C5H12S	n-PENTYL MERCAPTAN	104.216	197.45	399.79	598.00	34.70	359.0	0.2903	0.251	0.321
460	C5H12S	BUTYL-METHYL-SULFIDE	104.210	175.33	396.58	591.00	33.80	369.5	0.2820	0.265	0.332
461	C5H12S	ETHYL-PROPYL-SULFIDE	104.210	156.15	391.65	584.00	33.80	369.5	0.2820	0.268	0.329
462	C5H12S	2-METHYL-2-BUTANETHIOL	104.210	169.38	372.28	566.00	32.70	358.5	0.2907	0.288	0.243
463	C5H13N	n-PENTYLAMINE	87.165	218.15	377.65	555.00	35.80	365.0	0.2388	0.283	0.407
464	C5H13NO2	METHYL DIETHANOLAMINE	119.164	252.15	520.15	678.00	38.80	401.0	0.2972	0.276	1.302
465	C6Cl6	HEXACHLOROBENZENE	284.782	501.70	582.55	825.00	28.50	526.0	0.5414	0.219	0.497
466	C6F6	HEXAFLUOROBENZENE	186.056	278.25	353.41	516.73	32.73	335.0	0.5554	0.255	0.395
467	C6H3ClN2O4	1-CHLORO-2,4-DINITROBENZENE	202.554	326.55	588.00	813.77	34.90	478.0	0.4238	0.247	0.732
468	C6H3Cl2NO2	1,2-DICHLORO-4-NITROBENZENE	192.001	315.65	529.00	758.00	36.00	436.0	0.4404	0.249	0.539

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
469	C6H3Cl3	1,2,4-TRICHLOROBENZENE	181.448	290.15	486.15	725.00	37.20	395.0	0.4594	0.244	0.358
470	C6H3N3O6	1,3,5-TRINITROBENZENE	213.106	398.40	748.00	1005.00	33.90	520.0	0.4098	0.211	0.808
471	C6H4Br2	m-DIBROMOBENZENE	235.906	266.25	491.15	761.00	46.60	372.0	0.6342	0.274	0.293
472	C6H4ClNO2	m-CHLORONITROBENZENE	157.556	317.65	508.75	742.00	39.80	432.0	0.3647	0.279	0.489
473	C6H4ClNO2	o-CHLORONITROBENZENE	157.556	306.15	519.00	757.00	39.80	432.0	0.3647	0.273	0.483
474	C6H4ClNO2	p-CHLORONITROBENZENE	157.556	356.65	515.15	751.00	39.80	432.0	0.3647	0.275	0.491
475	C6H4Cl2	m-DICHLOROBENZENE	147.003	248.39	446.23	683.95	40.70	351.0	0.4188	0.251	0.279
476	C6H4Cl2	o-DICHLOROBENZENE	147.003	256.15	453.57	705.00	40.70	351.0	0.4188	0.244	0.219
477	C6H4Cl2	p-DICHLOROBENZENE	147.003	326.14	447.21	684.75	40.70	351.0	0.4188	0.251	0.285
478	C6H4F2	m-DIFLUOROBENZENE	114.094	249.16	363.66	552.94	40.67	299.5	0.3809	0.265	0.320
479	C6H4F2	o-DIFLUOROBENZENE	114.094	239.16	364.66	554.46	40.67	299.5	0.3809	0.264	0.320
480	C6H4F2	p-DIFLUOROBENZENE	114.094	260.16	362.00	556.00	44.00	299.5	0.3809	0.266	0.299
481	C6H4N2O4	m-DINITROBENZENE	168.109	364.00	573.00	805.00	38.50	434.0	0.3873	0.250	0.682
482	C6H4N2O4	o-DINITROBENZENE	168.109	390.08	592.00	831.00	38.50	434.0	0.3873	0.242	0.687
483	C6H4N2O4	p-DINITROBENZENE	168.109	446.60	572.00	803.00	38.50	434.0	0.3873	0.250	0.686
484	C6H5Br	BROMOBENZENE	157.010	242.43	429.24	670.15	45.19	324.0	0.4846	0.263	0.251
485	C6H5Cl	MONOCHLOROBENZENE	112.558	227.95	404.87	632.35	45.19	308.0	0.3654	0.265	0.251
486	C6H5ClO	m-CHLOROPHENOL	128.558	306.00	487.00	729.00	53.20	320.0	0.4017	0.281	0.486
487	C6H5ClO	o-CHLOROPHENOL	128.558	282.00	447.53	675.00	50.00	325.0	0.3956	0.290	0.437
488	C6H5ClO	p-CHLOROPHENOL	128.558	316.00	493.11	738.00	53.20	325.0	0.3956	0.282	0.485
489	C6H5Cl2N	3,4-DICHLOROANILINE	162.018	344.65	545.00	800.00	41.10	409.0	0.3961	0.253	0.468
490	C6H5F	FLUOROBENZENE	96.104	230.94	357.88	560.09	45.51	269.0	0.3573	0.263	0.247
491	C6H5I	IODOBENZENE	204.010	241.83	461.60	721.15	45.19	351.0	0.5812	0.265	0.247
492	C6H5NO2	NITROBENZENE	123.111	278.91	483.95	719.00	44.00	349.0	0.3528	0.257	0.448
493	C6H6	BENZENE	78.114	278.68	353.24	562.16	48.98	258.9	0.3017	0.271	0.211
494	C6H6ClN	m-CHLOROANILINE	127.573	262.75	501.65	751.00	45.90	364.0	0.3505	0.268	0.420
495	C6H6ClN	o-CHLOROANILINE	127.573	481.99	481.99	722.00	45.90	364.0	0.3505	0.278	0.425
496	C6H6ClN	p-CHLOROANILINE	127.573	343.05	503.65	754.00	45.90	364.0	0.3505	0.267	0.421
497	C6H6N2	cis-DICYANO-1-BUTENE	106.127	249.00	501.00	691.00	29.50	392.0	0.2707	0.201	0.672
498	C6H6N2	trans-DICYANO-1-BUTENE	106.127	260.00	499.00	689.00	29.50	392.0	0.2707	0.202	0.664
499	C6H6N2	1,4-DICYANO-2-BUTENE	106.127	349.00	547.00	755.00	29.50	426.0	0.2491	0.200	0.667
500	C6H6N2O2	m-NITROANILINE	138.126	387.15	579.00	815.00	44.20	406.0	0.3402	0.265	0.740
501	C6H6N2O2	o-NITROANILINE	138.126	344.65	558.00	784.00	44.20	406.0	0.3402	0.275	0.741
502	C6H6N2O2	p-NITROANILINE	138.126	420.65	609.15	851.00	44.20	406.0	0.3402	0.254	0.782
503	C6H6O	PHENOL	94.113	314.06	454.99	694.25	61.30	229.0	0.4110	0.243	0.426
504	C6H6O2	1,2-BENZENEDIOL	110.112	377.60	518.65	764.00	74.90	300.0	0.3670	0.354	0.701
505	C6H6O2	1,3-BENZENEDIOL	110.112	382.00	549.65	810.00	74.90	300.0	0.3670	0.334	0.677
506	C6H6O2	p-HYDROQUINONE	110.112	444.65	558.15	822.00	74.50	300.0	0.3670	0.327	0.686
507	C6H6O3	1,2,3-BENZENETRIOL	126.112	407.00	581.85	830.00	88.10	318.0	0.3966	0.406	0.945
508	C6H6S	PHENYL MERCAPTAN	110.180	258.26	442.29	689.00	47.40	315.0	0.3498	0.261	0.263
509	C6H7N	ANILINE	93.128	267.13	457.60	699.00	53.09	270.0	0.3449	0.247	0.404
510	C6H7N	2-METHYLPYRIDINE	93.128	206.44	402.55	621.00	43.80	320.0	0.2910	0.271	0.278
511	C6H7N	3-METHYLPYRIDINE	93.128	255.01	417.29	645.00	43.80	320.0	0.2910	0.261	0.271
512	C6H7N	4-METHYLPYRIDINE	93.128	276.73	418.50	646.15	46.61	325.6	0.2860	0.283	0.302
513	C6H8	1,3-CYCLOHEXADIENE	80.130	161.00	353.49	558.00	47.30	277.0	0.2893	0.282	0.231
514	C6H8	METHYLCYCLOPENTADIENE	80.130	-----	345.93	541.00	44.30	279.0	0.2872	0.275	0.238
515	C6H8N2	ADIPONITRILE	108.143	275.64	568.15	781.00	28.30	406.0	0.2664	0.177	0.672
516	C6H8N2	METHYLGLUTARONITRILE	108.143	228.15	536.15	742.00	28.80	404.0	0.2677	0.189	0.638
517	C6H8N2	m-PHENYLENEDIAMINE	108.143	334.00	560.00	824.00	51.80	377.0	0.2869	0.285	0.543
518	C6H8N2	o-PHENYLENEDIAMINE	108.143	376.95	525.00	781.00	51.80	315.0	0.3433	0.251	0.494
519	C6H8N2	p-PHENYLENEDIAMINE	108.143	413.00	540.00	796.00	51.80	317.0	0.3411	0.248	0.539
520	C6H8N2	PHENYLHYDRAZINE	108.143	292.35	516.65	761.00	49.10	418.0	0.2587	0.324	0.535
521	C6H8N2O	BIS(CYANOETHYL)ETHER	124.142	246.85	579.00	783.00	28.30	377.0	0.3293	0.164	0.782
522	C6H8O4	DIMETHYL MALEATE	144.127	254.15	478.15	675.00	32.20	403.0	0.3576	0.231	0.562
523	C6H8O6	ASCORBIC ACID	176.126	465.15	637.00	783.00	52.90	339.0	0.5195	0.275	2.389
524	C6H8O7	CITRIC ACID	192.125	426.15	659.00	822.00	37.98	419.7	0.4578	0.233	1.857
525	C6H10	1-METHYLCYCLOPENTENE	82.145	145.96	348.95	541.99	37.90	311.2	0.2640	0.273	0.219
526	C6H10	3-METHYLCYCLOPENTENE	82.145	130.16	343.16	535.71	40.16	298.5	0.2752	0.269	0.221
527	C6H10	4-METHYLCYCLOPENTENE	82.145	112.31	348.31	543.75	40.16	298.5	0.2752	0.265	0.221
528	C6H10	CYCLOHEXENE	82.145	169.67	356.12	560.40	43.50	291.0	0.2823	0.272	0.214
529	C6H10	2,3-DIMETHYL-1,3-BUTADIENE	82.145	197.15	341.93	526.00	35.20	315.0	0.2608	0.254	0.214
530	C6H10	1,5-HEXADIENE	82.145	132.47	332.61	507.00	33.50	339.0	0.2423	0.269	0.232
531	C6H10	cis,trans-2,4-HEXADIENE	82.145	177.05	356.65	538.00	33.50	331.0	0.2482	0.248	0.275
532	C6H10	trans,trans-2,4-HEXADIENE	82.145	228.25	355.05	535.00	33.50	331.0	0.2482	0.249	0.282
533	C6H10	1-HEXYNE	82.145	141.25	344.48	516.20	36.20	322.0	0.2551	0.272	0.333
534	C6H10	2-HEXYNE	82.145	183.65	357.67	549.00	35.30	331.0	0.2482	0.256	0.221
535	C6H10	3-HEXYNE	82.145	170.05	354.35	544.00	35.30	331.0	0.2482	0.258	0.218
536	C6H10O	CYCLOHEXANONE	98.145	242.00	428.90	629.15	38.50	311.0	0.3156	0.229	0.450
537	C6H10O	MESITYL OXIDE	98.145	220.15	402.95	600.00	34.10	355.0	0.2765	0.243	0.327
538	C6H10O2	epsilon-CAPROLACTONE	114.144	271.85	514.00	771.00	46.30	352.0	0.3243	0.254	0.442
539	C6H10O2	ETHYL METHACRYLATE	114.144	-----	390.15	577.00	32.50	375.0	0.3044	0.254	0.344
540	C6H10O2	n-PROPYL ACRYLATE	114.144	-----	392.15	569.00	32.50	376.0	0.3036	0.258	0.434
541	C6H10O3	ETHYLACETOACETATE	130.144	234.15	453.95	643.00	32.70	391.0	0.3328	0.239	0.561
542	C6H10O3	PROPIONIC ANHYDRIDE	130.144	228.15	442.15	618.00	33.40	396.0	0.3286	0.257	0.618
543	C6H10O4	ADIPIIC ACID	146.143	425.50	611.00	809.00	35.30	400.0	0.3654	0.210	1.054
544	C6H10O4	DIETHYL OXALATE	146.143	232.55	458.85	646.00	30.90	416.0	0.3513	0.239	0.568
545	C6H10O4	ETHYLENE GLYCOL DIACETATE	146.143	242.15	463.65	653.00	30.90	416.0	0.3513	0.237	0.560
546	C6H10O4	ETHYLIDENE DIACETATE	146.143	292.00	442.15	635.00	32.60	406.0	0.3600	0.251	0.478

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
547	C6H11N	HEXANENITRILE	97.160	192.85	436.75	622.05	29.20	384.0	0.2530	0.217	0.474
548	C6H11NO	epsilon-CAPROLACTAM	113.159	342.36	543.15	806.00	47.70	356.0	0.3179	0.253	0.477
549	C6H11NO	CYCLOHEXANONE OXIME	113.159	363.15	481.15	715.00	46.90	369.0	0.3067	0.291	0.462
550	C6H12	CYCLOHEXANE	84.161	279.69	353.87	553.54	40.75	307.9	0.2734	0.273	0.212
551	C6H12	2,3-DIMETHYL-1-BUTENE	84.161	115.89	328.76	500.00	32.20	349.0	0.2411	0.270	0.227
552	C6H12	2,3-DIMETHYL-2-BUTENE	84.161	198.82	346.35	524.00	31.60	372.0	0.2262	0.270	0.233
553	C6H12	3,3-DIMETHYL-1-BUTENE	84.161	157.95	314.40	480.00	32.90	333.0	0.2527	0.275	0.226
554	C6H12	2-ETHYL-1-BUTENE	84.161	141.61	337.82	512.00	31.60	364.0	0.2312	0.270	0.228
555	C6H12	trans-3-METHYL-2-PENTENE	84.161	134.70	343.60	521.00	32.90	350.0	0.2405	0.270	0.207
556	C6H12	1-HEXENE	84.161	133.39	336.63	504.03	31.40	354.0	0.2377	0.265	0.280
557	C6H12	cis-2-HEXENE	84.161	132.00	342.03	513.00	31.60	359.0	0.2344	0.266	0.272
558	C6H12	trans-2-HEXENE	84.161	140.17	341.02	513.00	31.60	360.0	0.2338	0.267	0.261
559	C6H12	cis-3-HEXENE	84.161	135.33	339.60	509.00	31.70	351.0	0.2398	0.263	0.279
560	C6H12	trans-3-HEXENE	84.161	159.73	340.24	509.00	31.70	351.0	0.2398	0.263	0.285
561	C6H12	METHYLCYCLOPENTANE	84.161	130.73	344.96	532.79	37.85	318.9	0.2639	0.272	0.230
562	C6H12	2-METHYL-1-PENTENE	84.161	137.42	335.25	507.00	31.60	359.0	0.2344	0.269	0.241
563	C6H12	2-METHYL-2-PENTENE	84.161	138.07	340.45	514.00	31.60	363.0	0.2318	0.268	0.245
564	C6H12	3-METHYL-1-PENTENE	84.161	120.20	327.33	495.00	32.90	343.3	0.2452	0.274	0.264
565	C6H12	3-METHYL-cis-2-PENTENE	84.161	138.31	340.85	515.00	32.90	343.0	0.2454	0.264	0.259
566	C6H12	4-METHYL-1-PENTENE	84.161	119.51	327.01	496.00	32.20	345.0	0.2439	0.269	0.239
567	C6H12	4-METHYL-cis-2-PENTENE	84.161	138.30	329.53	499.00	32.20	346.0	0.2432	0.269	0.244
568	C6H12	4-METHYL-trans-2-PENTENE	84.161	132.35	331.75	501.00	32.20	346.0	0.2432	0.267	0.255
569	C6H12N2	TRIETHYLENEDIAMINE	112.175	434.25	447.15	655.00	39.10	382.0	0.2937	0.274	0.460
570	C6H12O	BUTYL VINYL ETHER	100.161	181.25	366.97	536.00	31.20	364.0	0.2752	0.255	0.380
571	C6H12O	CYCLOHEXANOL	100.161	296.60	434.00	625.15	37.49	322.0	0.3111	0.232	0.514
572	C6H12O	1-HEXANOL	100.161	217.15	401.45	579.00	31.10	369.0	0.2714	0.238	0.439
573	C6H12O	ETHYL ISOPROPYL KETONE	100.161	-----	386.55	567.00	33.20	369.0	0.2714	0.260	0.391
574	C6H12O	2-HEXANONE	100.161	217.35	400.85	587.05	33.24	369.0	0.2714	0.251	0.397
575	C6H12O	3-HEXANONE	100.161	217.50	396.65	582.82	33.20	364.0	0.2752	0.249	0.376
576	C6H12O	METHYL ISOBUTYL KETONE	100.161	189.15	389.65	571.40	32.73	369.0	0.2714	0.254	0.389
577	C6H12O2	n-PENTYL FORMATE	116.160	199.65	406.60	576.00	31.25	389.0	0.2986	0.254	0.528
578	C6H12O2	n-BUTYL ACETATE	116.160	199.65	399.15	579.65	31.10	389.0	0.2986	0.251	0.410
579	C6H12O2	sec-BUTYL ACETATE	116.160	174.15	385.15	561.00	31.70	389.0	0.2986	0.264	0.406
580	C6H12O2	tert-BUTYL ACETATE	116.160	-----	369.15	545.00	31.70	389.0	0.2986	0.272	0.343
581	C6H12O2	ETHYL n-BUTYRATE	116.160	175.15	394.65	571.00	30.60	421.0	0.2759	0.271	0.419
582	C6H12O2	ETHYL ISOBUTYRATE	116.160	185.00	383.00	553.15	30.40	410.0	0.2833	0.271	0.426
583	C6H12O2	ISOBUTYL ACETATE	116.160	174.30	389.80	561.00	31.60	389.0	0.2986	0.264	0.454
584	C6H12O2	n-PROPYL PROPIONATE	116.160	197.25	395.65	578.00	31.10	389.0	0.2986	0.252	0.376
585	C6H12O2	CYCLOHEXYL PEROXIDE	116.160	253.15	490.00	685.00	42.10	342.0	0.3396	0.253	0.751
586	C6H12O2	DIACETONE ALCOHOL	116.160	229.15	441.00	606.00	36.00	387.0	0.3002	0.277	0.757
587	C6H12O2	2-ETHYL BUTYRIC ACID	116.160	258.15	466.95	655.00	34.10	389.0	0.2986	0.244	0.633
588	C6H12O2	n-HEXANOIC ACID	116.160	270.15	478.85	667.00	33.50	389.0	0.2986	0.235	0.670
589	C6H12O3	2-ETHOXYETHYL ACETATE	132.159	211.45	429.45	597.00	24.62	409.0	0.3231	0.203	0.534
590	C6H12O3	HYDROXYCAPROIC ACID	132.159	334.00	576.00	758.00	36.40	402.0	0.3288	0.232	1.163
591	C6H12O3	PARALDEHYDE	132.159	285.75	397.25	579.00	35.00	365.0	0.3621	0.265	0.441
592	C6H12O3	sec-BUTYL GLYCOLATE	132.160	-----	450.65	-----	-----	-----	-----	-----	-----
593	C6H12S	THIACYCLOHEPTANE	116.221	292.14	414.90	640.07	43.74	391.5	0.2969	0.322	0.291
594	C6H13N	CYCLOHEXYLAMINE	99.176	255.45	407.65	615.00	42.00	360.0	0.2755	0.296	0.360
595	C6H13N	HEXAMETHYLENIMINE	99.176	236.15	404.85	615.00	42.70	361.0	0.2747	0.301	0.330
596	C6H14	2,2-DIMETHYLBUTANE	86.177	174.28	322.88	488.78	30.81	358.8	0.2402	0.272	0.234
597	C6H14	2,3-DIMETHYLBUTANE	86.177	145.19	331.13	499.98	31.27	357.8	0.2409	0.269	0.248
598	C6H14	n-HEXANE	86.177	177.84	341.88	507.43	30.12	369.9	0.2330	0.264	0.305
599	C6H14	2-METHYLPENTANE	86.177	119.55	333.41	497.50	30.10	366.4	0.2352	0.267	0.278
600	C6H14	3-METHYLPENTANE	86.177	110.25	336.42	504.43	31.24	366.4	0.2352	0.273	0.274
601	C6H14N2O2	LYSINE	146.189	483.00	615.00	821.00	35.30	502.0	0.2912	0.260	1.012
602	C6H14O	2-ETHYL-1-BUTANOL	102.177	158.75	419.65	580.00	34.00	380.0	0.2689	0.268	0.714
603	C6H14O	1-HEXANOL	102.177	228.55	430.15	611.35	35.10	381.3	0.2680	0.263	0.580
604	C6H14O	2-HEXANOL	102.177	223.00	413.04	586.20	34.00	380.0	0.2689	0.265	0.566
605	C6H14O	2-METHYL-1-PENTANOL	102.177	-----	421.15	582.00	34.00	380.0	0.2689	0.267	0.726
606	C6H14O	4-METHYL-2-PENTANOL	102.177	-----	404.85	574.40	34.70	380.0	0.2689	0.276	0.572
607	C6H14O	n-BUTYL ETHYL ETHER	102.177	170.15	365.35	531.00	29.90	382.0	0.2675	0.259	0.390
608	C6H14O	DIISOPROPYL ETHER	102.177	187.65	341.45	500.05	28.78	386.0	0.2647	0.267	0.338
609	C6H14O	DI-n-PROPYL ETHER	102.177	149.95	362.79	530.60	30.28	382.0	0.2675	0.262	0.370
610	C6H14O	METHYL tert-PENTYL ETHER	102.177	-----	359.45	534.00	30.40	382.0	0.2675	0.262	0.301
611	C6H14O2	ACETAL	118.176	173.15	376.75	541.00	29.80	402.0	0.2940	0.266	0.432
612	C6H14O2	2-BUTOXYETHANOL	118.176	203.15	444.47	600.00	32.40	400.0	0.2954	0.260	0.817
613	C6H14O2	1,6-HEXANEDIOL	118.176	315.15	516.15	670.00	36.10	398.0	0.2969	0.258	1.268
614	C6H14O2	HEXYLENE GLYCOL	118.176	223.15	470.65	621.00	40.10	398.0	0.2969	0.309	1.197
615	C6H14O2S	DI-n-PROPYL SULFONE	150.242	303.00	543.00	763.00	31.10	463.0	0.3245	0.227	0.582
616	C6H14O3	DIETHYLENE GLYCOL DIMETHYL ETHER	134.175	203.15	432.91	604.00	28.60	422.0	0.3180	0.240	0.575
617	C6H14O3	DIPROPYLENE GLYCOL	134.175	233.00	504.95	654.00	35.80	415.0	0.3233	0.273	1.198
618	C6H14O3	2-(2-ETHOXYETHOXY)ETHANOL	134.175	195.15	475.15	632.00	31.40	420.0	0.3195	0.251	0.901
619	C6H14O3	TRIMETHYLOLPROPANE	134.175	331.15	562.04	709.00	39.10	416.0	0.3225	0.276	1.543
620	C6H14O4	TRIETHYLENE GLYCOL	150.175	265.79	551.00	700.00	33.20	443.0	0.3390	0.253	1.386
621	C6H14O6	SORBITOL	182.174	370.85	777.00	959.00	46.40	483.0	0.3772	0.281	2.199
622	C6H14S	n-HEXYLMERCAPTAN	118.243	192.62	425.81	623.00	30.80	412.0	0.2870	0.245	0.368
623	C6H14S	BUTYL-ETHYL-SULFIDE	118.237	178.03	417.41	609.00	30.00	425.5	0.2779	0.265	0.374
624	C6H14S	ISOPROPYL-SULFIDE	118.237	170.45	393.19	585.71	32.25	413.5	0.2859	0.274	0.316

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _c	OMEGA
625	C6H14S	METHYL-PENTYL-SULFIDE	118.237	179.16	401.16	587.98	31.67	425.5	0.2779	0.276	0.376
626	C6H14S	PROPYL-SULFIDE	118.237	170.45	416.00	609.73	31.67	425.5	0.2779	0.266	0.376
627	C6H14S2	PROPYL-DISULFIDE	150.297	187.68	464.65	673.00	27.50	479.5	0.3134	0.277	0.370
628	C6H15Al	TRIETHYL ALUMINUM	114.167	220.65	458.15	720.15	13.58	230.0	0.4964	0.522	-----
629	C6H15Al2Cl3	ETHYL ALUMINUM SESQUICHLORIDE	247.506	253.15	482.15	791.00	-----	-----	-----	-----	-----
630	C6H15N	DIISOPROPYLAMINE	101.192	176.85	357.05	523.10	32.00	418.0	0.2421	0.308	0.388
631	C6H15N	DI-n-PROPYLAMINE	101.192	210.15	382.00	555.80	36.30	418.0	0.2421	0.328	0.465
632	C6H15N	n-HEXYLAMINE	101.192	251.85	404.65	583.00	31.80	418.0	0.2421	0.274	0.467
633	C6H15N	TRIETHYLAMINE	101.192	158.45	361.92	535.15	30.40	390.0	0.2595	0.266	0.316
634	C6H15NO	6-AMINOHEXANOL	117.191	331.00	508.00	681.00	34.40	436.0	0.2688	0.265	0.970
635	C6H15NO2	DIISOPROPANOLAMINE	133.191	318.15	521.90	672.00	36.00	454.0	0.2934	0.293	1.389
636	C6H15NO3	TRİETHANOLAMINE	149.190	294.35	613.00	787.00	24.50	472.0	0.3161	0.177	1.101
637	C6H15N3	N-AMINOETHYL PIPERAZINE	129.205	254.15	493.55	708.00	38.50	407.0	0.3175	0.266	0.555
638	C6H15O4P	TRIETHYL PHOSPHATE	182.156	216.00	484.15	794.00	10.80	1010.0	0.1804	1.650	-----
639	C6H16N2	HEXAMETHYLENEDIAMINE	116.207	313.95	475.04	663.00	32.90	475.0	0.2446	0.284	0.650
640	C6H18N3OP	HEXAMETHYL PHOSPHORAMIDE	179.202	280.15	506.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----
641	C6H18N4	TRIETHYLENE TETRAMINE	146.236	285.15	539.65	718.00	31.70	482.0	0.3034	0.256	0.974
642	C6H18OSi2	HEXAMETHYLDISILOXANE	162.379	204.93	373.67	518.70	19.14	601.0	0.2702	0.267	0.418
643	C6H18O3Si3	HEXAMETHYLCYCLOTRISILOXANE	222.464	337.15	408.26	554.20	16.63	634.0	0.3509	0.229	0.474
644	C6H19NSi2	HEXAMETHYLDISILAZANE	161.395	-----	399.15	544.00	19.20	613.0	0.2633	0.260	0.510
645	C7H3ClF3NO2	4-CHLORO-3-NITROBENZOTRIFLUORIDE	225.554	-----	495.15	686.00	27.40	490.0	0.4603	0.235	0.607
646	C7H3Cl2F3	2,4-DICHLOROBENZOTRIFLUORIDE	215.001	247.55	450.65	646.00	28.10	443.0	0.4853	0.232	0.434
647	C7H3Cl2NO	3,4-DICHLOROPHENYL ISOCYANATE	188.012	316.15	501.00	733.00	33.30	456.0	0.4123	0.249	0.335
648	C7H4ClF3	p-CHLOROBENZOTRIFLUORIDE	180.557	237.15	412.15	601.00	30.10	399.0	0.4525	0.240	0.373
649	C7H4Cl2O	m-CHLOROBENZOYL CHLORIDE	175.014	280.00	498.00	724.00	36.80	406.0	0.4311	0.248	0.454
650	C7H4F3NO2	3-NITROBENZOTRIFLUORIDE	191.110	272.00	475.93	667.00	28.00	441.0	0.4334	0.223	0.536
651	C7H5ClO	BENZOYL CHLORIDE	140.569	272.65	470.15	697.00	40.60	367.0	0.3830	0.257	0.421
652	C7H5ClO2	o-CHLOROBENZOIC ACID	156.568	415.15	560.15	792.00	40.30	383.0	0.4088	0.234	0.664
653	C7H5Cl3	BENZOTRICHLORIDE	195.475	268.40	486.65	737.00	33.40	447.0	0.4373	0.244	0.260
654	C7H5F3	BENZOTRIFLUORIDE	146.112	244.14	375.20	565.00	33.90	356.0	0.4104	0.257	0.282
655	C7H5N	BENZONITRILE	103.123	260.40	464.15	699.35	42.15	339.0	0.3042	0.246	0.352
656	C7H5NO	PHENYL ISOCYANATE	119.123	243.15	438.75	648.00	40.60	341.0	0.3493	0.257	0.438
657	C7H5NO6	2,4,6-TRINITROTOLUENE	227.133	354.00	573.00	795.00	30.40	480.0	0.4732	0.221	1.977
658	C7H6Cl2	BENZYL DICHLORIDE	161.030	257.00	487.00	731.00	36.50	404.0	0.3986	0.243	0.326
659	C7H6Cl2	2,4-DICHLOROTOLUENE	161.030	259.65	474.25	705.00	35.90	404.0	0.3986	0.247	0.359
660	C7H6N2O4	2,4-DINITROTOLUENE	182.136	343.00	590.00	814.00	34.00	487.0	0.3740	0.245	0.718
661	C7H6N2O4	2,5-DINITROTOLUENE	182.136	325.65	590.00	814.00	34.00	472.0	0.3859	0.237	0.740
662	C7H6N2O4	2,6-DINITROTOLUENE	182.136	339.00	558.00	770.00	36.00	487.0	0.3740	0.242	0.738
663	C7H6N2O4	3,4-DINITROTOLUENE	182.136	332.00	610.00	842.00	34.00	487.0	0.3740	0.237	0.737
664	C7H6N2O4	3,5-DINITROTOLUENE	182.136	365.65	588.00	814.00	34.00	473.0	0.3851	0.238	0.702
665	C7H6O	BENZALDEHYDE	106.124	247.15	451.90	695.00	46.50	324.0	0.3275	0.261	0.305
666	C7H6O2	BENZOIC ACID	122.123	395.52	522.40	751.00	44.70	339.1	0.3600	0.246	0.604
667	C7H6O2	p-HYDROXYBENZALDEHYDE	122.123	390.15	583.15	844.00	49.90	361.0	0.3383	0.257	0.617
668	C7H6O2	SALICYLALDEHYDE	122.123	266.15	469.65	680.00	49.90	342.0	0.3571	0.302	0.626
669	C7H6O3	SALICYLIC ACID	138.123	431.75	529.00	739.00	51.80	364.0	0.3795	0.307	0.832
670	C7H7Br	p-BROMOTOLUENE	171.037	299.95	457.50	699.00	43.70	379.0	0.4513	0.285	0.318
671	C7H7Cl	BENZYL CHLORIDE	126.585	234.15	452.55	686.00	39.10	360.0	0.3516	0.247	0.314
672	C7H7Cl	o-CHLOROTOLUENE	126.585	236.65	432.30	656.00	39.10	354.0	0.3576	0.254	0.304
673	C7H7Cl	p-CHLOROTOLUENE	126.585	280.65	435.65	660.00	39.10	360.0	0.3516	0.257	0.313
674	C7H7F	p-FLUOROTOLUENE	110.131	216.36	389.76	590.48	38.15	337.5	0.3263	0.262	0.311
675	C7H7NO	FORMANILIDE	121.139	323.15	544.15	787.00	41.10	382.0	0.3171	0.240	0.545
676	C7H7NO2	m-NITROTOLUENE	137.138	289.20	505.00	734.00	38.00	441.0	0.3110	0.275	0.490
677	C7H7NO2	o-NITROTOLUENE	137.138	269.98	495.64	720.00	38.00	441.0	0.3110	0.280	0.482
678	C7H7NO2	p-NITROTOLUENE	137.138	324.75	511.65	736.00	38.00	441.0	0.3110	0.274	0.541
679	C7H7NO3	o-NITROANISOLE	153.138	283.60	546.15	782.00	37.60	422.0	0.3629	0.244	0.561
680	C7H8	TOLUENE	92.141	178.18	383.78	591.79	41.09	315.8	0.2918	0.264	0.264
681	C7H8	1,3,5-CYCLOHEPTATRIENE	92.140	193.66	388.65	593.90	43.34	311.5	0.2958	0.266	0.324
682	C7H8O	ANISOLE	108.140	235.65	426.73	641.65	41.75	337.0	0.3209	0.264	0.369
683	C7H8O	BENZYL ALCOHOL	108.140	257.85	477.85	677.00	45.50	335.0	0.3228	0.271	0.691
684	C7H8O	m-CRESOL	108.140	285.39	475.43	705.85	45.60	312.0	0.3466	0.242	0.449
685	C7H8O	o-CRESOL	108.140	304.19	464.15	697.55	50.06	282.0	0.3835	0.243	0.434
686	C7H8O	p-CRESOL	108.140	307.93	475.13	704.65	51.50	277.0	0.3904	0.244	0.513
687	C7H8O2	GUAIACOL	124.139	304.65	478.15	697.00	47.30	353.0	0.3517	0.288	0.563
688	C7H8O2	p-METHOXYPHENOL	124.139	329.00	516.00	758.00	49.70	342.0	0.3630	0.270	0.541
689	C7H9N	BENZYLAMINE	107.155	227.15	457.65	683.50	43.20	373.0	0.2873	0.284	0.409
690	C7H9N	2,6-DIMETHYLPYRIDINE	107.155	267.00	417.20	623.75	37.80	316.0	0.3391	0.230	0.350
691	C7H9N	n-METHYLANILINE	107.155	216.15	469.02	701.55	51.98	373.0	0.2873	0.332	0.480
692	C7H9N	m-TOLUIDINE	107.155	242.75	476.55	709.15	41.54	373.0	0.2873	0.263	0.413
693	C7H9N	o-TOLUIDINE	107.155	249.47	473.55	694.15	37.49	373.0	0.2873	0.242	0.442
694	C7H9N	p-TOLUIDINE	107.155	316.90	473.40	693.15	40.00	373.0	0.2873	0.259	0.476
695	C7H10	2-NORBORNENE	94.156	319.40	368.65	583.00	39.30	337.0	0.2794	0.273	0.159
696	C7H10N2	TOLUENEDIAMINE	122.170	371.25	557.15	804.00	43.80	376.0	0.3249	0.246	0.576
697	C7H11NO	CYCLOHEXYL ISOCYANATE	125.170	-----	442.15	633.00	34.70	408.0	0.3068	0.269	0.530
698	C7H12	1-HEPTYNE	96.172	192.26	372.86	559.69	32.95	389.5	0.2469	0.276	0.293
699	C7H12O2	n-BUTYL ACRYLATE	128.171	208.55	421.00	598.00	26.30	428.0	0.2995	0.226	0.438
700	C7H12O2	ISOBUTYL ACRYLATE	128.171	212.00	405.15	580.00	29.50	428.0	0.2995	0.262	0.457
701	C7H12O2	n-PROPYL METHACRYLATE	128.171	-----	414.00	599.00	29.10	428.0	0.2995	0.250	0.401
702	C7H12O4	DIETHYL MALONATE	160.170	224.25	472.05	653.00	27.80	469.0	0.3415	0.240	0.611

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
703	C7H14	CYCLOHEPTANE	98.188	265.15	391.94	604.30	38.40	359.0	0.2735	0.274	0.243
704	C7H14	1,1-DIMETHYLCYCLOPENTANE	98.188	203.36	361.00	547.00	34.45	360.0	0.2727	0.273	0.272
705	C7H14	cis-1,2-DIMETHYLCYCLOPENTANE	98.188	219.26	372.68	565.15	34.45	370.0	0.2654	0.271	0.266
706	C7H14	trans-1,2-DIMETHYLCYCLOPENTANE	98.188	155.58	365.02	553.15	34.45	360.0	0.2727	0.270	0.270
707	C7H14	cis-1,3-DIMETHYLCYCLOPENTANE	98.188	139.45	363.92	551.00	34.45	360.0	0.2727	0.271	0.274
708	C7H14	trans-1,3-DIMETHYLCYCLOPENTANE	98.188	139.18	364.88	553.00	34.45	360.0	0.2727	0.270	0.270
709	C7H14	ETHYLCYCLOPENTANE	98.188	134.71	376.62	569.52	33.98	374.5	0.2622	0.269	0.272
710	C7H14	2-ETHYL-1-PENTENE	98.188	168.00	367.15	543.00	29.50	398.0	0.2467	0.260	0.309
711	C7H14	3-ETHYL-1-PENTENE	98.188	145.67	357.26	530.00	30.30	398.0	0.2467	0.274	0.302
712	C7H14	1-HEPTENE	98.188	154.27	366.79	537.29	28.30	413.0	0.2377	0.262	0.331
713	C7H14	cis-2-HEPTENE	98.188	164.00	371.56	549.00	28.40	424.0	0.2316	0.264	0.294
714	C7H14	trans-2-HEPTENE	98.188	163.67	371.10	543.00	28.50	406.0	0.2418	0.256	0.337
715	C7H14	cis-3-HEPTENE	98.188	136.51	368.90	545.00	28.40	421.0	0.2332	0.264	0.295
716	C7H14	trans-3-HEPTENE	98.188	136.52	368.82	540.00	28.50	406.0	0.2418	0.258	0.334
717	C7H14	METHYLCYCLOHEXANE	98.188	146.58	374.08	572.19	34.71	368.0	0.2668	0.269	0.235
718	C7H14	2-METHYL-1-HEXENE	98.188	170.28	364.99	538.00	28.70	398.0	0.2467	0.255	0.309
719	C7H14	3-METHYL-1-HEXENE	98.188	145.00	357.05	528.00	29.50	398.0	0.2467	0.267	0.306
720	C7H14	4-METHYL-1-HEXENE	98.188	131.70	359.88	534.00	30.40	398.0	0.2467	0.273	0.302
721	C7H14	2,3,3-TRIMETHYL-1-BUTENE	98.188	163.30	351.04	531.00	31.40	381.0	0.2577	0.270	0.241
722	C7H14O	DIISOPROPYL KETONE	114.188	204.81	397.55	576.00	30.20	416.0	0.2745	0.262	0.405
723	C7H14O	2-HEPTANONE	114.188	238.15	424.05	611.55	29.20	421.0	0.2712	0.242	0.413
724	C7H14O	1-HEPTANAL	114.188	230.15	425.95	603.00	28.00	421.0	0.2712	0.235	0.487
725	C7H14O	1-METHYLCYCLOHEXANOL	114.188	299.15	430.15	603.00	37.90	414.0	0.2758	0.313	0.683
726	C7H14O	cis-2-METHYLCYCLOHEXANOL	114.188	280.15	438.15	614.00	37.90	414.0	0.2758	0.307	0.679
727	C7H14O	trans-2-METHYLCYCLOHEXANOL	114.188	269.15	439.65	616.00	37.90	414.0	0.2758	0.306	0.683
728	C7H14O	cis-3-METHYLCYCLOHEXANOL	114.188	267.65	441.15	618.00	37.90	414.0	0.2758	0.305	0.704
729	C7H14O	trans-3-METHYLCYCLOHEXANOL	114.188	272.65	441.15	617.00	37.90	414.0	0.2758	0.306	0.697
730	C7H14O	cis-4-METHYLCYCLOHEXANOL	114.188	-----	444.15	622.00	37.90	414.0	0.2758	0.303	0.658
731	C7H14O	trans-4-METHYLCYCLOHEXANOL	114.188	-----	444.15	622.00	37.90	414.0	0.2758	0.303	0.691
732	C7H14O	5-METHYL-2-HEXANONE	114.188	199.25	417.95	601.00	29.70	421.0	0.2712	0.250	0.434
733	C7H14O2	n-BUTYL PROPIONATE	130.187	183.63	419.75	594.00	28.00	442.0	0.2945	0.251	0.475
734	C7H14O2	ETHYL ISOVALERATE	130.187	173.85	407.45	587.95	28.40	442.0	0.2945	0.257	0.407
735	C7H14O2	ISOPENTYL ACETATE	130.187	194.65	415.25	599.00	28.40	442.0	0.2945	0.252	0.414
736	C7H14O2	n-PENTYL ACETATE	130.187	202.35	422.15	598.00	28.00	442.0	0.2945	0.249	0.490
737	C7H14O2	n-PROPYL n-BUTYRATE	130.187	177.95	416.45	594.00	28.00	442.0	0.2945	0.251	0.448
738	C7H14O2	n-HEPTANOIC ACID	130.187	265.83	496.15	680.00	29.90	442.0	0.2945	0.234	0.717
739	C7H14O3	ETHYL-3-ETHOXYPROPIONATE	146.186	-----	438.15	609.00	27.20	462.0	0.3164	0.248	0.578
740	C7H15Br	1-BROMOHEPTANE	179.100	217.05	452.05	651.00	30.80	447.0	0.4007	0.271	0.444
741	C7H15N	N-METHYLCYCLOHEXYLAMINE	113.203	264.65	422.00	622.00	34.90	393.0	0.2880	0.265	0.386
742	C7H16	2,2-DIMETHYLPENTANE	100.204	149.34	352.34	520.50	37.73	416.0	0.2409	0.267	0.288
743	C7H16	2,3-DIMETHYLPENTANE	100.204	-----	362.93	537.35	29.08	393.0	0.2550	0.256	0.292
744	C7H16	2,4-DIMETHYLPENTANE	100.204	153.91	353.64	519.79	27.37	418.0	0.2397	0.265	0.302
745	C7H16	3,3-DIMETHYLPENTANE	100.204	138.70	359.21	536.40	29.46	414.0	0.2420	0.273	0.267
746	C7H16	3-ETHYLPENTANE	100.204	154.55	366.62	540.64	28.91	416.0	0.2409	0.268	0.309
747	C7H16	n-HEPTANE	100.204	182.57	371.58	540.26	27.36	431.9	0.2320	0.263	0.351
748	C7H16	2-METHYLHEXANE	100.204	154.90	363.20	530.37	27.34	421.0	0.2380	0.261	0.328
749	C7H16	3-METHYLHEXANE	100.204	153.75	365.00	535.25	28.14	404.0	0.2480	0.255	0.322
750	C7H16	2,2,3-TRIMETHYLBUTANE	100.204	248.57	354.03	531.17	29.54	398.0	0.2518	0.266	0.250
751	C7H16O	1-HEPTANOL	116.203	239.15	449.45	631.90	31.50	435.2	0.2670	0.261	0.587
752	C7H16O	2-HEPTANOL	116.203	243.00	432.35	588.00	30.30	432.0	0.2690	0.268	0.763
753	C7H16O	5-METHYL-1-HEXANOL	116.203	-----	445.15	605.00	30.30	432.0	0.2690	0.260	0.781
754	C7H16O	ISOPROPYL-TERT-BUTYL-ETHER	116.203	177.80	378.66	558.21	28.29	428.5	0.2712	0.261	0.307
755	C7H16S	n-HEPTYL MERCAPTAN	132.270	229.92	450.09	645.00	27.70	456.0	0.2901	0.240	0.419
756	C7H16S	BUTYL-PROPYL-SULFIDE	132.263	206.66	444.16	653.50	28.51	481.5	0.2747	0.259	0.318
757	C7H16S	ETHYL-PENTYL-SULFIDE	132.263	206.66	444.16	638.37	28.51	481.5	0.2747	0.259	0.420
758	C7H16S	HEXYL-METHYL-SULFIDE	132.263	206.66	444.16	638.37	28.51	481.5	0.2747	0.259	0.420
759	C7H17N	1-AMINOHEPTANE	115.219	254.15	430.05	607.00	28.50	471.0	0.2446	0.266	0.511
760	C8H4Cl2O2	ISOPHTHALOYL CHLORIDE	203.024	317.00	549.00	768.00	33.30	471.0	0.4310	0.246	0.646
761	C8H4O3	PHTHALIC ANHYDRIDE	148.118	404.26	557.65	791.00	47.20	421.0	0.3518	0.302	0.708
762	C8H6	ETHYNYLBENZENE	102.135	242.53	418.36	655.43	44.03	337.5	0.3026	0.273	0.239
763	C8H6O4	ISOPHTHALIC ACID	166.133	619.15	753.00	1007.00	39.50	424.0	0.3918	0.200	1.062
764	C8H6O4	PHTHALIC ACID	166.133	464.15	598.00	800.00	39.50	424.0	0.3918	0.252	1.059
765	C8H6O4	TEREPHTHALIC ACID	166.133	700.15	832.00	1113.00	39.50	424.0	0.3918	0.181	1.059
766	C8H6S	BENZOTHIOPHENE	134.202	304.50	493.05	754.00	41.40	349.0	0.3845	0.230	0.296
767	C8H7N	INDOLE	117.150	273.68	526.15	790.00	43.00	431.0	0.2718	0.282	0.374
768	C8H8	STYRENE	104.152	242.54	418.31	648.00	40.00	352.0	0.2959	0.261	0.236
769	C8H8	1,3,5,7-CYCLOOCTATETRAENE	104.151	266.16	413.16	642.55	41.41	345.5	0.3015	0.268	0.244
770	C8H8O	ACETOPHENONE	120.151	293.65	475.15	701.00	38.40	376.0	0.3196	0.248	0.429
771	C8H8O	p-TOLUALDEHYDE	120.151	-----	477.15	698.00	36.70	416.0	0.2888	0.263	0.442
772	C8H8O2	METHYL BENZOATE	136.150	260.75	472.65	693.00	35.90	436.0	0.3123	0.272	0.415
773	C8H8O2	o-TOLUIC ACID	136.150	376.85	532.00	751.00	38.60	397.0	0.3429	0.245	0.657
774	C8H8O2	p-TOLUIC ACID	136.150	452.75	548.15	773.00	38.60	397.0	0.3429	0.238	0.661
775	C8H8O3	METHYL SALICYLATE	152.150	265.15	493.65	701.00	40.90	410.0	0.3711	0.288	0.632
776	C8H8O3	VANILLIN	152.150	355.00	558.00	777.00	40.10	415.0	0.3666	0.258	0.757
777	C8H9NO	ACETANILIDE	135.166	386.65	576.95	825.00	37.30	430.0	0.3143	0.234	0.564
778	C8H10	ETHYLBENZENE	106.167	178.20	409.35	617.17	36.09	373.8	0.2840	0.263	0.304
779	C8H10	m-XYLENE	106.167	225.30	412.27	617.05	35.41	375.8	0.2825	0.259	0.326
780	C8H10	o-XYLENE	106.167	247.98	417.58	630.37	37.34	369.2	0.2876	0.263	0.313

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
781	C8H10	p-XYLENE	106.167	286.41	411.51	616.26	35.11	379.1	0.2801	0.260	0.326
782	C8H10O	m-ETHYLPHENOL	122.167	-----	477.66	-----	-----	-----	-----	-----	-----
783	C8H10O	p-ETHYLPHENOL	122.167	318.23	491.14	716.45	42.90	387.0	0.3157	0.279	0.524
784	C8H10O	PHENETOLE	122.167	243.63	443.15	647.15	34.25	390.0	0.3132	0.248	0.415
785	C8H10O	2-PHENYLETHANOL	122.167	247.00	492.05	684.00	39.20	387.0	0.3157	0.267	0.743
786	C8H10O	2,3-XYLENOL	122.167	345.71	490.07	722.95	49.00	360.0	0.3394	0.293	0.511
787	C8H10O	2,4-XYLENOL	122.167	297.68	484.13	707.65	44.00	390.0	0.3132	0.292	0.513
788	C8H10O	2,5-XYLENOL	122.167	347.99	484.33	707.05	49.00	350.0	0.3490	0.292	0.563
789	C8H10O	2,6-XYLENOL	122.167	318.76	474.22	701.05	43.00	390.0	0.3132	0.288	0.455
790	C8H10O	3,4-XYLENOL	122.167	338.25	500.15	729.95	50.00	350.0	0.3490	0.288	0.573
791	C8H10O	3,5-XYLENOL	122.167	336.59	494.89	715.65	36.48	480.0	0.2545	0.294	0.491
792	C8H11N	N,N-DIMETHYLANILINE	121.182	275.60	466.69	687.15	36.27	465.0	0.2606	0.295	0.403
793	C8H11N	o-ETHYLANILINE	121.182	226.55	482.65	704.00	37.40	399.0	0.3037	0.255	0.463
794	C8H11N	2,4,6-TRIMETHYLPYRIDINE	121.182	229.00	444.00	653.00	33.30	417.0	0.2906	0.256	0.376
795	C8H11NO	p-PHENETIDINE	137.181	277.00	528.00	754.00	35.70	446.0	0.3076	0.254	0.553
796	C8H12	1,5-CYCLOOCTADIENE	108.183	203.98	423.27	645.00	39.00	366.0	0.2956	0.266	0.286
797	C8H12	VINYLCYCLOHEXENE	108.183	164.00	401.00	599.00	34.30	379.0	0.2854	0.261	0.329
798	C8H12O4	1,4-CYCLOHEXANEDICARBOXYLIC ACID	172.181	585.65	669.00	889.00	34.20	464.0	0.3711	0.215	1.036
799	C8H12O4	DIETHYL MALEATE	172.181	264.35	498.15	680.00	26.10	508.0	0.3389	0.235	0.666
800	C8H14O2	n-BUTYL METHACRYLATE	142.198	-----	434.00	616.00	26.30	481.0	0.2956	0.247	0.466
801	C8H14O3	BUTYRIC ANHYDRIDE	158.197	199.85	468.15	639.00	26.90	501.0	0.3158	0.254	0.659
802	C8H14O4	DIETHYL SUCCINATE	174.197	252.35	489.65	660.00	25.30	522.0	0.3337	0.241	0.737
803	C8H16	CYCLOOCTANE	112.214	287.60	424.30	647.20	35.50	410.0	0.2737	0.271	0.236
804	C8H16	1,1-DIMETHYLCYCLOHEXANE	112.215	239.66	392.70	591.15	29.38	450.0	0.2494	0.269	0.233
805	C8H16	cis-1,2-DIMETHYLCYCLOHEXANE	112.215	223.16	402.94	606.15	29.38	460.0	0.2439	0.268	0.232
806	C8H16	trans-1,2-DIMETHYLCYCLOHEXANE	112.215	184.99	396.58	596.15	29.38	460.0	0.2439	0.273	0.238
807	C8H16	cis-1,3-DIMETHYLCYCLOHEXANE	112.215	197.58	393.24	591.15	29.38	450.0	0.2494	0.269	0.237
808	C8H16	trans-1,3-DIMETHYLCYCLOHEXANE	112.215	183.07	397.61	598.00	29.38	460.0	0.2439	0.272	0.234
809	C8H16	cis-1,4-DIMETHYLCYCLOHEXANE	112.215	185.72	397.47	598.15	29.38	460.0	0.2439	0.272	0.231
810	C8H16	trans-1,4-DIMETHYLCYCLOHEXANE	112.215	236.21	392.51	590.15	29.38	450.0	0.2494	0.269	0.237
811	C8H16	ETHYLCYCLOHEXANE	112.215	161.84	404.95	609.15	30.40	450.0	0.2494	0.270	0.246
812	C8H16	2-ETHYL-1-HEXENE	112.215	-----	393.15	574.00	30.70	399.0	0.2812	0.257	0.380
813	C8H16	1-METHYL-1-ETHYLCYCLOPENTANE	112.215	129.35	394.67	582.00	30.20	428.0	0.2622	0.267	0.330
814	C8H16	1-OCTENE	112.215	171.45	394.44	566.60	25.50	472.0	0.2377	0.256	0.375
815	C8H16	trans-2-OCTENE	112.215	185.45	398.15	577.00	25.80	484.0	0.2318	0.260	0.338
816	C8H16	trans-3-OCTENE	112.215	163.15	396.45	574.00	25.80	480.0	0.2338	0.260	0.344
817	C8H16	trans-4-OCTENE	112.215	179.37	395.41	573.00	25.80	480.0	0.2338	0.260	0.339
818	C8H16	n-PROPYLCYCLOPENTANE	112.215	155.82	404.11	603.00	30.00	425.0	0.2640	0.254	0.272
819	C8H16	2,4,4-TRIMETHYL-1-PENTENE	112.215	179.70	374.59	553.00	26.30	465.0	0.2413	0.266	0.270
820	C8H16	2,4,4-TRIMETHYL-2-PENTENE	112.215	166.84	378.06	558.00	26.30	470.0	0.2388	0.266	0.265
821	C8H16O	2-ETHYLHEXANAL	128.214	-----	433.80	607.00	25.80	474.0	0.2705	0.242	0.520
822	C8H16O	1-OCTANAL	128.214	246.00	447.15	621.00	25.50	474.0	0.2705	0.234	0.547
823	C8H16O	2-OCTANONE	128.214	252.85	445.75	624.00	26.40	469.0	0.2734	0.239	0.528
824	C8H16O2	n-BUTYL n-BUTYRATE	144.214	181.15	438.15	616.00	25.40	494.0	0.2919	0.245	0.485
825	C8H16O2	n-HEXYL ACETATE	144.214	192.25	444.65	618.00	25.40	494.0	0.2919	0.244	0.540
826	C8H16O2	ISOBUTYL ISOBUTYRATE	144.214	192.45	420.65	602.00	26.10	494.0	0.2919	0.258	0.395
827	C8H16O2	n-OCTANOIC ACID	144.214	289.65	513.05	692.00	26.90	494.0	0.2919	0.231	0.779
828	C8H16O4	DIETHYLENE GLYCOL ETHYL ETHER ACETATE	176.213	248.15	490.55	660.00	24.20	565.0	0.3119	0.249	0.715
829	C8H18	2,2-DIMETHYLHEXANE	114.231	151.97	379.99	549.80	25.30	478.0	0.2390	0.265	0.338
830	C8H18	2,3-DIMETHYLHEXANE	114.231	-----	388.76	563.40	26.30	468.2	0.2440	0.263	0.347
831	C8H18	2,4-DIMETHYLHEXANE	114.231	-----	382.58	553.50	25.60	472.0	0.2420	0.263	0.344
832	C8H18	2,5-DIMETHYLHEXANE	114.231	182.00	382.26	550.00	24.90	482.0	0.2370	0.262	0.358
833	C8H18	3,3-DIMETHYLHEXANE	114.231	147.05	385.12	562.00	26.50	442.8	0.2580	0.251	0.320
834	C8H18	3,4-DIMETHYLHEXANE	114.231	-----	390.88	568.80	26.90	466.2	0.2450	0.265	0.338
835	C8H18	3-ETHYLHEXANE	114.231	-----	391.69	565.40	26.10	455.1	0.2510	0.253	0.363
836	C8H18	3-ETHYL-2-METHYLPENTANE	114.230	158.20	388.81	567.00	27.10	445.3	0.2565	0.254	0.361
837	C8H18	3-METHYL-3-ETHYLPENTANE	114.231	182.28	391.42	576.50	28.10	455.1	0.2510	0.267	0.305
838	C8H18	2-METHYLHEPTANE	114.231	164.16	390.80	559.64	24.85	488.0	0.2341	0.261	0.377
839	C8H18	3-METHYLHEPTANE	114.231	152.60	392.08	563.67	25.46	464.0	0.2462	0.252	0.372
840	C8H18	4-METHYLHEPTANE	114.231	152.20	390.86	561.74	25.42	476.0	0.2400	0.259	0.371
841	C8H18	n-OCTANE	114.231	216.38	398.83	568.83	24.86	492.1	0.2322	0.259	0.396
842	C8H18	2,2,3-TRIMETHYLPENTANE	114.231	160.89	383.00	563.50	27.30	436.0	0.2620	0.254	0.297
843	C8H18	2,2,4-TRIMETHYLPENTANE	114.231	165.78	372.39	543.96	25.68	468.0	0.2441	0.266	0.303
844	C8H18	2,3,3-TRIMETHYLPENTANE	114.231	172.22	387.92	573.50	28.20	455.1	0.2510	0.269	0.290
845	C8H18	2,3,4-TRIMETHYLPENTANE	114.231	163.95	386.62	566.30	27.30	460.6	0.2480	0.267	0.316
846	C8H18	2,2,3,3-TETRAMETHYLBUTANE	114.230	172.47	379.60	567.80	28.70	461.8	0.2474	0.280	0.251
847	C8H18O	DI-n-BUTYL ETHER	130.230	177.95	413.44	581.00	24.60	487.0	0.2674	0.248	0.467
848	C8H18O	DI-sec-BUTYL ETHER	130.230	173.15	394.20	559.00	25.30	494.0	0.2636	0.269	0.432
849	C8H18O	DI-tert-BUTYL ETHER	130.230	195.00	380.40	550.00	25.30	487.0	0.2674	0.269	0.346
850	C8H18O	2-ETHYL-1-HEXANOL	130.230	203.15	457.75	640.25	27.30	485.0	0.2685	0.249	0.549
851	C8H18O	1-OCTANOL	130.230	257.65	468.35	652.50	28.60	490.0	0.2658	0.258	0.594
852	C8H18O	2-OCTANOL	130.230	241.55	452.95	637.15	27.30	469.0	0.2777	0.242	0.506
853	C8H18O2	DI-n-BUTYL PEROXIDE	146.230	233.15	384.15	547.00	24.80	508.0	0.2879	0.277	0.403
854	C8H18O2S	DI-n-BUTYL SULFONE	178.296	318.00	564.00	767.00	25.40	569.0	0.3133	0.227	0.688
855	C8H18O3	DIETHYLENE GLYCOL DIETHYL ETHER	162.229	228.85	462.15	624.00	23.70	558.0	0.2907	0.255	0.681
856	C8H18O3	DIETHYLENE GLYCOL MONOBUTYL ETHER	162.229	205.15	504.15	654.00	25.60	526.0	0.3084	0.248	0.937
857	C8H18O4	TRIETHYLENE GLYCOL DIMETHYL ETHER	178.229	229.35	489.15	651.00	23.10	548.0	0.3252	0.234	0.792
858	C8H18O5	TETRAETHYLENE GLYCOL	194.228	268.15	581.00	722.00	25.90	584.0	0.3444	0.243	1.578

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
859	C8H18S	n-OCTYL MERCAPTAN	146.297	223.95	472.19	664.00	25.20	518.0	0.2824	0.236	0.473
860	C8H18S	tert-OCTYL MERCAPTAN	146.297	199.00	429.00	627.00	25.90	529.0	0.2766	0.263	0.307
861	C8H18S	BUTYL-SULFIDE	146.290	209.86	455.15	650.00	25.00	537.5	0.2722	0.260	0.394
862	C8H18S	ETHYL-HEXYL-SULFIDE	146.290	209.86	468.16	660.72	25.79	537.5	0.2722	0.252	0.465
863	C8H18S	HEPTYL-METHYL-SULFIDE	146.290	209.86	468.16	660.72	25.79	537.5	0.2722	0.252	0.465
864	C8H18S	PENTYL-PROPYL-SULFIDE	146.290	209.86	468.16	660.72	25.79	537.5	0.2722	0.252	0.465
865	C8H18S2	BUTYL-DISULFIDE	178.350	202.16	504.36	704.16	26.24	591.5	0.3015	0.265	0.529
866	C8H19N	DI-n-BUTYLAMINE	129.246	211.15	432.00	607.50	31.10	524.0	0.2467	0.323	0.560
867	C8H19N	DIISOBUTYLAMINE	129.246	203.15	412.25	580.00	25.70	524.0	0.2467	0.279	0.485
868	C8H19N	n-OCTYLAMINE	129.246	272.75	452.75	627.00	25.80	524.0	0.2467	0.259	0.568
869	C8H23N5	TETRAETHYLENEPENTAMINE	189.304	243.00	606.15	774.00	25.30	636.0	0.2976	0.250	1.237
870	C8H24O4Si4	OCTAMETHYLCYCLOTETRASILOXANE	296.618	290.80	448.15	586.50	13.32	970.0	0.3058	0.265	0.589
871	C9H4O5	TRIMELLITIC ANHYDRIDE	192.128	438.15	663.00	890.00	40.80	462.0	0.4159	0.255	1.050
872	C9H6N2O2	TOLUENE DIISOCYANATE	174.159	287.04	523.15	737.00	30.40	525.0	0.3317	0.260	0.553
873	C9H7N	ISOQUINOLINE	129.161	299.45	516.40	803.15	49.80	403.0	0.3205	0.301	0.289
874	C9H7N	QUINOLINE	129.161	258.25	510.75	782.15	46.60	469.0	0.2754	0.336	0.329
875	C9H7NO	8-HYDROXYQUINOLINE	145.161	346.00	540.00	788.00	43.60	414.0	0.3506	0.276	0.522
876	C9H8	INDENE	116.163	271.70	455.77	687.00	38.20	368.0	0.3157	0.246	0.335
877	C9H8O	2-METHYLBENZOFURAN	132.162	-----	470.65	698.00	36.40	405.0	0.3263	0.254	0.374
878	C9H10	INDANE	118.178	221.74	451.12	684.90	39.50	381.0	0.3102	0.264	0.309
879	C9H10	cis-PROPENYLBENZENE	118.178	211.47	443.16	664.60	34.64	411.5	0.2872	0.258	0.316
880	C9H10	trans-PROPENYLBENZENE	118.178	243.82	443.16	664.60	34.64	411.5	0.2872	0.258	0.316
881	C9H10	alpha-METHYLSTYRENE	118.178	249.95	438.65	654.00	33.60	423.0	0.2794	0.261	0.327
882	C9H10	m-METHYLSTYRENE	118.178	186.81	444.75	657.00	32.90	407.0	0.2904	0.245	0.349
883	C9H10	o-METHYLSTYRENE	118.178	204.58	442.96	659.00	34.70	407.0	0.2904	0.258	0.341
884	C9H10	p-METHYLSTYRENE	118.178	239.02	445.93	665.00	33.60	431.0	0.2742	0.262	0.318
885	C9H10O2	BENZYL ACETATE	150.177	221.65	486.65	699.00	31.80	449.0	0.3345	0.246	0.470
886	C9H10O2	ETHYL BENZOATE	150.177	238.45	486.55	698.00	31.80	489.0	0.3071	0.268	0.479
887	C9H10O3	ETHYL VANILLIN	166.177	350.65	567.00	748.00	32.70	467.0	0.3558	0.246	1.073
888	C9H11NO	p-DIMETHYLAMINO BENZALDEHYDE	149.192	348.00	588.00	832.00	30.70	471.0	0.3168	0.209	0.527
889	C9H12	CUMENE	120.194	177.14	425.56	631.15	32.09	427.7	0.2810	0.262	0.338
890	C9H12	m-ETHYLTOLUENE	120.194	177.61	434.48	637.15	28.37	490.0	0.2453	0.262	0.322
891	C9H12	o-ETHYLTOLUENE	120.194	192.35	438.33	651.15	30.40	460.0	0.2613	0.258	0.293
892	C9H12	p-ETHYLTOLUENE	120.194	210.83	435.16	640.15	29.38	470.0	0.2557	0.259	0.324
893	C9H12	MESITYLENE	120.194	228.46	437.89	637.36	31.27	433.0	0.2776	0.256	0.398
894	C9H12	n-PROPYLBENZENE	120.194	173.67	432.39	638.38	32.00	440.0	0.2732	0.265	0.346
895	C9H12	1,2,3-TRIMETHYLBENZENE	120.194	247.79	449.27	664.53	34.54	414.0	0.2903	0.259	0.366
896	C9H12	1,2,4-TRIMETHYLBENZENE	120.194	229.38	442.53	649.13	32.32	430.0	0.2795	0.258	0.379
897	C9H12O	BENZYL ETHYL ETHER	136.194	275.65	458.15	662.00	31.10	442.0	0.3081	0.250	0.433
898	C9H12O	2-PHENYL-2-PROPANOL	136.194	309.15	475.15	660.00	34.90	440.0	0.3095	0.280	0.698
899	C9H12O2	CUMENE HYDROPEROXIDE	152.193	264.26	442.70	605.00	33.40	419.0	0.3632	0.278	0.995
900	C9H14O	ISOPHORONE	138.210	265.05	488.35	715.00	33.30	456.0	0.3031	0.255	0.400
901	C9H14O6	GLYCERYL TRIACETATE	128.207	277.25	532.15	704.00	23.10	625.0	0.3491	0.247	0.839
902	C9H16	1-NONYNE	124.225	223.16	423.96	610.81	26.74	501.5	0.2477	0.264	0.382
903	C9H16O4	AZELAIC ACID	188.224	379.65	633.36	811.00	25.60	610.0	0.3086	0.232	1.172
904	C9H18	BUTYLCYCLOPENTANE	126.241	165.18	429.76	625.05	27.64	480.5	0.2627	0.256	0.354
905	C9H18	cis,cis-1,3,5-TRIMETHYLCYCLOHEXANE	126.241	223.46	411.66	607.86	26.49	470.5	0.2683	0.247	0.274
906	C9H18	cis,trans-1,3,5-TRIMETHYLCYCLOHEXANE	126.241	188.76	413.70	602.20	26.49	470.5	0.2683	0.245	0.333
907	C9H18	ISOPROPYLCYCLOHEXANE	126.242	183.76	427.91	627.00	28.50	464.0	0.2721	0.254	0.330
908	C9H18	1-NONENE	126.242	191.78	420.02	593.25	23.30	528.0	0.2391	0.249	0.417
909	C9H18	n-PROPYLCYCLOHEXANE	126.242	178.28	429.90	639.15	28.07	477.0	0.2647	0.252	0.260
910	C9H18O	DIISOBUTYL KETONE	142.241	227.17	441.41	615.00	24.80	522.0	0.2725	0.253	0.512
911	C9H18O	1-NONANOL	142.241	255.15	468.15	640.00	23.30	527.0	0.2699	0.231	0.592
912	C9H18O2	n-BUTYL VALERATE	158.241	180.35	459.65	629.00	23.30	547.0	0.2893	0.244	0.596
913	C9H18O2	n-NONANOIC ACID	158.241	285.55	528.75	703.00	24.50	547.0	0.2893	0.229	0.831
914	C9H18O2	n-OCTYL FORMATE	158.241	234.05	471.95	645.00	23.30	547.0	0.2893	0.238	0.587
915	C9H20	3,3-DIETHYLPENTANE	128.258	240.12	419.34	610.05	26.75	473.0	0.2712	0.249	0.338
916	C9H20	2,2-DIMETHYL-3-ETHYLPENTANE	128.258	173.68	406.99	590.00	25.70	511.0	0.2510	0.268	0.335
917	C9H20	3-ETHYL-2,3-DIMETHYLPENTANE	128.257	173.67	417.86	606.80	26.85	477.0	0.2689	0.254	0.349
918	C9H20	2,4-DIMETHYL-3-ETHYLPENTANE	128.258	150.79	409.87	591.00	25.30	512.0	0.2505	0.264	0.353
919	C9H20	2,2-DIMETHYLHEPTANE	128.258	160.15	405.84	576.80	23.50	519.0	0.2471	0.254	0.390
920	C9H20	2,6-DIMETHYLHEPTANE	128.258	170.25	408.36	579.00	23.00	520.0	0.2467	0.248	0.393
921	C9H20	3-ETHYLHEPTANE	128.258	158.25	416.35	590.00	23.90	528.0	0.2429	0.257	0.408
922	C9H20	4-ETHYLHEPTANE	128.257	159.96	414.36	584.95	23.25	533.5	0.2404	0.255	0.416
923	C9H20	2,3-DIMETHYLHEPTANE	128.257	160.16	413.66	589.60	24.01	515.0	0.2490	0.252	0.385
924	C9H20	2,4-DIMETHYLHEPTANE	128.257	160.16	406.05	576.80	23.41	517.0	0.2481	0.252	0.390
925	C9H20	2,5-DIMETHYLHEPTANE	128.257	160.16	409.16	581.10	23.51	522.0	0.2457	0.254	0.393
926	C9H20	3,4-DIMETHYLHEPTANE	128.257	170.26	413.76	591.90	24.62	503.0	0.2550	0.252	0.379
927	C9H20	3,5-DIMETHYLHEPTANE	128.257	170.26	409.16	583.20	24.01	510.0	0.2515	0.253	0.385
928	C9H20	4,4-DIMETHYLHEPTANE	128.257	170.26	408.36	585.40	24.32	501.0	0.2560	0.250	0.364
929	C9H20	3-ETHYL-2-METHYLHEXANE	128.257	160.16	411.16	588.10	24.52	497.0	0.2581	0.249	0.378
930	C9H20	4-ETHYL-2-METHYLHEXANE	128.257	160.16	406.96	580.00	24.01	504.0	0.2545	0.251	0.386
931	C9H20	3-ETHYL-3-METHYLHEXANE	128.257	160.16	413.76	597.50	25.53	487.0	0.2634	0.250	0.352
932	C9H20	3-ETHYL-4-METHYLHEXANE	128.257	160.16	413.56	593.70	25.13	490.0	0.2617	0.249	0.372
933	C9H20	2,2,3-TRIMETHYLHEXANE	128.257	153.16	406.75	588.00	24.90	498.9	0.2571	0.254	0.332
934	C9H20	2,2,4-TRIMETHYLHEXANE	128.257	153.00	399.69	573.50	23.80	506.6	0.2532	0.253	0.321
935	C9H20	2,3,3-TRIMETHYLHEXANE	128.257	156.36	410.84	596.00	25.53	491.0	0.2612	0.253	0.333
936	C9H20	2,3,4-TRIMETHYLHEXANE	128.257	156.36	412.20	594.50	25.23	494.0	0.2596	0.252	0.353

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
937	C9H20	2,3,5-TRIMETHYLHEXANE	128.257	145.36	404.50	579.20	24.01	509.0	0.2520	0.254	0.364
938	C9H20	2,4,4-TRIMETHYLHEXANE	128.257	159.78	403.81	581.50	24.32	500.0	0.2565	0.251	0.344
939	C9H20	3,3,4-TRIMETHYLHEXANE	128.257	171.96	413.62	602.30	26.24	484.0	0.2650	0.254	0.328
940	C9H20	2-METHYLOCTANE	128.258	192.78	416.43	586.75	22.90	541.0	0.2371	0.254	0.422
941	C9H20	3-METHYLOCTANE	128.258	165.55	417.38	590.15	23.41	529.0	0.2425	0.252	0.413
942	C9H20	4-METHYLOCTANE	128.258	159.95	415.59	587.65	23.41	523.0	0.2452	0.251	0.413
943	C9H20	n-NONANE	128.258	219.63	423.97	595.65	23.06	547.7	0.2342	0.255	0.438
944	C9H20	2,2,3,3-TETRAMETHYLPENTANE	128.258	263.26	413.44	610.85	27.36	478.0	0.2683	0.257	0.280
945	C9H20	2,2,3,4-TETRAMETHYLPENTANE	128.258	152.06	406.18	592.15	25.64	490.0	0.2618	0.255	0.311
946	C9H20	2,2,4,4-TETRAMETHYLPENTANE	128.258	206.95	395.44	571.35	23.61	504.0	0.2545	0.250	0.316
947	C9H20	2,3,3,4-TETRAMETHYLPENTANE	128.257	171.10	414.72	607.50	27.20	516.5	0.2483	0.246	0.313
948	C9H20	2,2,5-TRIMETHYLHEXANE	128.258	167.39	397.24	568.05	23.31	519.0	0.2471	0.256	0.357
949	C9H20O	2,6-DIMETHYL-4-HEPTANOL	144.257	288.00	451.00	603.00	25.50	538.0	0.2681	0.274	0.802
950	C9H20O	1-NONANOL	144.257	268.15	486.25	673.00	26.00	546.4	0.2640	0.254	0.594
951	C9H20O	2-NONANOL	144.257	238.15	471.65	623.00	24.80	538.0	0.2681	0.258	0.890
952	C9H20S	n-NONYL MERCAPTAN	160.324	253.05	492.95	681.00	23.10	571.0	0.2808	0.233	0.531
953	C9H20S	BUTYL-PENTYL-SULFIDE	160.317	231.16	491.16	681.56	23.45	593.5	0.2701	0.246	0.508
954	C9H20S	ETHYL-HEPTYL-SULFIDE	160.317	231.16	491.16	681.56	23.45	593.5	0.2701	0.246	0.508
955	C9H20S	HEXYL-PROPYL-SULFIDE	160.317	231.16	491.16	681.56	23.45	593.5	0.2701	0.246	0.508
956	C9H20S	METHYL-OCTYL-SULFIDE	160.317	231.16	491.16	681.56	23.45	593.5	0.2701	0.246	0.508
957	C9H21N	n-NONYLAMINE	143.272	273.15	475.35	648.00	23.60	577.0	0.2483	0.253	0.615
958	C9H21N	TRIPROPYLAMINE	143.272	179.65	429.65	577.50	22.30	576.0	0.2487	0.268	0.699
959	C10H6O8	PYROMELLITIC ACID	254.153	554.00	722.00	893.00	31.40	584.0	0.4352	0.247	1.830
960	C10H7Br	1-BROMONAPHTHALENE	207.070	279.35	554.25	824.00	37.00	453.0	0.4571	0.245	0.369
961	C10H7Cl	1-CHLORONAPHTHALENE	162.618	269.15	532.45	785.00	34.00	434.0	0.3747	0.226	0.383
962	C10H8	NAPHTHALENE	128.174	353.43	491.14	748.35	40.51	413.0	0.3103	0.269	0.302
963	C10H8	AZULENE	128.173	173.66	515.16	773.48	38.97	409.5	0.3130	0.248	0.355
964	C10H9N	QUINALDINE	143.188	272.15	519.75	773.00	29.60	490.0	0.2922	0.226	0.280
965	C10H10	m-DIVINYLBENZENE	130.189	206.25	472.65	692.00	31.20	440.0	0.2959	0.239	0.373
966	C10H10	1-METHYLINDENE	130.189	-----	471.65	703.00	34.60	440.0	0.2959	0.260	0.336
967	C10H10	2-METHYLINDENE	130.189	353.15	458.00	684.00	34.60	429.0	0.3035	0.261	0.328
968	C10H10O4	DIMETHYL PHTHALATE	194.187	272.15	556.85	766.00	27.80	530.0	0.3664	0.231	0.647
969	C10H10O4	DIMETHYL TEREPHTHALATE	194.187	413.80	561.15	772.00	27.80	529.0	0.3671	0.229	0.637
970	C10H12	DICYCLOPENTADIENE	132.205	307.00	443.00	660.00	30.60	445.0	0.2971	0.248	0.285
971	C10H12	1,2,3,4-TETRAHYDRONAPHTHALENE	132.205	237.40	480.77	720.15	36.20	441.0	0.2998	0.267	0.328
972	C10H12O	ANETHOLE	148.205	294.50	508.45	723.00	29.00	482.0	0.3075	0.233	0.485
973	C10H12O4	DIALLYL MALEATE	196.203	226.15	520.00	693.00	23.30	606.0	0.3238	0.245	0.789
974	C10H14	n-BUTYLBENZENE	134.221	185.30	456.46	660.55	28.87	497.0	0.2701	0.261	0.392
975	C10H14	sec-BUTYLBENZENE	134.221	197.72	446.48	664.54	29.51	497.0	0.2701	0.265	0.276
976	C10H14	tert-BUTYLBENZENE	134.221	215.27	442.30	660.00	29.70	492.0	0.2728	0.266	0.266
977	C10H14	1,2,3,4-TETRAMETHYLBENZENE	134.221	266.91	478.25	695.10	28.40	487.5	0.2753	0.237	0.368
978	C10H14	m-CYMENE	134.221	209.44	448.23	657.00	29.30	485.0	0.2767	0.260	0.341
979	C10H14	o-CYMENE	134.221	201.64	451.33	662.00	29.30	489.0	0.2745	0.260	0.337
980	C10H14	p-CYMENE	134.221	205.25	450.28	653.15	28.37	492.0	0.2728	0.257	0.372
981	C10H14	m-DIETHYLBENZENE	134.221	189.26	454.29	663.00	28.80	488.0	0.2750	0.255	0.350
982	C10H14	o-DIETHYLBENZENE	134.221	241.93	456.61	668.00	28.80	502.0	0.2674	0.260	0.340
983	C10H14	p-DIETHYLBENZENE	134.221	230.32	456.94	657.96	28.03	497.0	0.2701	0.255	0.404
984	C10H14	2-ETHYL-m-XYLENE	134.221	256.89	463.19	671.00	30.20	482.0	0.2785	0.261	0.407
985	C10H14	2-ETHYL-p-XYLENE	134.221	219.52	459.98	663.00	28.80	482.0	0.2785	0.252	0.411
986	C10H14	3-ETHYL-o-XYLENE	134.221	223.64	467.11	680.00	28.80	507.0	0.2647	0.258	0.362
987	C10H14	4-ETHYL-m-XYLENE	134.221	210.27	461.59	665.00	28.80	482.0	0.2785	0.251	0.414
988	C10H14	4-ETHYL-o-XYLENE	134.221	206.22	462.93	667.00	28.80	490.0	0.2739	0.254	0.411
989	C10H14	5-ETHYL-m-XYLENE	134.221	188.82	456.93	655.00	27.50	482.0	0.2785	0.243	0.417
990	C10H14	ISOBUTYLBENZENE	134.221	221.70	445.94	650.15	30.40	456.0	0.2943	0.256	0.381
991	C10H14	1,2,3,5-TETRAMETHYLBENZENE	134.221	249.46	471.15	679.00	29.70	482.0	0.2785	0.254	0.424
992	C10H14	1,2,4,5-TETRAMETHYLBENZENE	134.221	352.38	469.99	675.15	29.38	482.0	0.2785	0.252	0.435
993	C10H14O	p-tert-BUTYLPHENOL	150.221	371.56	512.88	734.00	33.40	493.0	0.3047	0.270	0.510
994	C10H14O2	p-tert-BUTYL CATECHOL	166.220	325.00	558.00	776.00	37.70	511.0	0.3253	0.299	0.740
995	C10H15N	N,N-DIETHYLANILINE	149.236	235.15	489.42	702.00	28.50	556.0	0.2684	0.272	0.426
996	C10H15N	2,6-DIETHYLANILINE	149.236	276.65	508.65	678.00	31.20	495.0	0.3015	0.274	0.954
997	C10H16	CAMPHENE	136.237	320.15	433.65	638.00	27.50	499.0	0.2730	0.259	0.296
998	C10H16	D-LIMONENE	136.237	199.00	449.65	660.00	27.50	524.0	0.2600	0.263	0.313
999	C10H16	alpha-PHELLANDRENE	136.237	-----	448.15	649.00	28.20	500.0	0.2725	0.261	0.381
1000	C10H16	beta-PHELLANDRENE	136.237	-----	447.15	648.00	28.20	487.0	0.2797	0.255	0.374
1001	C10H16	alpha-PINENE	136.237	209.15	429.29	632.00	27.60	504.0	0.2703	0.265	0.286
1002	C10H16	beta-PINENE	136.237	211.61	439.19	643.00	27.60	506.0	0.2692	0.261	0.325
1003	C10H16	alpha-TERPINENE	136.237	-----	450.35	652.00	28.00	506.0	0.2692	0.261	0.376
1004	C10H16	gamma-TERPINENE	136.237	-----	456.15	661.00	28.00	505.0	0.2698	0.257	0.375
1005	C10H16	TERPINOLENE	136.237	-----	458.15	672.00	27.70	509.0	0.2677	0.252	0.301
1006	C10H16O	CAMPHOR	152.236	453.25	480.57	709.00	29.90	460.0	0.3309	0.233	0.319
1007	C10H18	1-DECYNE	138.252	229.16	447.16	632.49	24.27	557.5	0.2480	0.257	0.426
1008	C10H18	cis-DECAHYDRONAPHTHALENE	138.253	230.20	468.97	702.25	32.42	480.0	0.2880	0.267	0.294
1009	C10H18	trans-DECAHYDRONAPHTHALENE	138.253	242.79	460.46	687.05	28.37	480.0	0.2880	0.238	0.254
1010	C10H18O4	SEBACIC ACID	202.251	407.65	642.09	815.00	23.50	658.0	0.3074	0.228	1.205
1011	C10H20	n-BUTYLCYCLOHEXANE	140.269	198.42	454.13	667.00	25.70	534.0	0.2627	0.247	0.274
1012	C10H20	1-CYCLOPENTYLPENTANE	140.268	190.16	453.76	647.49	25.05	536.5	0.2615	0.250	0.398
1013	C10H20	1-DECENE	140.269	206.89	443.75	617.05	21.68	585.0	0.2398	0.247	0.465
1014	C10H20O	1-DECANAL	156.268	267.15	488.15	657.00	21.50	580.0	0.2694	0.228	0.642

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
1015	C10H20O2	n-DECANOIC ACID	172.268	304.75	543.15	713.00	22.50	600.0	0.2871	0.228	0.877
1016	C10H20O2	2-ETHYLHEXYL ACETATE	172.268	180.15	471.75	639.00	21.70	600.0	0.2871	0.245	0.631
1017	C10H20O2	ISOPENTYL ISOVALERATE	172.268	215.00	467.15	637.00	22.00	600.0	0.2871	0.249	0.579
1018	C10H22	n-DECANE	142.285	243.49	447.30	618.45	21.23	603.1	0.2359	0.249	0.484
1019	C10H22	2-METHYLNONANE	142.285	198.50	440.15	610.00	21.20	583.0	0.2441	0.244	0.472
1020	C10H22	3-METHYLNONANE	142.285	188.35	440.95	613.00	21.60	583.0	0.2441	0.247	0.465
1021	C10H22	4-METHYLNONANE	142.285	174.45	438.85	610.00	21.60	583.0	0.2441	0.248	0.465
1022	C10H22	5-METHYLNONANE	142.285	185.45	438.30	610.00	21.60	583.0	0.2441	0.248	0.456
1023	C10H22	3-ETHYLOCTANE	142.284	185.46	439.66	613.60	21.89	561.0	0.2536	0.241	0.446
1024	C10H22	4-ETHYLOCTANE	142.284	185.46	436.80	609.60	21.78	552.0	0.2578	0.237	0.443
1025	C10H22	2,2-DIMETHYLOCTANE	142.285	-----	430.05	602.00	21.60	574.0	0.2479	0.248	0.429
1026	C10H22	2,3-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	437.47	613.20	21.89	567.0	0.2509	0.243	0.424
1027	C10H22	2,4-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	429.06	599.40	21.38	566.0	0.2514	0.243	0.430
1028	C10H22	2,5-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	431.66	603.00	21.48	569.0	0.2501	0.244	0.432
1029	C10H22	2,6-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	433.54	603.10	21.48	576.0	0.2470	0.247	0.453
1030	C10H22	2,7-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	433.03	602.90	20.97	590.0	0.2412	0.247	0.438
1031	C10H22	3,3-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	434.36	612.10	22.19	557.0	0.2554	0.243	0.404
1032	C10H22	3,4-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	436.56	614.00	22.39	551.0	0.2582	0.242	0.417
1033	C10H22	3,5-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	432.56	606.30	21.89	555.0	0.2564	0.241	0.424
1034	C10H22	3,6-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	433.96	608.30	21.89	562.0	0.2532	0.243	0.424
1035	C10H22	4,4-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	430.66	606.90	22.09	548.0	0.2596	0.240	0.402
1036	C10H22	4,5-DIMETHYLOCTANE	142.284	219.16	435.29	612.20	22.39	546.0	0.2606	0.240	0.418
1037	C10H22	4-PROPYLHEPTANE	142.284	219.16	430.66	601.00	21.78	545.0	0.2611	0.238	0.444
1038	C10H22	4-ISOPROPYLHEPTANE	142.284	219.16	432.06	607.60	22.29	537.0	0.2650	0.237	0.416
1039	C10H22	3-ETHYL-2-METHYLHEPTANE	142.284	219.16	434.36	610.90	22.29	544.0	0.2616	0.239	0.415
1040	C10H22	4-ETHYL-2-METHYLHEPTANE	142.284	219.16	429.36	601.80	21.89	545.0	0.2611	0.238	0.424
1041	C10H22	5-ETHYL-2-METHYLHEPTANE	142.284	219.16	432.86	606.70	21.89	555.0	0.2564	0.241	0.424
1042	C10H22	3-ETHYL-3-METHYLHEPTANE	142.284	219.16	436.96	620.00	23.10	532.0	0.2675	0.238	0.389
1043	C10H22	4-ETHYL-3-METHYLHEPTANE	142.284	219.16	435.36	614.30	22.80	530.0	0.2685	0.237	0.410
1044	C10H22	3-ETHYL-5-METHYLHEPTANE	142.284	219.16	431.36	606.80	22.29	541.0	0.2630	0.239	0.416
1045	C10H22	3-ETHYL-4-METHYLHEPTANE	142.284	219.16	436.16	615.50	22.80	533.0	0.2669	0.237	0.409
1046	C10H22	4-ETHYL-4-METHYLHEPTANE	142.284	219.16	433.96	615.70	23.10	525.0	0.2710	0.237	0.390
1047	C10H22	2,2,3-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	430.76	611.70	22.70	546.0	0.2606	0.244	0.378
1048	C10H22	2,2,4-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	421.46	594.50	21.68	552.0	0.2578	0.242	0.389
1049	C10H22	2,2,5-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	423.96	598.00	21.68	559.0	0.2545	0.244	0.389
1050	C10H22	2,2,6-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	422.09	593.40	21.28	573.0	0.2483	0.247	0.396
1051	C10H22	2,3,3-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	433.36	617.50	23.20	538.0	0.2645	0.243	0.371
1052	C10H22	2,3,4-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	433.06	613.70	22.90	538.0	0.2645	0.241	0.391
1053	C10H22	2,3,5-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	433.86	612.80	22.39	547.0	0.2601	0.240	0.397
1054	C10H22	2,3,6-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	429.16	604.10	21.89	560.0	0.2541	0.244	0.403
1055	C10H22	2,4,4-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	424.16	600.30	22.19	541.0	0.2630	0.241	0.383
1056	C10H22	2,4,5-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	429.66	606.90	22.39	544.0	0.2616	0.241	0.397
1057	C10H22	2,4,6-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	420.76	590.30	21.48	560.0	0.2541	0.245	0.411
1058	C10H22	2,5,5-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	425.96	602.90	22.19	550.0	0.2587	0.243	0.383
1059	C10H22	3,3,4-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	435.06	622.10	23.71	526.0	0.2705	0.241	0.365
1060	C10H22	3,3,5-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	428.85	609.50	23.20	578.5	0.2460	0.248	0.382
1061	C10H22	3,4,4-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	434.26	620.90	23.71	524.0	0.2715	0.241	0.365
1062	C10H22	3,4,5-TRIMETHYLHEPTANE	142.284	219.16	435.66	612.80	22.39	547.0	0.2601	0.240	0.417
1063	C10H22	3-ISOPROPYL-2-METHYLHEXANE	142.284	219.16	439.86	623.40	22.90	529.0	0.2690	0.234	0.391
1064	C10H22	3,3-DIETHYLHEXANE	142.284	219.16	439.46	627.80	24.12	510.0	0.2790	0.236	0.377
1065	C10H22	3,4-DIETHYLHEXANE	142.284	219.16	437.06	618.80	23.30	519.0	0.2742	0.235	0.403
1066	C10H22	3-ETHYL-2,2-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	429.26	611.70	23.10	526.0	0.2705	0.239	0.369
1067	C10H22	4-ETHYL-2,2-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	420.16	594.60	22.19	539.0	0.2640	0.242	0.384
1068	C10H22	3-ETHYL-2,3-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	436.86	626.80	24.22	516.0	0.2757	0.240	0.359
1069	C10H22	4-ETHYL-2,3-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	434.06	617.30	23.41	524.0	0.2715	0.239	0.384
1070	C10H22	3-ETHYL-2,4-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	433.26	616.10	23.41	522.0	0.2726	0.239	0.385*
1071	C10H22	4-ETHYL-2,4-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	434.26	620.90	24.71	524.0	0.2715	0.241	0.383
1072	C10H22	3-ETHYL-2,5-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	427.26	603.50	22.39	537.0	0.2650	0.240	0.397
1073	C10H22	4-ETHYL-3,3-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	436.06	625.70	24.22	513.0	0.2774	0.239	0.358
1074	C10H22	3-ETHYL-3,4-DIMETHYLHEXANE	142.284	219.16	435.26	624.50	24.22	511.0	0.2784	0.238	0.359
1075	C10H22	2,2,3,3-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	219.16	433.48	623.00	25.10	573.5	0.2481	0.242	0.364
1076	C10H22	2,2,3,4-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	219.16	431.96	620.40	23.71	525.0	0.2710	0.241	0.345
1077	C10H22	2,2,3,5-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	219.16	421.56	601.30	22.70	540.0	0.2635	0.245	0.357
1078	C10H22	2,2,4,4-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	219.16	426.96	610.20	22.49	535.0	0.2660	0.237	0.344
1079	C10H22	2,2,4,5-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	219.16	421.04	598.50	22.19	544.0	0.2616	0.243	0.363
1080	C10H22	2,2,5,5-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	260.56	410.63	581.40	21.90	573.5	0.2481	0.256	0.375
1081	C10H22	2,3,3,4-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	260.56	437.75	633.10	24.82	514.0	0.2768	0.242	0.334
1082	C10H22	2,3,3,5-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	260.56	426.26	610.10	23.20	531.0	0.2680	0.243	0.351
1083	C10H22	2,3,4,4-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	260.56	434.76	626.60	24.22	518.0	0.2747	0.241	0.339
1084	C10H22	2,3,4,5-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	260.56	429.36	613.20	23.41	530.0	0.2685	0.243	0.365
1085	C10H22	3,3,4,4-TETRAMETHYLHEXANE	142.284	260.56	443.16	646.70	25.74	506.0	0.2812	0.242	0.311
1086	C10H22	2,4-DIMETHYL-3-ISOPROPYLPENTANE	142.284	191.46	430.20	614.40	23.41	521.0	0.2731	0.239	0.365
1087	C10H22	3,3-DIETHYL-2-METHYLPENTANE	142.284	191.46	442.86	639.90	25.33	501.0	0.2840	0.239	0.346
1088	C10H22	3-ETHYL-2,2,3-TRIMETHYLPENTANE	142.284	191.46	442.66	646.00	25.74	503.0	0.2829	0.241	0.311
1089	C10H22	3-ETHYL-2,2,4-TRIMETHYLPENTANE	142.284	191.46	428.46	615.30	23.71	518.0	0.2747	0.240	0.346
1090	C10H22	3-ETHYL-2,3,4-TRIMETHYLPENTANE	142.284	191.46	442.60	642.30	25.43	506.0	0.2812	0.241	0.329
1091	C10H22	2,2,3,3,4-PENTAMETHYLPENTANE	142.284	236.71	439.21	643.80	25.84	508.0	0.2801	0.245	0.294
1092	C10H22	2,2,3,4,4-PENTAMETHYLPENTANE	142.284	234.41	432.45	627.30	24.01	521.0	0.2731	0.240	0.308

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
1093	C10H22O	1-DECANOL	158.284	280.05	503.35	690.00	23.70	599.6	0.2640	0.248	0.613
1094	C10H22O	DI-n-PENTYL ETHER	158.284	203.72	459.90	622.00	20.90	593.0	0.2669	0.240	0.601
1095	C10H22O	ISODECANOL	158.284	213.15	493.00	644.00	22.80	591.0	0.2678	0.252	0.913
1096	C10H22O5	TETRAETHYLENE GLYCOL DIMETHYL ETHER	222.282	243.45	548.95	705.00	19.40	674.0	0.3298	0.223	0.965
1097	C10H22S	n-DECYL MERCAPTAN	174.351	247.56	512.35	696.00	21.30	624.0	0.2794	0.230	0.588
1098	C10H22S	BUTYL-HEXYL-SULFIDE	174.344	238.16	513.16	701.03	21.41	649.5	0.2684	0.239	0.551
1099	C10H22S	ETHYL-OCTYL-SULFIDE	174.344	238.16	513.16	701.03	21.41	649.5	0.2684	0.239	0.551
1100	C10H22S	HEPTYL-PROPYL-SULFIDE	174.344	238.16	513.16	701.03	21.41	649.5	0.2684	0.239	0.551
1101	C10H22S	METHYL-NONYL-SULFIDE	174.344	238.16	513.16	701.03	21.41	649.5	0.2684	0.239	0.551
1102	C10H22S	PENTYL-SULFIDE	174.344	238.16	513.16	701.03	21.41	649.5	0.2684	0.239	0.551
1103	C10H22S2	PENTYL-DISULFIDE	206.404	214.16	537.06	726.94	21.75	703.5	0.2934	0.253	0.614
1104	C10H23N	n-DECYLAMINE	157.299	288.85	493.65	663.00	21.80	629.0	0.2501	0.249	0.669
1105	C11H10	1-METHYLNAPHTHALENE	142.200	242.67	517.83	772.04	36.60	523.0	0.2719	0.298	0.348
1106	C11H10	2-METHYLNAPHTHALENE	142.200	307.73	514.20	761.00	32.50	507.0	0.2805	0.260	0.346
1107	C11H14O2	n-BUTYL BENZOATE	178.231	251.65	523.15	724.00	25.90	555.0	0.3211	0.239	0.575
1108	C11H16	n-PENTYLBENZENE	148.248	198.15	478.61	679.90	26.04	550.0	0.2695	0.253	0.439
1109	C11H16O	p-tert-AMYLPHENOL	164.247	366.00	535.15	751.00	29.80	546.0	0.3008	0.261	0.569
1110	C11H20	1-UNDECYNE	152.279	248.16	468.16	650.99	22.12	613.5	0.2482	0.251	0.470
1111	C11H20O2	2-ETHYLHEXYL ACRYLATE	184.279	183.15	489.15	655.00	20.70	639.0	0.2884	0.243	0.673
1112	C11H22	1-UNDECENE	154.296	223.99	465.82	638.00	20.30	642.0	0.2403	0.246	0.517
1113	C11H22	1-CYCLOPENTYLHEXANE	154.295	200.16	476.26	667.67	22.81	592.5	0.2604	0.243	0.442
1114	C11H22	PENTYLCYCLOHEXANE	154.295	215.66	476.87	674.01	23.36	584.5	0.2640	0.244	0.413
1115	C11H22O	1-UNDECANAL	170.295	273.15	506.15	672.00	20.00	632.0	0.2695	0.226	0.697
1116	C11H24	n-UNDECANE	156.312	247.57	469.08	638.76	19.66	657.0	0.2379	0.243	0.536
1117	C11H24O	1-UNDECANOL	172.311	289.05	518.15	704.00	20.80	643.0	0.2680	0.229	0.587
1118	C11H24S	UNDECYL MERCAPTAN	188.378	270.15	530.55	710.00	19.80	676.0	0.2787	0.227	0.636
1119	C11H24S	BUTYL-HEPTYL-SULFIDE	188.371	254.66	533.16	717.91	19.63	705.5	0.2670	0.232	0.592
1120	C11H24S	DECYL-METHYL-SULFIDE	188.371	254.66	533.16	717.91	19.63	705.5	0.2670	0.232	0.592
1121	C11H24S	ETHYL-NONYL-SULFIDE	188.371	254.66	533.16	717.91	19.63	705.5	0.2670	0.232	0.592
1122	C11H24S	OCTYL-PROPYL-SULFIDE	188.371	254.66	533.16	717.91	19.63	705.5	0.2670	0.232	0.592
1123	C12H8O	DIBENZOFURAN	168.195	355.65	557.86	837.80	32.00	533.0	0.3156	0.245	0.275
1124	C12H9N	DIBENZOPYRROLE	167.210	517.95	627.86	899.00	32.60	482.0	0.3469	0.210	0.494
1125	C12H10	ACENAPHTHENE	154.211	366.56	550.54	803.15	31.00	553.0	0.2789	0.257	0.381
1126	C12H10	BIPHENYL	154.211	342.37	528.15	789.26	38.47	501.6	0.3075	0.294	0.366
1127	C12H10O	DIPHENYL ETHER	172.210	300.02	531.46	763.00	31.30	502.8	0.3385	0.248	0.472
1128	C12H11N	p-AMINODIPHENYL	169.226	326.00	575.00	817.00	32.90	539.0	0.3140	0.261	0.545
1129	C12H11N	DIPHENYLAMINE	169.226	326.15	575.15	817.00	31.80	539.0	0.3140	0.252	0.530
1130	C12H11N3	p-AMINOAZOBENZENE	197.240	401.00	633.00	877.00	29.00	642.0	0.3072	0.255	0.635
1131	C12H11N3	1,3-DIPHENYL TRIAZENE	197.240	372.00	610.00	845.00	28.26	642.0	0.3072	0.258	0.623
1132	C12H12	1,2-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	272.16	539.46	775.34	30.06	521.5	0.2996	0.243	0.443
1133	C12H12	1,3-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	269.16	538.36	773.76	30.06	521.5	0.2996	0.244	0.443
1134	C12H12	1,4-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	280.82	540.46	776.78	30.06	521.5	0.2996	0.243	0.443
1135	C12H12	1,5-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	355.16	538.16	773.47	30.06	521.5	0.2996	0.244	0.443
1136	C12H12	1,6-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	259.16	536.16	770.60	30.06	521.5	0.2996	0.245	0.443
1137	C12H12	1,7-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	260.16	536.16	770.60	30.06	521.5	0.2996	0.245	0.443
1138	C12H12	2,3-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	378.16	541.16	777.78	30.06	521.5	0.2996	0.242	0.443
1139	C12H12	2,6-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	384.55	535.15	777.00	31.70	520.0	0.3004	0.255	0.418
1140	C12H12	2,7-DIMETHYLNAPHTHALENE	156.227	370.15	536.15	778.00	31.70	520.0	0.3004	0.255	0.420
1141	C12H12	1-ETHYLNAPHTHALENE	156.227	259.34	531.48	776.00	30.00	520.0	0.3004	0.242	0.363
1142	C12H12	2-ETHYLNAPHTHALENE	156.227	265.76	531.49	774.90	31.40	521.5	0.2996	0.254	0.392
1143	C12H12N2	p-AMINODIPHENYLAMINE	184.241	341.15	627.15	867.00	31.90	596.0	0.3091	0.264	0.694
1144	C12H12N2	HYDRAZOBENZENE	184.241	404.15	573.00	792.00	30.90	556.0	0.3314	0.261	0.680
1145	C12H14	1,2,3-TRIMETHYLINDENE	158.243	344.65	509.00	726.00	27.70	529.0	0.2991	0.243	0.441
1146	C12H14O4	DIETHYL PHTHALATE	222.241	269.15	567.15	757.00	23.30	635.0	0.3500	0.235	0.763
1147	C12H16	CYCLOHEXYLBENZENE	160.259	280.14	513.27	744.00	28.80	555.1	0.2887	0.258	0.379
1148	C12H18	m-DIISOPROPYLBENZENE	162.275	210.02	476.33	684.00	24.50	600.0	0.2705	0.258	0.359
1149	C12H18	p-DIISOPROPYLBENZENE	162.275	256.08	483.65	689.00	24.50	598.0	0.2714	0.256	0.390
1150	C12H18	n-HEXYLBENZENE	162.275	212.00	499.26	698.00	23.80	618.0	0.2626	0.253	0.478
1151	C12H18	1,2,3-TRIETHYLBENZENE	162.274	206.66	490.66	684.37	23.36	599.5	0.2707	0.246	0.479
1152	C12H18	1,2,4-TRIETHYLBENZENE	162.274	206.66	490.66	684.37	23.36	599.5	0.2707	0.246	0.479
1153	C12H18	1,3,5-TRIETHYLBENZENE	162.274	206.66	489.16	682.28	23.36	599.5	0.2707	0.247	0.479
1154	C12H18	HEXAMETHYLBENZENE	162.274	438.66	536.60	758.00	22.38	599.5	0.2707	0.216	0.396
1155	C12H20O4	DIBUTYL MALEATE	228.288	188.15	553.15	716.00	19.00	719.0	0.3175	0.229	0.899
1156	C12H22	BICYCLOHEXYL	166.307	276.78	512.19	727.00	25.60	598.0	0.2781	0.253	0.428
1157	C12H22	1-DODECYNE	166.306	254.16	488.16	668.16	20.25	669.5	0.2484	0.244	0.512
1158	C12H23N	DICYCLOHEXYLAMINE	181.321	273.05	529.00	737.00	25.20	619.0	0.2929	0.255	0.513
1159	C12H24	1-DODECENE	168.323	237.93	486.50	657.00	18.90	700.0	0.2405	0.242	0.564
1160	C12H24	1-CYCLOPENTYLHEPTANE	168.322	220.00	497.30	679.00	19.40	648.5	0.2596	0.237	0.515
1161	C12H24	1-CYCLOHEXYLHEXANE	168.322	263.60	497.86	691.81	21.33	640.5	0.2628	0.238	0.456
1162	C12H24O	1-DODECANAL	184.322	285.15	523.15	685.00	18.60	685.0	0.2691	0.224	0.754
1163	C12H24O2	n-DODECANOIC ACID	200.321	317.15	571.85	734.00	19.40	705.0	0.2841	0.224	0.967
1164	C12H26	n-DODECANE	170.338	263.57	489.47	658.20	18.24	726.8	0.2344	0.242	0.573
1165	C12H26O	DI-n-HEXYL ETHER	186.338	230.15	498.85	658.00	18.16	698.0	0.2670	0.232	0.711
1166	C12H26O	1-DODECANOL	186.338	296.95	535.00	721.00	19.30	696.0	0.2677	0.224	0.639
1167	C12H26O3	DIETHYLENE GLYCOL DI-n-BUTYL ETHER	218.337	212.95	529.15	680.00	17.60	803.0	0.2719	0.250	0.846
1168	C12H26S	n-DODECYL MERCAPTAN	202.404	265.15	547.75	724.00	18.40	729.0	0.2776	0.223	0.677
1169	C12H26S	BUTYL-OCTYL-SULFIDE	202.397	259.16	552.16	733.68	18.06	761.5	0.2658	0.225	0.631
1170	C12H26S	DECYL-ETHYL-SULFIDE	202.397	259.16	552.16	733.68	18.06	761.5	0.2658	0.225	0.631

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
1171	C12H26S	HEXYL-SULFIDE	202.397	259.16	552.16	733.68	18.06	761.5	0.2658	0.225	0.631
1172	C12H26S	METHYL-UNDECYL-SULFIDE	202.397	259.16	552.16	733.68	18.06	761.5	0.2658	0.225	0.631
1173	C12H26S	NONYL-PROPYL-SULFIDE	202.397	259.16	552.16	733.68	18.06	761.5	0.2658	0.225	0.631
1174	C12H26S2	HEXYL-DISULFIDE	234.457	225.16	566.66	747.10	18.33	815.5	0.2875	0.241	0.692
1175	C12H27BO3	TRI-n-BUTYL BORATE	230.156	203.15	506.65	743.15	19.89	863.3	0.2666	0.278	0.189
1176	C12H27N	DODECYLAMINE	185.353	301.47	532.35	696.00	18.80	735.0	0.2522	0.239	0.769
1177	C12H27N	TRI-n-BUTYLAMINE	185.353	203.00	487.15	644.00	18.00	735.0	0.2522	0.247	0.694
1178	C13H10	FLUORENE	166.222	387.94	570.44	870.00	47.00	400.0	0.4156	0.260	0.349
1179	C13H10O	BENZOPHENONE	182.222	321.35	579.24	816.00	30.10	591.0	0.3083	0.262	0.545
1180	C13H12	DIPHENYLMETHANE	168.238	298.39	537.42	768.00	29.20	547.0	0.3076	0.250	0.462
1181	C13H14	1-PROPYLNAPHTHALENE	170.254	264.69	545.96	771.45	27.56	577.5	0.2948	0.248	0.488
1182	C13H14	2-PROPYLNAPHTHALENE	170.254	270.16	546.66	772.44	27.56	577.5	0.2948	0.248	0.488
1183	C13H14	2ETHYL-3-METHYLNAPHTHALENE	170.254	344.16	550.16	776.44	27.13	577.5	0.2948	0.243	0.488
1184	C13H14	2ETHYL-6-METHYLNAPHTHALENE	170.254	318.16	543.16	766.56	27.13	577.5	0.2948	0.246	0.488
1185	C13H14	2ETHYL-7-METHYLNAPHTHALENE	170.254	318.16	543.16	766.56	27.13	577.5	0.2948	0.246	0.488
1186	C13H20	n-HEPTYLBENZENE	176.302	225.15	519.25	714.00	21.80	648.0	0.2721	0.238	0.529
1187	C13H24	1-TRIDECYNE	180.333	268.16	507.16	684.11	18.61	725.5	0.2486	0.237	0.553
1188	C13H26	1-TRIDECENE	182.349	250.08	505.93	675.00	17.70	756.0	0.2412	0.238	0.612
1189	C13H26	1-CYCLOPENTYLOCTANE	182.348	229.16	516.86	702.06	19.14	704.5	0.2588	0.231	0.526
1190	C13H26	1-CYCLOHEXYLHEPTANE	182.348	242.66	518.06	708.63	19.56	696.5	0.2618	0.231	0.498
1191	C13H26O	1-TRIDECANOL	198.349	288.15	540.15	700.00	17.40	738.0	0.2688	0.221	0.785
1192	C13H26O2	n-BUTYL NONANOATE	214.348	235.15	503.00	652.00	17.40	794.0	0.2700	0.255	0.828
1193	C13H26O2	METHYL DODECANOATE	214.348	278.15	540.00	712.00	17.40	758.0	0.2828	0.223	0.690
1194	C13H28	n-TRIDECANE	184.365	267.76	508.62	675.80	17.23	770.0	0.2394	0.236	0.619
1195	C13H28O	1-TRIDECANOL	200.365	303.75	547.15	731.00	18.10	749.0	0.2675	0.223	0.627
1196	C13H28S	BUTYL-NONYL-SULFIDE	216.424	271.16	570.16	748.42	16.67	817.5	0.2647	0.219	0.667
1197	C13H28S	DECYL-PROPYL-SULFIDE	216.424	271.16	570.16	748.42	16.67	817.5	0.2647	0.219	0.667
1198	C13H28S	DODECYL-METHYL-SULFIDE	216.424	271.16	570.16	748.42	16.67	817.5	0.2647	0.219	0.667
1199	C13H28S	ETHYL-UNDECYL-SULFIDE	216.424	271.16	570.16	748.42	16.67	817.5	0.2647	0.219	0.667
1200	C13H28S	1-TRIDECANETHIOL	216.424	282.04	563.96	742.13	17.33	817.5	0.2647	0.230	0.673
1201	C14H8O2	ANTHRAQUINONE	208.216	559.15	653.05	900.00	31.50	544.0	0.3828	0.229	0.681
1202	C14H10	ANTHRACENE	178.233	489.25	615.18	873.00	29.00	554.0	0.3217	0.221	0.489
1203	C14H10	DIPHENYLACETYLENE	178.233	335.65	573.00	832.00	29.00	611.0	0.2917	0.256	0.384
1204	C14H10	PHENANTHRENE	178.233	372.38	613.45	869.25	29.00	554.0	0.3217	0.222	0.495
1205	C14H12	cis-STILBENE	180.249	268.15	535.00	757.00	27.40	584.0	0.3086	0.254	0.471
1206	C14H12	trans-STILBENE	180.249	397.35	579.65	820.00	27.40	578.0	0.3118	0.232	0.490
1207	C14H12O2	BENZYL BENZOATE	212.248	292.55	596.65	820.00	25.80	694.0	0.3058	0.263	0.623
1208	C14H14	1,1-DIPHENYLETHANE	182.265	255.20	545.78	775.00	26.80	604.0	0.3018	0.251	0.457
1209	C14H14	1,2-DIPHENYLETHANE	182.265	324.34	553.65	780.00	26.50	606.0	0.3008	0.248	0.489
1210	C14H14O	DIBENZYL ETHER	198.265	276.75	561.45	777.00	25.60	608.0	0.3261	0.241	0.591
1211	C14H16	1-n-BUTYLNAPHTHALENE	184.281	253.43	562.54	792.00	26.80	631.0	0.2920	0.257	0.495
1212	C14H16	2-BUTYLNAPHTHALENE	184.280	268.16	562.16	780.96	24.98	633.5	0.2909	0.244	0.533
1213	C14H22	n-OCTYLBENZENE	190.329	237.15	537.55	729.00	20.20	703.0	0.2707	0.234	0.572
1214	C14H22	1,2,3,4-TETRAETHYLBENZENE	190.328	284.96	524.16	708.20	19.30	711.5	0.2675	0.233	0.562
1215	C14H22	1,2,3,5-TETRAETHYLBENZENE	190.328	284.16	523.66	707.52	19.30	711.5	0.2675	0.234	0.562
1216	C14H22	1,2,4,5-TETRAETHYLBENZENE	190.328	283.16	523.16	706.85	19.30	711.5	0.2675	0.234	0.562
1217	C14H22O	p-tert-OCTYLPHENOL	206.328	358.55	563.60	765.00	22.80	704.0	0.2931	0.252	0.631
1218	C14H28	1-TETRADECENE	196.376	260.30	524.25	692.00	16.60	817.0	0.2404	0.236	0.648
1219	C14H28	1-CYCLOPENTYLNONANE	196.375	244.16	535.26	716.95	17.62	760.5	0.2582	0.225	0.566
1220	C14H28	1-CYCLOHEXYLOCTANE	196.375	253.46	536.76	723.61	18.00	752.5	0.2610	0.225	0.538
1221	C14H28O2	n-TETRADECANOIC ACID	228.375	327.55	599.35	756.00	17.00	811.0	0.2816	0.219	1.025
1222	C14H30	n-TETRADECANE	198.392	279.01	526.73	692.40	16.21	842.8	0.2354	0.237	0.682
1223	C14H30O	1-TETRADECANOL	214.392	310.65	560.15	741.00	17.00	802.0	0.2673	0.221	0.677
1224	C14H30S	BUTYL-DECYL-SULFIDE	230.451	276.16	587.16	762.23	15.44	873.5	0.2638	0.213	0.700
1225	C14H30S	DODECYL-ETHYL-SULFIDE	230.451	276.16	587.16	762.23	15.44	873.5	0.2638	0.213	0.700
1226	C14H30S	HEPTYL-SULFIDE	230.451	276.16	587.16	762.23	15.44	873.5	0.2638	0.213	0.700
1227	C14H30S	METHYL-TRIDECYL-SULFIDE	230.451	276.16	587.16	762.23	15.44	873.5	0.2638	0.213	0.700
1228	C14H30S	PROPYL-UNDECYL-SULFIDE	230.451	276.16	587.16	762.23	15.44	873.5	0.2638	0.213	0.700
1229	C14H30S	1-TETRADECANETHIOL	230.451	279.26	579.36	753.80	16.03	873.5	0.2638	0.223	0.707
1230	C14H30S2	HEPTYL-DISULFIDE	262.511	235.16	593.86	765.96	15.65	927.5	0.2830	0.228	0.758
1231	C14H31N	TETRADECYLAMINE	213.407	311.34	564.45	722.30	16.60	887.0	0.2406	0.245	0.860
1232	C15H10N2O2	DIPHENYLMETHANE-4,4'-DIISOCYANATE	250.257	311.20	609.00	802.00	22.80	712.0	0.3515	0.243	0.950
1233	C15H16O	p-CUMYLPHENOL	212.291	346.00	608.15	834.00	26.80	659.0	0.3221	0.255	0.660
1234	C15H16O2	BISPHENOL A	228.291	426.15	633.65	849.00	29.30	677.0	0.3372	0.281	0.945
1235	C15H18	1-PENTYLNAPHTHALENE	198.307	251.16	580.16	793.32	22.74	689.5	0.2876	0.238	0.575
1236	C15H18	2-PENTYLNAPHTHALENE	198.307	269.16	583.16	797.48	22.74	689.5	0.2876	0.236	0.575
1237	C15H24	n-NONYLBENZENE	204.356	249.00	555.20	741.00	18.95	790.0	0.2587	0.243	0.638
1238	C15H24O	2,6-DI-tert-BUTYL-p-CRESOL	220.355	344.00	538.00	720.00	21.10	757.0	0.2911	0.267	0.686
1239	C15H24O	NONYLPHENOL	220.355	—	581.00	757.00	20.70	757.0	0.2911	0.249	0.900
1240	C15H28	1-PENTADECYNE	208.386	283.16	541.16	711.41	15.87	837.5	0.2488	0.225	0.628
1241	C15H30	1-PENTADECENE	210.403	269.42	541.61	708.00	15.70	875.0	0.2405	0.233	0.684
1242	C15H30	1-CYCLOPENTYLDODECANE	210.402	251.03	552.54	730.64	16.29	816.5	0.2577	0.219	0.604
1243	C15H30	1-CYCLOHEXYLNONANE	210.402	262.96	554.66	737.79	16.62	808.5	0.2602	0.219	0.577
1244	C15H30O2	PENTADECANOIC ACID	242.402	325.68	612.05	766.00	16.00	864.0	0.2806	0.217	1.040
1245	C15H32	n-PENTADECANE	212.419	283.11	543.83	706.80	15.20	880.0	0.2414	0.228	0.705
1246	C15H32O	1-PENTADECANOL	228.417	317.04	578.01	722.53	15.19	894.5	0.2554	0.226	1.015
1247	C15H32S	BUTYL-UNDECYL-SULFIDE	244.478	284.16	603.16	775.15	14.34	929.5	0.2630	0.207	0.729
1248	C15H32S	DODECYL-PROPYL-SULFIDE	244.478	284.16	603.16	775.15	14.34	929.5	0.2630	0.207	0.729

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
1249	C15H32S	ETHYL-TRIDECYL-SULFIDE	244.478	284.16	603.16	775.15	14.34	929.5	0.2630	0.207	0.729
1250	C15H32S	METHYL-TETRADECYL-SULFIDE	244.478	284.16	603.16	775.15	14.34	929.5	0.2630	0.207	0.729
1251	C15H32S	1-PENTADECANETHIOL	244.478	290.93	593.86	764.77	14.86	929.5	0.2630	0.217	0.737
1252	C16H10	FLUORANTHENE	202.255	383.33	655.95	905.00	26.10	655.0	0.3088	0.227	0.588
1253	C16H10	PYRENE	202.255	423.81	667.95	936.00	26.10	630.0	0.3210	0.211	0.509
1254	C16H12	1-PHENYLNAPHTHALENE	204.271	318.15	607.15	849.00	26.30	656.0	0.3114	0.244	0.531
1255	C16H20	1-n-HEXYLNAPHTHALENE	212.335	255.15	595.15	813.00	22.50	741.0	0.2866	0.247	0.587
1256	C16H22O4	DIBUTYL PHTHALATE	278.348	238.15	613.15	781.00	17.50	846.0	0.3290	0.228	0.947
1257	C16H26	n-DECYLBENZENE	218.382	258.77	571.04	753.00	17.70	881.0	0.2479	0.249	0.681
1258	C16H26	PENTAETHYLBENZENE	218.381	327.66	550.16	723.64	16.22	823.5	0.2652	0.222	0.637
1259	C16H30	1-HEXADECYNE	222.413	288.16	557.16	724.26	14.72	893.5	0.2489	0.219	0.661
1260	C16H32	n-DECYLCYCLOHEXANE	224.430	271.42	570.75	751.25	16.50	858.0	0.2616	0.227	0.663
1261	C16H32	1-CYCLOPENTYLUNDECANE	224.429	263.16	568.76	743.30	15.09	872.5	0.2572	0.213	0.638
1262	C16H32	1-HEXADECENE	224.430	277.51	558.02	722.00	14.80	933.0	0.2405	0.230	0.732
1263	C16H32O2	n-HEXADECANOIC ACID	256.429	335.95	624.15	776.00	15.10	917.0	0.2796	0.215	1.083
1264	C16H34	n-HEXADECANE	226.446	291.34	560.01	720.60	14.19	930.0	0.2435	0.220	0.747
1265	C16H34O	Di-n-OCTYL ETHER	242.445	265.55	559.65	707.00	14.40	910.0	0.2664	0.223	0.934
1266	C16H34O	1-HEXADECANOL	242.445	322.35	585.15	761.00	15.10	907.0	0.2673	0.216	0.748
1267	C16H34S	BUTYL-DODECYL-SULFIDE	258.505	288.16	618.16	787.27	13.35	985.5	0.2623	0.201	0.754
1268	C16H34S	ETHYL-TETRADECYL-SULFIDE	258.505	288.16	618.16	791.68	12.88	931.5	0.2775	0.182	0.686
1269	C16H34S	METHYL-PENTADECYL-SULFIDE	258.505	288.16	618.16	787.27	13.35	985.5	0.2623	0.201	0.754
1270	C16H34S	OCTYL-SULFIDE	258.505	288.16	618.16	787.27	13.35	985.5	0.2623	0.201	0.754
1271	C16H34S	PROPYL-TRIDECYL-SULFIDE	258.505	288.16	618.16	787.27	13.35	985.5	0.2623	0.201	0.754
1272	C16H34S	1-HEXADECANETHIOL	258.505	290.93	607.16	774.68	13.82	985.5	0.2623	0.211	0.763
1273	C16H34S2	OCTYL-DISULFIDE	290.565	244.16	619.16	784.46	13.52	1039.5	0.2795	0.215	0.806
1274	C17H28	n-UNDECYLBENZENE	232.409	268.00	586.40	764.00	16.72	910.0	0.2554	0.240	0.738
1275	C17H32	1-HEPTADECYNE	236.440	295.16	572.16	736.21	13.70	949.5	0.2490	0.212	0.690
1276	C17H34	1-CYCLOPENTYLDODECANE	238.456	268.16	584.06	755.17	14.03	928.5	0.2568	0.207	0.669
1277	C17H34	1-CYCLOHEXYLUNDECANE	238.456	278.96	586.26	761.74	14.29	920.5	0.2591	0.208	0.646
1278	C17H34	1-HEPTADECENE	238.457	284.40	573.48	736.00	14.10	955.0	0.2497	0.220	0.753
1279	C17H36	n-HEPTADECANE	240.473	295.13	575.30	733.37	13.17	1005.8	0.2391	0.217	0.768
1280	C17H36O	1-HEPTADECANOL	256.472	327.05	597.15	770.00	14.30	960.0	0.2672	0.214	0.795
1281	C17H36S	BUTYL-TRIDECYL-SULFIDE	272.531	294.16	632.16	798.63	12.46	1041.5	0.2617	0.195	0.774
1282	C17H36S	ETHYL-PENTADECYL-SULFIDE	272.531	294.16	632.16	798.63	12.46	1041.5	0.2617	0.195	0.774
1283	C17H36S	HEXADECYL-METHYL-SULFIDE	272.531	294.16	632.16	798.63	12.46	1041.5	0.2617	0.195	0.774
1284	C17H36S	PROPYL-TETRADECYL-SULFIDE	272.531	294.16	632.16	798.63	12.46	1041.5	0.2617	0.195	0.774
1285	C17H36S	1-HEPTADECANETHIOL	272.531	300.37	621.16	786.01	12.88	1041.5	0.2617	0.205	0.783
1286	C18H12	CHRYSENE	228.293	531.15	714.15	979.00	23.90	690.0	0.3309	0.213	0.604
1287	C18H14	m-TERPHENYL	230.309	360.00	650.00	924.85	35.06	767.7	0.3000	0.350	0.558
1288	C18H14	o-TERPHENYL	230.309	329.35	609.00	890.95	39.01	752.6	0.3060	0.396	0.467
1289	C18H14	p-TERPHENYL	230.309	485.00	649.15	925.95	33.24	762.6	0.3020	0.329	0.528
1290	C18H15P	TRIPHENYLPHOSPHINE	262.291	354.40	650.15	1008.00	78.40	554.0	0.4734	0.518	0.452
1291	C18H15O4P	TRIPHENYL PHOSPHATE	326.288	323.15	686.65	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1292	C18H16N2	N,N-DIPHENYL-p-PHENYLENEDIAMINE	260.339	409.00	688.00	906.00	23.10	817.0	0.3187	0.251	0.876
1293	C18H22	2,3-DIMETHYL-2,3-DIPHENYLBUTANE	238.373	392.15	589.00	805.00	19.90	781.0	0.3052	0.232	0.521
1294	C18H22O2	DICUMYL PEROXIDE	270.371	311.15	669.00	884.00	21.80	873.0	0.3097	0.259	0.450
1295	C18H30	n-DODECYLBENZENE	246.436	275.93	600.76	774.26	15.79	1000.0	0.2464	0.245	0.786
1296	C18H30	HEXAETHYLBENZENE	246.435	401.16	571.16	734.78	13.82	935.5	0.2634	0.212	0.698
1297	C18H32O2	LINOLEIC ACID	280.451	268.15	628.00	775.00	14.10	990.0	0.2833	0.217	1.176
1298	C18H34	1-OCTADECYNE	250.467	300.16	586.16	747.33	12.77	1005.5	0.2491	0.207	0.715
1299	C18H34O2	OLEIC ACID	282.467	286.53	633.00	781.00	13.90	1000.0	0.2825	0.214	1.187
1300	C18H34O4	DIBUTYL SEBACATE	314.466	263.95	622.15	768.00	13.20	1050.0	0.2995	0.217	1.126
1301	C18H34O4	DIHEXYL ADIPATE	314.466	259.35	621.15	767.00	13.20	1030.0	0.3053	0.213	1.094
1302	C18H36	1-CYCLOPENTYLTRIDECANE	252.482	278.16	598.56	766.47	13.07	984.5	0.2565	0.202	0.697
1303	C18H36	1-CYCLOHEXYLDODECANE	252.482	285.66	600.86	772.83	13.31	976.5	0.2586	0.202	0.675
1304	C18H36	1-OCTADECENE	252.484	290.76	587.97	748.00	13.40	1050.0	0.2405	0.226	0.790
1305	C18H36O2	STEARIC ACID	284.483	342.75	648.35	799.00	13.60	1020.0	0.2789	0.209	1.084
1306	C18H38	n-OCTADECANE	254.500	301.33	589.86	745.26	12.14	1070.0	0.2379	0.210	0.795
1307	C18H38O	DINONYL ETHER	270.499	-----	591.00	736.00	13.00	1020.0	0.2652	0.217	1.002
1308	C18H38O	1-OCTADECANOL	270.499	331.05	608.15	777.00	13.60	1010.0	0.2678	0.213	0.863
1309	C18H38S	BUTYL-TETRADECYL-SULFIDE	286.558	298.16	646.16	810.53	11.66	1097.5	0.2611	0.190	0.787
1310	C18H38S	ETHYL-HEXADECYL-SULFIDE	286.558	298.16	646.16	810.53	11.66	1097.5	0.2611	0.190	0.787
1311	C18H38S	HEPTADECYL-METHYL-SULFIDE	286.558	298.16	646.16	810.53	11.66	1097.5	0.2611	0.190	0.787
1312	C18H38S	NONYL-SULFIDE	286.558	298.16	646.16	810.53	11.66	1097.5	0.2611	0.190	0.787
1313	C18H38S	PENTADECYL-PROPYL-SULFIDE	286.558	298.16	646.16	810.53	11.66	1097.5	0.2611	0.190	0.787
1314	C18H38S	1-OCTADECANETHIOL	286.558	300.93	633.16	795.36	12.04	1097.5	0.2611	0.200	0.798
1315	C18H38S2	NONYL-DISULFIDE	318.618	252.16	642.16	802.30	11.79	1151.5	0.2767	0.204	0.832
1316	C19H26	1-n-NONYLNAPHTHALENE	254.415	284.15	639.00	849.00	16.80	1000.0	0.2544	0.238	0.617
1317	C19H32	n-TRIDECYLBENZENE	260.463	283.15	614.43	783.00	15.00	1060.0	0.2457	0.244	0.844
1318	C19H36	1-NONADECYNE	264.493	306.16	600.16	758.94	11.94	1061.5	0.2492	0.201	0.735
1319	C19H36O2	METHYL OLEATE	296.494	293.05	617.00	764.00	12.80	1060.0	0.2797	0.214	1.049
1320	C19H38	1-CYCLOPENTYLTETRADECANE	266.509	282.00	612.16	772.00	11.20	1040.5	0.2561	0.201	0.789
1321	C19H38	1-CYCLOHEXYLTRIDECANE	266.509	291.66	614.66	783.38	12.42	1032.5	0.2581	0.197	0.700
1322	C19H38	1-NONADECENE	266.511	296.55	602.17	760.00	12.80	1100.0	0.2423	0.223	0.841
1323	C19H38O2	NONADECANOIC ACID	298.510	341.23	659.15	810.00	13.00	1080.0	0.2764	0.208	1.070
1324	C19H40	n-NONADECANE	268.527	305.33	603.05	755.93	11.17	1130.0	0.2376	0.201	0.820
1325	C19H40O	1-NONADECANOL	284.524	334.87	631.00	775.30	11.49	1118.5	0.2544	0.199	0.976
1326	C19H40S	BUTYL-PENTADECYL-SULFIDE	300.585	303.16	659.16	821.75	10.93	1153.5	0.2606	0.185	0.794

Table 1-1 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - ORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
1327	C19H40S	ETHYL-HEPTADECYL-SULFIDE	300.585	303.16	659.16	821.75	10.93	1153.5	0.2606	0.185	0.794
1328	C19H40S	HEXADECYL-PROPYL-SULFIDE	300.585	303.16	659.16	821.75	10.93	1153.5	0.2606	0.185	0.794
1329	C19H40S	METHYL-OCTADECYL-SULFIDE	300.585	303.16	659.16	821.75	10.93	1153.5	0.2606	0.185	0.794
1330	C19H40S	1-NONADECANETHIOL	300.585	307.04	645.16	805.29	11.28	1153.5	0.2606	0.194	0.807
1331	C20H16	TRIPHENYLETHYLENE	256.347	342.15	669.00	908.00	21.00	860.0	0.2981	0.239	0.600
1332	C20H28	1-n-DECYLNAPHTHALENE	268.442	288.15	652.00	859.00	15.80	1070.0	0.2509	0.237	0.642
1333	C20H30O2	ABIETIC ACID	302.457	446.65	649.70	832.00	16.80	930.0	0.3252	0.226	1.129
1334	C20H31N	DEHYDROABIETYLAMINE	285.473	317.65	660.00	863.00	17.00	1020.0	0.2799	0.242	0.742
1335	C20H34	1-PHENYLTETRADECANE	274.489	289.16	627.16	792.00	14.19	1110.0	0.2473	0.240	0.869
1336	C20H38	1-EICOSYNE	278.520	309.16	613.16	769.79	11.19	1117.5	0.2492	0.195	0.750
1337	C20H40	1-CYCLOPENTYLPENTADECANE	280.536	290.00	625.00	780.00	10.20	1096.5	0.2558	0.191	0.833
1338	C20H40	1-CYCLOHEXYLTETRADECANE	280.536	297.16	627.16	792.82	11.62	1088.5	0.2577	0.192	0.719
1339	C20H40	1-EICOSENE	280.538	301.76	615.54	771.00	12.20	1160.0	0.2418	0.221	0.877
1340	C20H42	n-EICOSANE	282.553	309.59	616.93	767.04	10.40	1190.0	0.2374	0.194	0.876
1341	C20H42O	1-EICOSANOL	298.553	338.55	629.15	792.00	12.40	1120.0	0.2666	0.211	0.937
1342	C20H42S	BUTYL-HEXADECYL-SULFIDE	314.612	308.16	671.16	832.33	10.27	1209.5	0.2601	0.179	0.795
1343	C20H42S	DECYL-SULFIDE	314.612	308.16	671.16	832.33	10.27	1209.5	0.2601	0.179	0.795
1344	C20H42S	ETHYL-OCTADECYL-SULFIDE	314.612	308.16	671.16	832.33	10.27	1209.5	0.2601	0.179	0.795
1345	C20H42S	HEPTADECYL-PROPYL-SULFIDE	314.612	308.16	671.16	832.33	10.27	1209.5	0.2601	0.179	0.795
1346	C20H42S	METHYL-NONADECYL-SULFIDE	314.612	308.16	671.16	832.33	10.27	1209.5	0.2601	0.179	0.795
1347	C20H42S	1-EICOSANETHIOL	314.612	310.37	656.16	814.57	10.58	1209.5	0.2601	0.189	0.809
1348	C20H42S2	DECYL-DISULFIDE	346.672	259.16	663.16	820.08	10.38	1263.5	0.2744	0.192	0.830
1349	C21H21O4P	TRI- <i>o</i> -CRESYL PHOSPHATE	368.369	240.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1350	C21H36	1-PHENYLPENTADECANE	288.515	295.16	639.16	800.00	13.48	1140.0	0.2531	0.230	0.914
1351	C21H42	1-CYCLOPENTYLHEXADECANE	294.563	294.16	637.16	797.25	10.72	1152.5	0.2556	0.186	0.748
1352	C21H42	1-CYCLOHEXYLPENTADECANE	294.563	302.16	640.16	803.46	10.90	1144.5	0.2574	0.187	0.733
1353	C22H38	1-PHENYLHEXADECANE	302.542	300.16	651.16	808.00	12.87	1200.0	0.2521	0.230	0.964
1354	C22H44	1-CYCLOHEXYLHEXADECANE	308.590	306.76	652.16	813.42	10.24	1200.5	0.2571	0.182	0.741
1355	C22H44O2	n-BUTYL STEARATE	340.590	299.45	623.15	764.00	11.10	1230.0	0.2769	0.215	1.035
1356	C24H38O4	DIISOCTYL PHTHALATE	390.563	-----	694.00	851.00	11.80	1420.0	0.2750	0.237	1.088
1357	C24H38O4	DIOCTYL PHTHALATE	390.563	223.15	657.15	806.00	11.80	1270.0	0.3075	0.224	1.142
1358	C24H42O	DINONYLPHENOL	346.597	-----	722.00	886.00	12.40	1220.0	0.2841	0.205	1.136
1359	C26H20	TETRAPHENYLETHYLENE	332.445	496.15	760.00	996.00	17.10	1020.0	0.3259	0.211	0.729
1360	C28H46O4	DIISODECYL PHTHALATE	446.671	227.59	723.00	887.00	10.00	1460.0	0.3059	0.198	1.076
MW - molecular weight, g/mol											
T _F - freezing point temperature, K											
T _B - boiling point temperature, K											
T _C - critical temperature, K											
P _C - critical pressure, bar											
V _C - critical volume, cm ³ /mol											
RHO _C - critical density, g/cm ³											
Z _C - critical compressibility factor											
OMEGA - acentric factor											

Table 1-2 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - INORGANIC COMPOUNDS

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
1	Ag	SILVER	107.868	1234.00	2485.00	7480.00	5066.00	58.2	1.8534	0.474	-0.210
2	AgCl	SILVER CHLORIDE	143.321	728.15	1837.15	2992.10	100.28	744.3	0.1926	0.300	0.360
3	AgI	SILVER IODIDE	234.773	825.15	1779.15	2897.64	97.12	744.3	0.3154	0.300	0.351
4	Al	ALUMINUM	26.982	933.00	2329.15	7151.00	5458.00	39.0	0.6918	0.358	-0.230
5	AlB3H12	ALUMINUM BOROHYDRIDE	71.510	209.15	319.05	513.77	112.46	114.0	0.6275	0.300	0.436
6	AlBr3	ALUMINUM BROMIDE	266.694	390.15	529.45	763.00	28.90	310.0	0.8603	0.141	0.399
7	AlCl3	ALUMINUM CHLORIDE	133.340	465.70	453.15	629.00	26.35	261.5	0.5100	0.132	0.660
8	AlF3	ALUMINUM FLUORIDE	83.977	1313.15	1810.15	2948.13	98.81	744.3	0.1128	0.300	0.356
9	AlI3	ALUMINUM IODIDE	407.695	464.15	658.65	983.00	35.95	408.0	0.9993	0.300	0.349
10	Al2O3	ALUMINUM OXIDE	101.961	2325.00	3253.15	5335.00	1953.20	68.1	1.4965	0.300	1.200
11	Al2S3O12	ALUMINUM SULFATE	342.154	1043.20	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
12	Ar	ARGON	39.948	83.80	87.28	150.86	48.98	74.6	0.5356	0.291	0.000
13	As	ARSENIC	74.922	1090.15	885.00	1673.15	223.00	34.9	2.1468	0.056	0.121
14	AsBr3	ARSENIC TRIBROMIDE	314.634	306.15	493.15	789.01	66.40	270.7	1.1623	0.274	0.298
15	AsCl3	ARSENIC TRICHLORIDE	181.280	255.15	403.55	654.00	59.12	252.0	0.7194	0.274	0.220
16	AsF3	ARSENIC TRIFLUORIDE	131.917	267.25	329.45	530.21	87.81	137.6	0.9590	0.274	0.363
17	AsF5	ARSENIC PENTAFLUORIDE	169.914	193.35	220.35	357.73	41.13	198.1	0.8575	0.274	0.106
18	AsH3	ARSINE	77.945	156.28	210.67	373.00	64.13	132.5	0.5883	0.274	0.006
19	AsI3	ARSENIC TRIIODIDE	455.635	419.15	676.15	1101.22	99.06	277.3	1.6430	0.300	0.357
20	As2O3	ARSENIC TRIOXIDE	197.841	585.95	730.35	1189.50	161.97	183.2	1.0800	0.300	0.502
21	At	ASTATINE	210.000	575.15	607.00	1096.37	1236.30	22.1	9.4929	0.300	0.641
22	Au	GOLD	196.967	1337.33	3120.00	4398.00	6354.40	50.3	3.9158	0.300	2.973
23	B	BORON	10.811	2348.15	4133.00	7934.59	8417.50	23.5	0.4598	0.300	0.826
24	BBr3	BORON TRIBROMIDE	250.523	228.15	364.85	581.00	48.66	272.0	0.9210	0.274	0.216
25	BCl3	BORON TRICHLORIDE	117.169	166.15	285.65	451.95	38.71	266.0	0.4405	0.274	0.151
26	BF3	BORON TRIFLUORIDE	67.806	146.05	173.35	260.90	49.85	123.6	0.5485	0.284	0.430
27	BH2CO	BORINE CARBONYL	40.837	136.15	209.15	340.03	55.03	140.7	0.2902	0.274	0.188
28	BH3O3	BORIC ACID	61.833	458.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
29	B2D6	DEUTERODIBORANE	33.718	-----	179.87	293.74	32.17	208.0	0.1621	0.274	0.017
30	B2H5Br	DIBORANE HYDROBROMIDE	106.566	168.95	289.45	466.98	43.61	243.9	0.4369	0.274	0.142
31	B2H6	DIBORANE	27.670	107.65	180.65	289.80	40.53	173.1	0.1598	0.291	0.125
32	B3N3H6	BORINE TRIAMINE	80.501	214.95	323.75	521.20	36.34	326.7	0.2464	0.274	0.092
33	B4H10	TETRABORANE	53.323	153.25	289.25	466.66	38.84	273.7	0.1948	0.274	0.107
34	B5H9	PENTABORANE	63.126	226.35	331.55	568.45	46.41	285.1	0.2214	0.280	0.000
35	B5H11	TETRAHYDROPENTABORANE	65.142	-----	340.15	547.13	41.29	301.8	0.2158	0.274	0.134
36	B10H14	DECABORANE	122.221	372.75	486.15	791.78	59.02	334.6	0.3652	0.300	0.203
37	Ba	BARIUM	137.327	1000.15	1907.00	3572.13	381.40	233.6	0.5878	0.300	0.264
38	Be	BERYLLIUM	9.012	1560.15	2744.00	5199.80	548.80	236.3	0.0381	0.300	0.309
39	BeB2H8	BERYLLIUM BOROHYDRIDE	38.698	396.15	363.15	591.45	48.77	302.5	0.1279	0.300	0.147
40	BeBr2	BERYLLIUM BROMIDE	168.820	763.15	793.15	1216.86	100.34	302.5	0.5581	0.300	0.361
41	BeCl2	BERYLLIUM CHLORIDE	79.918	678.15	823.15	1238.03	102.09	302.5	0.2642	0.300	0.366
42	BeF2	BERYLLIUM FLUORIDE	47.009	1073.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
43	BeI2	BERYLLIUM IODIDE	262.821	761.15	863.15	1238.03	102.09	302.5	0.8688	0.300	0.366
44	Bi	BISMUTH	208.980	544.15	1698.15	4620.00	682.59	79.4	2.6320	0.300	-0.300
45	BiBr3	BISMUTH TRIBROMIDE	448.692	491.15	734.15	1220.00	98.60	302.0	1.4857	0.300	0.288
46	BiCl3	BISMUTH TRICHLORIDE	315.338	503.15	714.15	1178.00	95.91	261.7	1.2050	0.300	0.304
47	BrF5	BROMINE PENTAFLUORIDE	174.896	211.75	313.55	470.00	57.16	187.3	0.9337	0.274	0.504
48	Br2	BROMINE	159.808	265.90	331.90	584.15	103.35	135.0	1.1838	0.287	0.119
49	C	CARBON	12.011	4247.00	4203.00	6810.00	2230.00	18.8	0.6389	0.074	1.566
50	CCl2O	PHOSGENE	98.916	145.37	280.71	455.00	56.74	190.2	0.5200	0.285	0.201
51	CF2O	CARBONYL FLUORIDE	66.007	161.89	188.58	297.00	57.60	141.0	0.4681	0.329	0.283
52	CH4N2O	UREA	60.056	405.85	465.00	705.00	90.50	218.0	0.2755	0.337	0.620
53	CH4N2S	THIOUREA	76.122	454.15	536.00	854.00	82.30	248.0	0.3069	0.287	0.359
54	CNBr	CYANOGEN BROMIDE	105.922	331.15	334.65	545.03	70.08	194.0	0.5460	0.300	0.254
55	CNCl	CYANOGEN CHLORIDE	61.470	266.65	286.00	449.00	59.90	163.0	0.3771	0.262	0.320
56	CNF	CYANOGEN FLUORIDE	45.016	-----	227.17	368.51	79.00	106.3	0.4236	0.274	0.303
57	CO	CARBON MONOXIDE	28.010	68.15	81.70	132.92	34.99	93.1	0.3009	0.295	0.066
58	COS	CARBONYL SULFIDE	60.076	134.35	223.00	378.80	63.49	135.1	0.4447	0.272	0.097
59	COSe	CARBON OXYSELENIDE	106.970	-----	251.25	406.58	86.30	107.3	0.9967	0.274	0.338
60	CO2	CARBON DIOXIDE	44.010	216.58	194.70	304.19	73.82	94.0	0.4682	0.274	0.228
61	CS2	CARBON DISULFIDE	76.143	161.58	319.37	552.00	79.03	160.0	0.4759	0.276	0.108
62	CSeS	CARBON SELENOSULFIDE	123.037	197.95	358.75	576.53	74.12	177.2	0.6944	0.274	0.316
63	C2N2	CYANOGEN	52.035	238.75	252.15	399.90	63.03	144.5	0.3601	0.274	0.312
64	C3S2	CARBON SUBSULFIDE	100.165	273.55	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
65	Ca	CALCIUM	40.078	1115.15	1762.00	3292.23	352.40	233.0	0.1720	0.300	0.254
66	CaF2	CALCIUM FLUORIDE	78.075	1691.00	2806.50	4570.85	376.91	302.5	0.2581	0.300	0.752
67	CbF5	COLUMBIUM FLUORIDE	187.898	348.65	498.15	811.32	66.90	302.5	0.6212	0.300	0.241
68	Cd	CADMIUM	112.411	594.05	1043.15	2291.00	861.70	37.9	2.9660	0.300	0.050
69	CdCl2	CADMIUM CHLORIDE	183.316	841.15	1240.15	2019.79	166.55	302.5	0.6060	0.300	0.511
70	CdF2	CADMIUM FLUORIDE	150.408	793.15	2024.15	3296.66	271.84	302.5	0.4972	0.300	0.656
71	CdI2	CADMIUM IODIDE	366.220	658.15	1069.15	1741.29	143.59	302.5	1.2106	0.300	0.467
72	CdO	CADMIUM OXIDE	128.410	-----	1832.15	2983.96	246.06	302.5	0.4245	0.300	0.626
73	CIF	CHLORINE MONOFLUORIDE	54.451	128.15	172.65	282.32	79.01	81.4	0.6690	0.274	0.276
74	CIFO3	PERCHLORYL FLUORIDE	102.449	125.41	226.49	368.40	53.70	161.0	0.6363	0.282	0.173
75	CIF3	CHLORINE TRIFLUORIDE	92.448	190.15	284.65	459.39	77.79	134.5	0.6872	0.274	0.316
76	CIF5	CHLORINE PENTAFLUORIDE	130.445	-----	260.05	415.90	52.60	230.4	0.5662	0.350	0.216
77	ClHO3S	CHLOROSULFONIC ACID	116.525	193.15	427.00	700.00	85.00	195.0	0.5976	0.285	0.301
78	ClHO4	PERCHLORIC ACID	100.458	171.95	385.00	631.00	38.60	168.0	0.5980	0.124	0.050

Table 1-2 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - INORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
79	ClO2	CHLORINE DIOXIDE	67.452	213.55	284.05	465.00	108.28	97.8	0.6895	0.274	0.356
80	Cl2	CHLORINE	70.905	172.12	239.12	417.15	77.11	123.8	0.5730	0.275	0.069
81	Cl2O	CHLORINE MONOXIDE	86.905	157.15	275.35	444.68	74.94	135.2	0.6430	0.274	0.303
82	Cl2O7	CHLORINE HEPTOXIDE	182.901	182.15	351.95	565.78	50.90	253.2	0.7223	0.274	0.200
83	Co	COBALT	58.933	1768.15	2528.00	7398.48	5148.70	35.8	1.6442	0.300	-0.180
84	CoCl2	COBALT CHLORIDE	129.839	1008.15	1323.15	2154.97	177.70	302.5	0.4292	0.300	0.530
85	CoNC3O4	COBALT NITROSYL TRICARBONYL	172.971	262.15	353.15	567.68	47.43	298.6	0.5793	0.300	0.178
86	Cr	CHROMIUM	51.996	2180.15	2840.00	8560.93	5784.10	36.9	1.4084	0.300	-0.200
87	CrC6O6	CHROMIUM CARBONYL	220.599	423.65	424.15	690.80	56.96	302.5	0.7275	0.300	0.193
88	CrO2Cl2	CHROMIUM OXYCHLORIDE	154.900	176.65	390.25	626.33	59.99	237.8	0.6513	0.274	0.256
89	Cs	CESIUM	132.905	301.65	963.15	2048.10	116.50	316.4	0.4201	0.216	-0.220
90	CsBr	CESIUM BROMIDE	212.809	909.15	1573.15	2562.13	211.27	302.5	0.7035	0.300	0.581
91	CsCl	CESIUM CHLORIDE	168.358	919.15	1573.15	2562.13	211.27	302.5	0.5566	0.300	0.581
92	CsF	CESIUM FLUORIDE	151.904	956.15	1524.15	2482.33	204.69	302.5	0.5022	0.300	0.572
93	CsI	CESIUM IODIDE	259.810	894.15	1553.15	2529.56	208.59	302.5	0.8589	0.300	0.577
94	Cu	COPPER	63.546	1357.77	3150.00	5123.00	6415.50	61.0	1.0417	0.300	1.601
95	CuBr	CUPROUS BROMIDE	143.450	777.15	1628.15	2651.71	218.66	302.5	0.4742	0.300	0.591
96	CuCl	CUPROUS CHLORIDE	98.999	703.00	1763.15	2435.00	236.79	256.5	0.3859	0.300	1.664
97	CuCl2	CUPRIC CHLORIDE	134.451	906.15	1266.15	2010.00	170.04	294.9	0.4560	0.300	0.623
98	CuI	COPPER IODIDE	190.450	878.15	1609.15	2620.77	216.11	302.5	0.6296	0.300	0.588
99	DCN	DEUTERIUM CYANIDE	28.034	261.15	299.35	482.63	113.56	96.8	0.2896	0.274	0.435
100	D2	DEUTERIUM	4.032	18.73	23.65	38.35	16.64	60.3	0.0669	0.314	-0.140
101	D2O	DEUTERIUM OXIDE	20.031	276.96	374.55	643.89	219.41	56.3	0.3558	0.231	0.368
102	Eu	EUROPIUM	151.965	1095.15	1742.00	5150.00	3547.90	36.2	4.1969	0.300	-0.220
103	F2	FLUORINE	37.997	53.53	84.95	144.31	52.15	66.2	0.5740	0.288	0.059
104	F2O	FLUORINE OXIDE	53.996	49.25	128.55	215.10	49.50	97.6	0.5532	0.270	0.075
105	Fe	IRON	55.847	1808.15	3000.00	9340.00	10150.00	28.0	1.9945	0.366	-0.300
106	FeC5O5	IRON PENTACARBONYL	195.899	252.15	378.15	607.20	35.24	392.5	0.4991	0.274	0.091
107	FeCl2	FERROUS CHLORIDE	126.752	945.15	1299.15	2115.88	174.48	302.5	0.4190	0.300	0.524
108	FeCl3	FERRIC CHLORIDE	162.205	577.15	592.15	964.41	79.53	302.5	0.5362	0.300	0.292
109	Fr	FRANCIUM	223.000	300.15	879.00	1606.46	1790.20	22.4	9.9626	0.300	0.682
110	Ga	GALLIUM	69.723	302.91	2517.00	7620.00	5126.30	75.3	0.9259	0.300	-0.220
111	GaCl3	GALLIUM TRICHLORIDE	176.081	350.90	474.15	694.00	38.20	263.0	0.6695	0.174	0.458
112	Gd	GADOLINIUM	157.250	1587.15	3537.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----
113	Ge	GERMANIUM	72.610	1211.40	3125.00	8400.00	6364.60	32.9	2.2055	0.300	-0.040
114	GeBr4	GERMANIUM BROMIDE	392.226	299.25	462.15	740.00	44.17	381.7	1.0277	0.274	0.169
115	GeCl4	GERMANIUM CHLORIDE	214.421	223.65	357.15	574.00	39.57	330.5	0.6489	0.274	0.123
116	GeHCl3	TRICHLORO GERMANE	179.976	202.05	348.15	559.78	46.21	276.0	0.6522	0.274	0.170
117	GeH4	GERMANE	76.644	107.26	185.00	308.00	55.50	140.0	0.5474	0.303	0.151
118	Ge2H6	DIGERMANE	151.268	164.15	304.65	491.01	46.67	239.7	0.6311	0.274	0.165
119	Ge3H8	TRIGERMANE	225.894	167.55	383.95	616.37	47.05	298.4	0.7569	0.274	0.180
120	HBr	HYDROGEN BROMIDE	80.912	186.34	206.45	363.15	85.52	100.3	0.8070	0.284	0.069
121	HCN	HYDROGEN CYANIDE	27.026	259.91	298.85	456.65	53.91	138.6	0.1950	0.197	0.410
122	HCl	HYDROGEN CHLORIDE	36.461	158.97	188.15	324.65	83.09	81.0	0.4500	0.249	0.132
123	HF	HYDROGEN FLUORIDE	20.006	189.79	292.67	461.15	64.85	69.0	0.2899	0.117	0.383
124	HI	HYDROGEN IODIDE	127.912	222.38	237.55	423.85	83.10	121.9	1.0490	0.288	0.038
125	HN03	NITRIC ACID	63.013	231.55	356.15	520.00	68.90	145.0	0.4346	0.231	0.714
126	H2	HYDROGEN	2.016	13.95	20.39	33.18	13.13	64.2	0.0314	0.305	-0.220
127	H2O	WATER	18.015	273.15	373.15	647.13	220.55	56.0	0.3220	0.229	0.345
128	H2O2	HYDROGEN PEROXIDE	34.015	272.72	423.35	730.15	216.84	77.7	0.4378	0.278	0.360
129	H2S	HYDROGEN SULFIDE	34.082	187.68	212.80	373.53	89.63	98.5	0.3460	0.284	0.083
130	H2SO4	SULFURIC ACID	98.079	283.46	610.00	925.00	64.00	177.0	0.5540	0.147	0.494
131	H2S2	HYDROGEN DISULFIDE	66.148	183.45	337.15	542.39	88.36	139.8	0.4731	0.274	0.366
132	H2Se	HYDROGEN SELENIDE	80.976	209.15	232.05	411.10	83.44	112.2	0.7215	0.274	0.064
133	H2Te	HYDROGEN TELLURIDE	129.616	224.15	271.15	438.04	71.93	138.7	0.9343	0.274	0.289
134	H3NO3S	SULFAMIC ACID	97.095	478.00	-----	-----	-----	225.0	0.4315	-----	-----
135	He	HELIUM-3	3.016	1.01	3.20	3.31	1.17	72.5	0.0416	0.308	-0.470
136	He	HELIUM-4	4.003	1.76	4.22	5.20	2.28	57.3	0.0699	0.302	-0.390
137	Hf	HAFNIUM	178.490	2506.15	5960.00	21688.00	12138.00	44.6	4.0049	0.300	-0.340
138	Hg	MERCURY	200.590	234.29	629.73	1735.00	1608.00	56.4	3.5597	0.628	-0.160
139	HgBr2	MERCURIC BROMIDE	360.398	510.15	592.15	964.41	79.53	302.5	1.1914	0.300	0.292
140	HgCl2	MERCURIC CHLORIDE	271.495	550.15	577.15	939.98	77.51	302.5	0.8975	0.300	0.284
141	HgI2	MERCURIC IODIDE	454.399	532.15	627.15	1078.10	100.00	268.9	1.6897	0.300	0.189
142	IF7	IODINE HEPTAFLUORIDE	259.893	278.65	277.15	447.53	41.26	247.1	1.0518	0.274	0.122
143	I2	IODINE	253.809	386.75	458.39	819.15	116.54	155.0	1.6375	0.265	0.117
144	In	INDIUM	114.818	429.75	2323.00	6730.00	2432.00	82.6	1.3900	0.359	-0.240
145	Ir	IRIDIUM	192.220	2719.15	4450.00	15035.00	72356.00	5.2	37.0850	0.300	-0.130
146	K	POTASSIUM	39.098	336.35	1037.00	2223.00	162.12	209.0	0.1871	0.183	-0.180
147	KBr	POTASSIUM BROMIDE	119.002	1003.15	1656.15	2697.31	222.42	302.5	0.3934	0.300	0.596
148	KCl	POTASSIUM CHLORIDE	74.551	1044.00	1688.87	3470.00	180.00	625.0	0.1193	0.390	-0.120
149	KF	POTASSIUM FLUORIDE	58.097	1153.15	1775.15	2891.12	238.40	302.5	0.1921	0.300	0.617
150	KI	POTASSIUM IODIDE	166.003	996.15	1597.15	2601.22	214.50	302.5	0.5488	0.300	0.585
151	KOH	POTASSIUM HYDROXIDE	56.106	679.00	1600.00	2605.86	214.88	302.5	0.1855	0.300	0.586
152	Kr	KRYPTON	83.800	115.78	119.80	209.35	55.02	91.2	0.9189	0.288	0.000
153	La	LANTHANUM	138.906	1193.15	3643.00	9511.00	5460.00	36.5	3.8056	0.252	-0.010
154	Li	LITHIUM	6.941	453.69	1597.00	4085.00	1722.50	47.0	0.1477	0.238	-0.040
155	LiBr	LITHIUM BROMIDE	86.845	820.15	1583.15	2578.42	212.62	302.5	0.2871	0.300	0.583
156	LiCl	LITHIUM CHLORIDE	42.394	887.15	1655.15	2695.68	222.29	302.5	0.1401	0.300	0.596

Table 1-2 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - INORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
157	LiF	LITHIUM FLUORIDE	25.939	1143.15	1954.15	3182.65	262.44	302.5	0.0858	0.300	0.645
158	LiI	LITHIUM IODIDE	133.845	719.15	1444.15	2352.04	193.95	302.5	0.4425	0.300	0.556
159	Lu	LUTECIUM	174.967	1936.15	2535.00	4128.66	5162.90	20.0	8.7715	0.300	1.527
160	Mg	MAGNESIUM	24.305	923.15	1376.00	2241.04	2802.40	20.0	1.2185	0.300	1.346
161	MgCl ₂	MAGNESIUM CHLORIDE	95.210	985.15	1691.15	2754.32	227.12	302.5	0.3147	0.300	0.602
162	MgO	MAGNESIUM OXIDE	40.304	3105.00	3873.20	5950.00	33.91	209.5	0.1924	0.014	0.214
163	Mn	MANGANESE	54.938	1519.15	2392.00	6902.82	4871.70	35.3	1.5544	0.300	-0.160
164	MnCl ₂	MANGANESE CHLORIDE	125.843	923.15	1463.15	2382.98	196.50	302.5	0.4160	0.300	0.560
165	Mo	MOLYBDENUM	95.940	2895.15	5081.15	9620.00	10349.00	38.3	2.5050	0.300	0.924
166	MoF ₆	MOLYBDENUM FLUORIDE	209.930	290.15	3091.15	498.12	50.30	225.6	0.9306	0.274	0.189
167	MoO ₃	MOLYBDENUM OXIDE	143.938	1068.15	1424.15	2319.46	191.26	302.5	0.4758	0.300	0.552
168	NCI ₃	NITROGEN TRICHLORIDE	120.365	246.15	344.15	564.00	62.10	206.9	0.5818	0.274	0.199
169	ND ₃	HEAVY AMMONIA	20.055	199.15	239.75	388.40	125.71	70.4	0.2850	0.274	0.447
170	NF ₃	NITROGEN TRIFLUORIDE	71.002	66.36	144.09	233.85	45.30	118.8	0.5979	0.277	0.126
171	NH ₃	AMMONIA	17.031	195.41	239.72	405.65	112.78	72.5	0.2350	0.242	0.252
172	NH ₃ O	HYDROXYLAMINE	33.030	306.25	383.00	574.00	175.18	74.6	0.4425	0.274	0.694
173	NH ₄ Br	AMMONIUM BROMIDE	97.943	-----	669.15	1089.82	17.94	1515.3	0.0646	0.300	-0.150
174	NH ₄ Cl	AMMONIUM CHLORIDE	53.491	793.20	612.00	882.00	16.40	1341.5	0.0399	0.300	3.920
175	NH ₄ I	AMMONIUM IODIDE	144.943	-----	678.05	1104.32	18.18	1515.3	0.0957	0.300	-0.150
176	NH ₅ O	AMMONIUM HYDROXIDE	35.046	194.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
177	NH ₅ S	AMMONIUM HYDROGENSULFIDE	51.112	391.15	306.45	499.10	8.22	1515.3	0.0337	0.300	-0.380
178	NO	NITRIC OXIDE	30.006	112.15	121.38	180.15	64.85	57.7	0.5200	0.250	0.585
179	NOCl	NITROSYL CHLORIDE	65.459	213.55	267.77	440.65	91.19	139.3	0.4699	0.347	0.307
180	NOF	NITROSYL FLUORIDE	49.005	139.15	217.15	352.67	112.78	71.2	0.6879	0.274	0.405
181	NO ₂	NITROGEN DIOXIDE	46.006	261.95	294.00	431.35	101.33	82.5	0.5577	0.233	0.849
182	N ₂	NITROGEN	28.013	63.15	77.35	126.10	33.94	90.1	0.3109	0.292	0.040
183	N ₂ F ₄	TETRAFLUOROAZIRAZINE	104.007	111.65	198.95	309.35	37.10	213.0	0.4883	0.307	0.223
184	N ₂ H ₄	HYDRAZINE	32.045	274.69	386.65	653.15	146.92	158.0	0.2028	0.427	0.314
185	N ₂ H ₄ C	AMMONIUM CYANIDE	44.056	309.15	304.85	491.32	109.47	102.2	0.4309	0.274	0.425
186	N ₂ H ₆ CO ₂	AMMONIUM CARBAMATE	78.071	-----	331.45	539.82	44.51	302.5	0.2581	0.300	0.120
187	N ₂ O	NITROUS OXIDE	44.013	182.33	184.67	309.57	72.45	97.4	0.4520	0.274	0.142
188	N ₂ O ₃	NITROGEN TRIOXIDE	76.012	170.00	275.15	425.00	69.90	195.0	0.3898	0.386	0.431
189	N ₂ O ₄	NITROGEN TETRAOXIDE	92.011	261.90	302.22	431.15	101.33	82.5	1.1154	0.233	1.007
190	N ₂ O ₅	NITROGEN PENTOXIDE	108.010	303.15	320.15	515.51	64.33	182.6	0.5917	0.274	0.266
191	Na	SODIUM	22.990	370.98	1156.00	2573.00	354.64	116.0	0.1982	0.192	-0.100
192	NaBr	SODIUM BROMIDE	102.894	1020.00	1663.82	4287.00	192.52	398.0	0.2585	0.215	-0.800
193	NaCN	SODIUM CYANIDE	49.008	836.85	1769.15	2900.00	237.60	304.5	0.1610	0.300	0.589
194	NaCl	SODIUM CHLORIDE	58.442	1073.95	1738.15	3400.00	355.00	266.0	0.2197	0.334	0.134
195	NaF	SODIUM FLUORIDE	41.988	1269.00	1982.72	5530.00	531.96	185.0	0.2270	0.214	-1.110
196	NaI	SODIUM IODIDE	149.894	924.15	1577.15	2568.65	322.13	198.9	0.7536	0.300	0.706
197	NaOH	SODIUM HYDROXIDE	39.997	596.00	1663.15	2820.00	253.31	200.0	0.2000	0.216	0.477
198	Na ₂ SO ₄	SODIUM SULFATE	142.043	1157.00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
199	Nb	NIOBIUM	92.906	2750.15	5115.00	17904.10	10418.00	42.9	2.1671	0.300	-0.310
200	Nd	NEODYMIUM	144.240	1289.15	3384.00	10665.10	6892.10	38.6	3.7368	0.300	-0.240
201	Ne	NEON	20.180	24.55	27.09	44.40	26.53	41.7	0.4839	0.300	-0.040
202	Ni	NICKEL	58.693	1728.15	2415.00	6986.15	4918.50	35.4	1.6566	0.300	-0.170
203	Ni ₄ CO ₄	NICKEL CARBONYL	170.735	248.15	315.65	508.40	32.39	357.5	0.4775	0.274	0.056
204	NiF ₂	NICKEL FLUORIDE	96.690	1723.15	2013.15	3278.75	270.37	302.5	0.3196	0.300	0.654
205	Np	NEPTUNIUM	237.000	913.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
206	O ₂	OXYGEN	31.999	54.36	90.17	154.58	50.43	73.4	0.4360	0.288	0.022
207	O ₃	OZONE	47.998	80.15	161.85	261.00	55.73	89.0	0.5393	0.229	0.227
208	Os	OSMIUM	190.230	3306.15	4880.00	16878.70	9938.90	42.4	4.4906	0.300	-0.300
209	OsOF ₅	OSMIUM OXIDE PENTAFLUORIDE	301.221	332.95	373.65	608.55	50.18	302.5	0.9558	0.300	0.155
210	OsO ₄	OSMIUM TETROXIDE - YELLOW	254.228	329.15	403.15	656.60	54.14	302.5	0.8404	0.300	0.178
211	OsO ₄	OSMIUM TETROXIDE - WHITE	254.228	315.15	403.15	656.60	54.14	302.5	0.8404	0.300	0.178
212	P	PHOSPHORUS - WHITE	30.974	317.25	553.45	993.75	83.29	297.6	0.1041	0.300	0.032
213	PBr ₃	PHOSPHORUS TRIBROMIDE	270.686	233.15	448.45	711.00	53.99	300.0	0.9023	0.274	0.264
214	PCl ₂ F ₃	PHOSPHORUS DICHLORIDE TRIFLUORIDE	158.874	265.15	283.15	457.02	40.48	257.2	0.6178	0.274	0.118
215	PCl ₃	PHOSPHORUS TRICHLORIDE	137.332	181.15	349.25	563.15	56.70	260.0	0.5282	0.315	0.234
216	PCl ₅	PHOSPHORUS PENTACHLORIDE	208.237	433.15	433.00	646.15	58.15	277.2	0.7513	0.300	0.531
217	PH ₃	PHOSPHINE	33.998	139.37	185.41	324.75	65.36	113.3	0.3000	0.274	0.036
218	PH ₄ Br	PHOSPHONIUM BROMIDE	114.910	-----	311.45	501.76	62.26	183.6	0.6260	0.274	0.254
219	PH ₄ Cl	PHOSPHONIUM CHLORIDE	70.458	244.65	246.15	322.30	49.14	149.4	0.4716	0.274	1.640
220	PH ₄ I	PHOSPHONIUM IODIDE	161.910	291.65	335.45	539.70	77.61	158.4	1.0221	0.274	0.326
221	POCl ₃	PHOSPHORUS OXYCHLORIDE	153.331	274.33	378.65	602.15	51.66	265.5	0.5774	0.274	0.240
222	PSBr ₃	PHOSPHORUS THIOBROMIDE	302.752	311.15	448.15	729.89	60.19	302.5	1.0008	0.300	0.209
223	PSCl ₃	PHOSPHORUS THIOCHLORIDE	169.398	236.95	398.15	638.82	48.57	299.6	0.5654	0.274	0.192
224	P ₄ O ₆	PHOSPHORUS TRIOXIDE	219.891	295.65	446.25	714.86	52.08	312.7	0.7032	0.274	0.218
225	P ₄ O ₁₀	PHOSPHORUS PENTOXIDE	283.889	693.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
226	P ₄ S ₁₀	PHOSPHORUS PENTASULFIDE	444.555	561.15	787.15	1291.00	232.00	138.8	3.2027	0.300	0.594
227	Pb	LEAD	207.200	600.61	2024.00	5400.00	861.30	93.2	2.2232	0.179	-0.250
228	PbBr ₂	LEAD BROMIDE	367.008	646.15	1187.15	1933.47	159.43	302.5	1.2133	0.300	0.498
229	PbCl ₂	LEAD CHLORIDE	278.105	774.15	1227.15	1998.62	164.81	302.5	0.9194	0.300	0.507
230	PbF ₂	LEAD FLUORIDE	245.197	1128.15	1566.15	2550.73	210.33	302.5	0.8106	0.300	0.580
231	PbI ₂	LEAD IODIDE	461.009	675.15	1145.15	1865.07	153.79	302.5	1.5240	0.300	0.487
232	PbO	LEAD OXIDE	223.199	1163.15	1745.15	2842.26	234.37	302.5	0.7379	0.300	0.612
233	PbS	LEAD SULFIDE	239.266	1387.15	1554.15	2531.19	208.72	302.5	0.7910	0.300	0.577
234	Pd	PALLADIUM	106.420	1828.05	3385.00	10669.10	6894.10	38.6	2.7568	0.300	-0.240

Table 1-2 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - INORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
235	Po	POLONIUM	209.000	527.15	1235.00	3013.08	2515.30	29.9	6.9944	0.300	0.011
236	Pt	PLATINUM	195.080	2041.55	3980.00	6983.00	8105.90	759.1	0.2570	0.300	1.217
237	Ra	RADIUM	226.000	973.15	1809.00	4862.82	3684.30	32.9	6.8645	0.300	-0.100
238	Rb	RUBIDIUM	85.468	312.46	978.00	2111.10	134.00	247.0	0.3460	0.189	-0.220
239	RbBr	RUBIDIUM BROMIDE	165.372	955.15	1625.15	2646.82	218.26	302.5	0.5467	0.300	0.591
240	RbCl	RUBIDIUM CHLORIDE	120.921	988.15	1654.15	2694.06	222.15	302.5	0.3997	0.300	0.596
241	RbF	RUBIDIUM FLUORIDE	104.466	1033.15	1681.15	2738.03	225.78	302.5	0.3453	0.300	0.601
242	RbI	RUBIDIUM IODIDE	212.372	915.15	1577.15	2568.65	211.81	302.5	0.7021	0.300	0.582
243	Re	RHENIUM	186.207	3459.15	5915.00	21482.80	12047.00	32.1	5.8008	0.300	-0.340
244	Re2O7	RHENIUM HEPTOXIDE	484.410	569.15	635.55	1035.10	85.35	302.5	1.6014	0.300	0.313
245	Rh	RHODIUM	102.906	2237.15	3940.00	12906.60	8024.40	40.1	2.5649	0.300	-0.270
246	Rn	RADON	222.000	202.15	211.35	377.40	63.00	140.0	1.5857	0.281	-0.020
247	Ru	RUTHENIUM	101.070	2607.15	4500.00	15247.10	9165.00	41.5	2.4355	0.300	-0.290
248	RuF5	RUTHENIUM PENTAFLUORIDE	196.062	359.65	600.15	977.44	80.60	302.5	0.6481	0.300	0.296
249	S	SULFUR	32.066	388.36	717.82	1313.00	182.08	158.0	0.2029	0.264	0.262
250	SF4	SULFUR TETRAFLUORIDE	108.060	149.15	233.15	364.00	52.22	158.8	0.6806	0.274	0.307
251	SF6	SULFUR HEXAFLUORIDE	146.056	222.45	209.25	318.69	37.60	198.5	0.7357	0.282	0.215
252	SOBr2	THIONYL BROMIDE	207.873	220.95	412.65	661.75	64.89	232.3	0.8948	0.274	0.283
253	SOCl2	THIONYL CHLORIDE	118.971	172.00	348.75	567.00	63.63	203.0	0.5861	0.274	0.231
254	SOF2	SULFUROUS OXYFLUORIDE	86.062	162.65	228.90	371.25	59.28	142.7	0.6033	0.274	0.218
255	SO2	SULFUR DIOXIDE	64.065	200.00	263.13	430.75	78.84	122.0	0.5251	0.269	0.245
256	SO2Cl2	SULFURYL CHLORIDE	134.970	222.00	342.55	545.00	46.10	224.0	0.6025	0.228	0.176
257	SO3	SULFUR TRIOXIDE	80.064	289.95	317.90	490.85	82.07	127.1	0.6300	0.256	0.422
258	S2Cl2	SULFUR MONOCHLORIDE	135.037	193.15	411.15	659.37	62.75	239.4	0.5641	0.274	0.272
259	Sb	ANTIMONY	121.757	903.78	1898.00	5070.00	3865.60	32.7	3.7216	0.300	-0.080
260	SbBr3	ANTIMONY TRIBROMIDE	361.469	369.75	548.15	892.75	73.62	302.5	1.1949	0.300	0.269
261	SbCl3	ANTIMONY TRICHLORIDE	228.115	346.55	493.40	794.00	48.20	270.0	0.8449	0.197	0.171
262	SbCl5	ANTIMONY PENTACHLORIDE	299.021	275.95	413.15	662.54	39.42	382.9	0.7810	0.274	0.129
263	SbH3	STIBINE	124.781	185.15	255.15	440.35	73.06	157.2	0.7938	0.314	0.097
264	SbI3	ANTIMONY TRIIODIDE	502.470	440.15	674.15	1097.96	90.54	302.5	1.6611	0.300	0.330
265	Sb2O3	ANTIMONY TRIOXIDE	291.512	929.15	1698.15	2765.72	228.06	302.5	0.9637	0.300	0.604
266	Sc	SCANDIUM	44.956	1814.15	2700.00	8035.08	5499.00	36.5	1.2334	0.300	-0.190
267	Se	SELENIUM	78.960	494.15	930.00	1766.00	380.00	62.3	1.2674	0.161	0.227
268	SeCl4	SELENIUM TETRACHLORIDE	220.771	-----	464.65	743.95	61.05	277.6	0.7953	0.274	0.269
269	SeF6	SELENIUM HEXAFLUORIDE	192.950	238.45	227.35	368.80	44.75	187.7	1.0278	0.274	0.133
270	SeOCl2	SELENIUM OXYCHLORIDE	165.865	281.65	441.15	706.80	77.47	207.8	0.7981	0.274	0.340
271	SeO2	SELENIUM DIOXIDE	110.959	613.15	590.15	961.16	79.26	302.5	0.3668	0.300	0.291
272	Si	SILICON	28.086	1685.00	3513.80	5159.00	537.00	233.0	0.1205	0.292	1.494
273	SiBrCl2F	BROMODICHLOROFLUOROSILANE	197.983	160.85	308.55	497.17	38.27	295.9	0.6687	0.274	0.106
274	SiBrF3	TRIFLUOROBROMOSILANE	164.985	202.65	231.45	375.28	37.54	227.7	0.7245	0.274	0.082
275	SiBr2ClF	DIBROMOCHLOROFLUOROSILANE	242.345	173.85	332.65	535.27	39.32	310.1	0.7814	0.274	0.118
276	SiClF3	TRIFLUOROCHLOROSILANE	120.533	131.15	203.15	330.54	35.25	213.6	0.5643	0.274	0.053
277	SiCl2F2	DICHLORODIFLUOROSILANE	136.988	133.45	241.35	390.93	35.95	247.7	0.5531	0.274	0.072
278	SiCl3F	TRICHLOROFLUOROSILANE	153.442	152.35	285.35	460.49	37.24	281.7	0.5447	0.274	0.093
279	SiCl4	SILICON TETRACHLORIDE	169.896	204.30	330.00	507.00	35.93	326.0	0.5212	0.278	0.232
280	SiF4	SILICON TETRAFLUORIDE	104.079	186.35	178.35	259.00	37.19	165.0	0.6308	0.285	0.385
281	SiHBr3	TRIBROMOSILANE	268.805	199.65	384.95	610.00	47.02	350.0	0.7680	0.324	0.222
282	SiHCl3	TRICHLOROSILANE	135.452	144.95	305.00	479.00	41.70	268.0	0.5054	0.281	0.203
283	SiHF3	TRIFLUOROSILANE	86.089	141.75	178.15	291.02	39.95	165.9	0.5188	0.274	0.079
284	SiH2Br2	DIBROMOSILANE	189.909	202.95	343.65	550.00	53.00	246.0	0.7720	0.285	0.227
285	SiH2Cl2	DICHLOROSILANE	101.007	151.15	281.45	449.00	44.30	228.0	0.4430	0.271	0.177
286	SiH2F2	DIFLUOROSILANE	68.098	-----	195.35	318.21	47.59	152.3	0.4471	0.274	0.139
287	SiH2I2	DIIODOSILANE	283.910	272.15	422.65	660.00	66.88	232.0	1.2238	0.283	0.389
288	SiH3Br	MONOBROMOSILANE	111.013	179.25	275.55	454.00	56.44	177.0	0.6272	0.265	0.155
289	SiH3Cl	MONOCHLOROSILANE	66.562	155.05	242.75	396.65	48.43	174.0	0.3825	0.256	0.136
290	SiH3F	MONOFLUOROSILANE	50.108	-----	175.15	286.28	46.88	139.1	0.3602	0.274	0.125
291	SiH3I	IODOSILANE	158.014	216.15	318.55	515.00	69.41	160.0	0.9876	0.259	0.276
292	SiH4	SILANE	32.117	88.15	161.00	269.70	48.43	132.7	0.2420	0.287	0.097
293	SiO2	SILICON DIOXIDE	60.084	1883.00	2503.20	4076.87	338.18	302.5	0.1986	0.300	0.719
294	Si2Cl6	HEXACHLORODISILANE	268.887	271.95	412.15	660.96	29.11	517.3	0.5198	0.274	0.035
295	Si2F6	HEXAFLUORODISILANE	170.161	254.55	254.25	411.33	30.16	310.6	0.5478	0.274	0.022
296	Si2H5Cl	DISILANYL CHLORIDE	96.663	-----	314.70	506.89	41.58	277.7	0.3480	0.274	0.132
297	Si2H6	DISILANE	62.219	140.65	259.00	432.00	51.30	198.0	0.3142	0.283	0.102
298	Si2OC13F3	TRICHLOROTRIFLUORODISILOXANE	235.524	-----	315.89	508.78	26.77	433.0	0.5439	0.274	0.000
299	Si2OC16	HEXACHLORODISILOXANE	284.887	239.95	408.75	655.58	27.90	535.2	0.5323	0.274	0.022
300	Si2OH6	DISILOXANE	78.218	128.95	257.75	416.86	36.19	262.4	0.2981	0.274	0.078
301	Si3Cl8	OCTACHLOROTRISILANE	367.878	-----	484.55	775.41	24.70	715.0	0.5145	0.274	-0.010
302	Si3H8	TRISILANE	92.320	155.95	326.25	525.15	33.70	354.9	0.2601	0.274	0.070
303	Si3H9N	TRISILAZANE	107.335	167.45	321.85	518.20	31.65	372.9	0.2878	0.274	0.050
304	Si4H10	TETRASILANE	122.421	179.55	373.15	599.30	29.68	460.0	0.2661	0.274	0.037
305	Sm	SAMARIUM	150.360	1345.15	1874.00	5082.92	3816.70	33.2	4.5262	0.300	-0.100
306	Sn	TIN	118.710	505.08	2995.00	7400.00	6099.80	115.1	1.0314	0.300	0.101
307	SnBr4	STANNIC BROMIDE	438.326	304.15	477.85	764.82	43.43	401.1	1.0928	0.274	0.165
308	SnCl2	STANNOUS CHLORIDE	189.615	519.95	896.15	1459.53	120.35	302.5	0.6268	0.300	0.414
309	SnCl4	STANNIC CHLORIDE	260.521	242.95	386.15	619.85	41.24	342.4	0.7609	0.274	0.140
310	SnH4	STANNIC HYDRIDE	122.742	123.25	220.85	358.52	53.42	152.9	0.8028	0.274	0.184
311	SnI4	STANNIC IODIDE	626.328	417.65	621.15	1011.64	83.42	302.5	2.0705	0.300	0.306
312	Sr	STRONTIUM	87.620	1050.15	1630.00	4267.20	3319.80	32.1	2.7327	0.300	-0.070

Table 1-2 CRITICAL PROPERTIES AND ACENTRIC FACTOR - INORGANIC COMPOUNDS (continued)

NO	FORMULA	NAME	MW g/mol	T _F K	T _B K	T _C K	P _C bar	V _C cm ³ /mol	RHO _C g/cm ³	Z _C	OMEGA
313	SrO	STRONTIUM OXIDE	103.619	2703.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
314	Ta	TANTALUM	180.948	3290.15	5565.00	19900.90	11334.00	43.8	4.1314	0.300	-0.330
315	Tc	TECNETIUM	98.000	2430.15	5000.00	17400.80	10183.00	42.6	2.2992	0.300	-0.310
316	Te	TELLURIUM	127.600	722.66	1285.00	4840.00	2617.10	46.1	2.7660	0.300	-0.470
317	TeCl ₄	TELLURIUM TETRACHLORIDE	269.411	497.15	665.15	1083.31	89.33	302.5	0.8906	0.300	0.326
318	TeF ₆	TELLURIUM HEXAFLUORIDE	241.590	235.35	234.55	380.18	34.47	251.2	0.9616	0.274	0.057
319	Ti	TITANIUM	47.880	1941.15	3442.00	6400.00	7010.20	22.8	2.1025	0.300	0.915
320	TiCl ₄	TITANIUM TETRACHLORIDE	189.691	249.05	409.00	638.00	46.61	340.0	0.5579	0.299	0.284
321	Tl	THALLIUM	204.383	577.15	1745.00	4648.06	3554.00	32.6	6.2650	0.300	-0.090
322	TlBr	THALLOUS BROMIDE	284.287	733.15	1092.15	1778.75	146.68	302.5	0.9398	0.300	0.473
323	TlI	THALLOUS IODIDE	331.288	713.15	1096.15	1785.26	147.21	302.5	1.0952	0.300	0.474
324	Tm	THULIUM	168.934	1818.15	2219.15	6283.16	4519.70	34.7	4.8716	0.300	-0.150
325	U	URANIUM	238.029	1488.15	4135.00	13712.60	8421.60	40.6	5.8605	0.300	-0.270
326	UF ₆	URANIUM FLUORIDE	352.019	342.35	328.85	505.80	46.60	250.0	1.4081	0.277	0.318
327	V	VANADIUM	50.942	2183.15	3665.00	11787.10	7464.40	39.4	1.2933	0.300	-0.250
328	VCl ₄	VANADIUM TETRACHLORIDE	192.752	247.45	425.00	697.00	60.30	268.0	0.7192	0.279	0.186
329	VOCl ₃	VANADIUM OXYTRICHLORIDE	173.299	193.65	400.00	636.00	49.96	290.0	0.5976	0.274	0.230
330	W	TUNGSTEN	183.840	3695.15	5645.00	14756.00	11497.00	33.9	5.4230	0.300	0.077
331	WF ₆	TUNGSTEN FLUORIDE	297.830	272.65	290.45	468.56	46.75	228.3	1.3044	0.274	0.163
332	Xe	XENON	131.290	161.36	165.03	289.74	58.40	118.0	1.1126	0.286	0.000
333	Yb	YTTERBIUM	173.040	1097.15	1660.00	4365.92	3380.90	32.2	5.3719	0.300	-0.070
334	Yt	YTRITIUM	88.906	1799.15	3055.00	9381.32	6222.00	37.6	2.3639	0.300	-0.220
335	Zn	ZINC	65.390	692.70	1181.15	3170.00	2904.00	33.0	1.9815	0.364	0.078
336	ZnCl ₂	ZINC CHLORIDE	136.295	638.15	1005.15	1637.05	134.99	302.5	0.4506	0.300	0.448
337	ZnF ₂	ZINC FLUORIDE	103.387	1145.15	1770.15	2882.98	237.73	302.5	0.3418	0.300	0.616
338	ZnO	ZINC OXIDE	81.389	2248.20	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
339	ZnSO ₄	ZINC SULFATE	161.454	953.00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
340	Zr	ZIRCONIUM	91.224	2128.15	4598.00	8802.00	9364.60	23.5	3.8909	0.300	0.859
341	ZrBr ₄	ZIRCONIUM BROMIDE	410.840	723.15	630.15	1026.30	84.63	302.5	1.3582	0.300	0.310
342	ZrCl ₄	ZIRCONIUM CHLORIDE	233.035	710.15	604.15	983.96	81.14	302.5	0.7704	0.300	0.298
343	ZrI ₄	ZIRCONIUM IODIDE	598.842	772.15	704.15	1146.82	94.57	302.5	1.9796	0.300	0.343

MW - molecular weight, g/mol

T_F - freezing point temperature, KT_B - boiling point temperature, KT_C - critical temperature, KP_C - critical pressure, barV_C - critical volume, cm³/molRHO_C - critical density, g/cm³Z_C - critical compressibility factor

OMEGA - acentric factor