

UNIVERSITAS "45"
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENURUNAN MUKA AIR TANAH TERHADAP
DAYA DUKUNG TANAH DAN STABILITAS PONDASI



O L E H
BLASIUS BLAGIN
STB. / NIRM
4587040092 / 8811302673

UJUNG PANDANG

1997



UNIVERSITAS " 45 "

Jln. Urip Sumoharjo Km.4
Telp. 452901 - Telex 71303 Marannu UP
UJUNG PANDANG

LEMBAR PENGESAHAN

Berdasarkan surat keputusan Rektor Universitas "45" UP Nomor SK.128/01/U-45/111/1997 tanggal 17 Februari 1997 perihal PANITIA DAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR, maka :

Pada Hari/Tanggal : Sabtu, 8 Maret 1997
Tugas Akhir Atas Nama : Blasius Blagin
Nomor Stambuk : 4587040092
N i r m : 8811302673
Judul Skripsi : **PENGARUH PENURUNAN MUKA AIR TANAH TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH DAN STABILITAS PONDASI**

telah diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Sarjana Negara Fakultas Teknik Universitas "45" Ujung Pandang setelah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Sarjana Negara untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Jenjang Strata Satu (S-1) pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas "45" Ujung Pandang.

PENGAWAS UMUM

- DR. ANDI JAYA SOSE, SE, MBA
(Rektor Universitas "45" UP)
- Prof DR.Ir. ARIFUDDIN RESANG
(Dekan Fakultas Teknik UNHAS)

(*[Signature]*)
(*[Signature]*)

TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

etua : Ir. H. Maruddin Lainig, MSi

(*[Signature]*)

ekretaris : Ir. Burhanuddin Badrun

(*[Signature]*)

nggota :

(*[Signature]*)

nggota

nggota



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Kuasa atas anugerah dan lindungan-Nya, sehingga penulisan tugas akhir dengan judul : " PENGARUH PENURUNAN MUKA AIR TANAH TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH DAN STABILITAS PONDASI " dapat penulis selesaikan.

Tugas akhir ini penulis susun berdasarkan hasil studi literatur, serta pengalaman dan pengetahuan penulis yang penulis dapatkan baik melalui perkuliahan maupun arahan dan bimbingan dari dosen-dosen pembimbing.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penulis menyelesaikan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, baik dari pihak akademik maupun pihak non akademik. Untuk itu tak lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

- Bapak Ir. H. M. Rapi Mantahing, Bapak Ir. Abd. Majid. Akkas, serta bapak Ir. Kamaruddin, masing-masing sebagai pembimbing I, pembimbing II, dan pembimbing II, yang telah mengarahkan dan membimbing penulis dari awal hingga rampungnya penulisan tugas akhir ini.
- Bapak-bapak Dekan dan Pembantu Dekan Fakultas Teknik Universitas "45".

- Bapak-bapak Ketua dan Sekretaris Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas "45".
- Teman-teman mahasiswa dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
- Secara khusus, ucapan terima kasih ini penulis tujukan kepada Kedua Orang Tua tercinta dan Kakak-kakak penulis serta sanak keluarga yang telah membantu dan memberikan dorongan; baik berupa materi maupun moril sehingga penulis dapat merampungkan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan kurangnya literatur serta keterbatasan pengetahuan penulis untuk membuat suatu tulisan yang sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran-saran dan perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini.

Besar harapan penulis, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca, terutama teman-teman serta adik adik mahasiswa dalam mengembangkan ilmu dan pengetahuan teknik sipil di masa yang akan datang.

Ujung Pandang, 1 Juni 1996

P e n u l i s

(Elasius Blagin)

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAB I. PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Maksud dan Tujuan Penulisan	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-3
1.4 Metode Penulisan	I-4
1.5 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Air Tanah	II-1
2.1.1 Pengertian	II-2
2.1.2 Gambaran Umum Penurunan Muka Air Tanah	II-3
2.1.3 Faktor-faktor Penyebab Menurunnya Muka Air Tanah	II-6
2.1.4 Akibat-akibat Menurunnya Muka Air Tanah	II-7
2.1.5 Tekanan Kapiler	II-8
2.1.6 Pengaruh Tekanan Kapiler	II-10

2.2 Permeabilitas	II-13
2.2.1 Garis Aliran	II-14
2.2.2 Aliran Air Dalam Tanah	II-16
2.3 Rembesan	II-19
2.3.1 Tekanan Rembesan	II-20
2.3.2 Pengaruh Tekanan Air Terhadap Sta- bilitas Pondasi	II-22
2.3.3 Gaya Tekanan Air Pada Struktur ...	II-23
2.4 Tegangan Efektif	II-24
2.4.1 Pengertian	II-24
2.4.2 Tegangan Efektif Pada Tanah tak Jenuh	II-31
2.4.3 Pengaruh Rembesan Pada Tegangan Efektif	II-33
2.5 Daya Dukung Tanah	II-36
2.5.1 Pengertian Daya Dukung	II-37
2.5.2 Daya Dukung Batas Tanah	II-39
2.5.3 Persamaan Daya Dukung Batas Tanah Menurut Terzaghi	II-47
2.5.4 Pengaruh Muka Air Tanah Pada Daya Dukung Tanah	II-53

2.5.5 Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap

Kestabilan Pondasi II-58

BAB III. CONTOH PERHITUNGAN PENGARUH PENURUNAN MUKA AIR

TANAH TERHADAP DAYA DUKUNG TANAH DAN STABILITAS

PONDASI III-1

3.1. Soal III-1

3.2. Penyelesaian III-5

3.2.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah Akibat

Penurunan Muka Air Tanah III-5

3.2.2 Perhitungan Stabilitas Pondasi Akibat

Penurunan Muka Air Tanah III-8

3.2.3 Perhitungan Faktor Keamanan Akibat

Penurunan Muka Air Tanah III-10

3.2.4 Perhitungan Stabilitas Tembok Penahan

Akibat Menurunnya Muka Air Tanah ... III-13

BAB IV.. KESIMPULAN DAN SARAN - SARAN IV-1

4.1. Kesimpulan IV-1

4.2. Saran-saran IV-2

DAFTAR PUSTAKA xxx

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah sebagai tempat atau pondasi pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri biasanya terdiri dari dua atau tiga bagian. Bagian - bagian tersebut masing-masing adalah butiran, air pori, dan pori-pori udara. Dengan demikian maka kemampuan suatu massa tanah dalam memikul beban juga dipengaruhi oleh ketiga bagian tersebut, atau merupakan kerja sama dari masing-masing bagian yang membentuk massa tanah tersebut.

Air dalam tanah atau air tanah merupakan salah satu bagian atau faktor yang mempengaruhi suatu massa tanah dalam memikul beban pondasi. Oleh karena itu maka tinggi rendahnya muka air tanah terhadap muka tanah atau dasar pondasi, juga sangat penting untuk diketahui dan diperhitungkan dalam menentukan daya dukung tanah dan stabilitas pondasi.

Dewasa ini, terutama di kota-kota besar, air tanah sering dimanfaatkan secara bebas untuk keperluan rumah tangga dan industri. Hal ini dapat dimengerti karena kota merupakan pusat pemukiman penduduk dan kegiatan industri.

Dengan pemanfaatan air tanah secara bebas untuk keperluan rumah tangga dan industri, maka volume atau kandungan air dalam tanah akan berkurang. Berkurangnya air tanah dalam tanah, baik secara periodik maupun secara permanen dapat berpengaruh terhadap daya dukung tanah dan stabilitas pondasi yang dibangun di atas tanah tersebut.

Penurunan muka air tanah juga merupakan kendala umum yang sering dihadapi dalam pekerjaan-pekerjaan bagian konstruksi yang berada di bawah permukaan air tanah. Disamping itu pula penurunan muka air tanah merupakan salah satu faktor penyebab menurunnya pondasi bangunan, terutama pondasi-pondasi yang dibangun di atas tanah berbutir halus. 9) halaman 86.

Hal-hal inilah yang menjadi latar belakang penulisan ini.

1.2 Maksud Dan Tujuan Penulisan

Maksud dan tujuan penulisan ini adalah sebagai berikut :

- Untuk mengetahui pengaruh penurunan muka air tanah terhadap daya dukung tanah.
- Untuk mengetahui pengaruh penurunan muka air tanah terhadap stabilitas pondasi.

- Untuk mengetahui daya dukung tanah yang dipengaruhi muka air tanah dan tanpa dipengaruhi muka air tanah.
- mengetahui tekanan hidrostatik dalam tanah.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembahasan ini yang menjadi masalah adalah pengaruh penurunan muka air tanah terhadap daya dukung tanah dan stabilitas pondasi. Pembahasan mengenai pengaruh penurunan muka air tanah terhadap daya dukung tanah dan stabilitas pondasi cukup luas dan rumit. Hal ini disebabkan karena sifat dari tiap-tiap jenis tanah terhadap pengaruh air berbeda antara yang satu dengan yang lainnya. Demikian pula dengan stabilitas pondasi.

Agar lebih terarahnya pembahasan dalam tulisan ini, maka penulisan ini dibatasi pada pembahasan mengenai pengaruh penurunan muka air tanah terhadap daya dukung tanah terutama daya dukung tanah yang berada dibawah pondasi dangkal. Dan pembahasan pengaruh penurunan muka air tanah terhadap stabilitas pondasi dibatasi pada pembahasan mengenai pengaruhnya pada stabilitas terhadap penurunan pondasi dangkal (pondasi tumpuan setempat).

1.4 Metode Penulisan

Penyusunan tulisan ini didasari pada studi literatur yang mana dalam hal ini penulis mencoba menyimpulkan pandangan dan uraian dari beberapa ahli mengenai air tanah, daya dukung tanah, dan stabilitas pondasi yang terdapat dalam buku-buku literatur, serta pada dasar dari uraian penulis yang diperoleh dari berbagai kuliah, maupun lewat pengalaman hidup sehari-hari.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran umum mengenai pembahasan isi dalam penulisan ini, maka di bawah ini penulis menguraikan secara singkat, isi setiap bab yang dijabarkan dalam tulisan ini yang tersusun dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I. Pendahuluan .

Yang memberikan uraian tentang latar belakang masalah, maksud dan tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, serta sistematika penulisan.

Bab II. Tinjauan Pustaka

Yang memberikan gambaran mengenai pengertian air tanah, faktor-faktor penyebab serta akibat menurunnya muka air tanah, disamping itu pula membahas

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Tanah

Studi air bawah tanah baik sifat fisik, kimiawi, dan reaksinya terhadap setiap perubahannya sering diperlukan pada bidang-bidang teknik sipil misalnya :

- Masalah penurunan muka air tanah (dewatering) yang diperlukan untuk penggalian ruang bawah tanah (basement) yang cukup dalam atau pembuatan pondasi pada suatu lokasi dengan permukaan air tanah yang tinggi, sehingga diharapkan muka air tanah tidak menghambat jalannya pekerjaan.
- Pengontrolan muka air tanah akibat pemanfaatan air tanah untuk berbagai kepentingan (air minum, pertanian, industri dan lain sebagainya). Perhatikan reaksi pemompaan terhadap muka air tanah di sekitarnya, serta memperhatikan kelestarian airnya.
- Studi kualitas simpanan dan pergerakan air tanah juga diperlukan untuk menentukan kualitas unsur dari siklus hidrologi lainnya.

2.1.1 Pengertian

Air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat di bawah permukaan bumi pada lapisan jenuh.

Salah satu sumber utama air tanah adalah air hujan yang meresap ke dalam tanah. Air biasanya berpengaruh terhadap sifat-sifat teknis tanah, khususnya tanah berbutir halus. Demikian pula air merupakan faktor yang sangat penting dalam masalah-masalah teknis yang berhubungan dengan tanah, seperti penurunan, stabilitas pondasi, stabilitas lereng dan lain-lain.

Terdapat tiga Zone penting dalam lapisan tanah yang dekat dengan permukaan bumi, yaitu zone freatis, zona kapiler, dan zone aerasi. Pada zone freatis atau zone jenuh, air mengisi seluruh rongga-rongga tanah. Batas atas dari zone ini disebut permukaan air tanah atau permukaan freatis. Air yang berada dalam zone ini disebut air tanah atau air freatis. Pada permukaan freatis tekanan hidrostatik adalah nol. Zone kapiler terletak di atas zone freatis atau zone jenuh. Air yang berada pada zone kapiler disebut air kapiler. Ketebalan zone kapiler tergantung kepada macam tanahnya.

Batas atas dari zone kapiler disebut permukaan kapiler. Zone aerasi terletak di atas zone kapiler. Zone aerasi disebut juga zone tak jenuh, dimana ruang atau pori-pori tanah tidak terisi seluruhnya oleh air. Air yang mengisi zone ini terdiri dari air funikuler, yang masih menyatu dengan air kapiler dan air penduler, yakni air bebas yang bukan air kapiler. Zone aerasi biasanya dipengaruhi oleh penguapan dan akar-akar tumbuhan.

2.1.2 Gambaran umum Penurunan Muka Air Tanah

Penurunan muka air tanah adalah perbedaan antara permukaan air statik dengan permukaan air dinamik.

Penurunan muka air tanah secara terus menerus dengan kurang mengalami pengisian kembali dari keadaan normal tidak saja merupakan kendala bagi pekerjaan sipil yang berhubungan dengan air tanah tetapi juga berpengaruh terhadap lingkungan.

Penurunan muka air tanah ini secara sederhana dapat dilihat pada sumur yang digali untuk kebutuhan rumah tangga. Di beberapa daerah terutama di kota besar sering didapati sumur-sumur yang menjadi kering bahkan pada musim hujan. Keadaan ini merupakan tanda bahwa

muka air tanah pada daerah tersebut telah mengalami penurunan dari muka air tanah normal. Dan hal ini pula berarti bahwa proses pengisian kembali air tanah oleh air hujan tidak dapat lagi diharapkan sepenuhnya.

Di kota-kota besar penurunan muka air tanah yang terjadi sulit diharapkan pengisian kembali secara alamiah, karena proses pengisian kembali tidak berjalan secara normal. Hal ini disebabkan karena air hujan yang diharapkan untuk pengisian kembali sebagian besar tidak jatuh di atas tanah tetapi di atas atap-atap gedung dan jalan-jalan aspal.

Sulitnya pengisian kembali air tanah yang hilang atau menaikkan kembali muka air tanah, maka daerah-daerah yang mengalami penurunan muka air tanah tersebut akan terjadi piping. Hal ini disebabkan karena pori-pori tanah yang sebelumnya terisi air atau jenuh menjadi tidak jenuh bahkan kering. Jika tanah ini sebelumnya didirikan pondasi di atasnya maka keadaan ini akan menyebabkan pondasi mengalami penurunan.

Pada lapisan pasir yang tidak mengandung lapisan lempung, penurunan muka air tanah dapat meningkatkan tegangan tegangan efektif. Pondasi yang berada di atasnya akan meng

alami sedikit penurunan akibat menurunnya muka air tanah ini, kecuali pasirnya sangat lepas. Meskipun demikian, jika perubahan muka air tanah tersebut berlangsung secara periodik, maka penurunan muka air tanah tersebut akan menjadi penting karena setiap penambahan tekanan efektif sementara selalu menaikkan besar penurunan pada pondasi dengan suatu besaran tertentu.

Jika tanah mengandung lapisan lunak lanau atau gambut, maka penurunan muka air tanah dapat menyebabkan penurunan yang besar pada pondasi. Di Mexico City misalnya dimana tanah terdiri dari tanah lempung yang sangat mampat dengan lapisan-lapisan horisontal yang mengandung air, pengambilan air dengan cara drainase dan pemompaan dari lapisan pasir maka terjadi penurunan tanah yang secara umum tak teratur dari seluruh daerah. 10) halaman 86.

Pada pembuatan galian terbuka yang besar di bawah muka air tanah selalu memerlukan pemompaan untuk menurunkan muka air tanah, kecuali kalau proses penggaliannya dilakukan dengan metode pengerukan atau pembebanan kaison dengan metode tekanan. Dengan menurunnya muka air tanah, maka beban efektif tanah bawah akan bertambah sebesar berat terdrainase (berat tanah dan air digabungkan) dan berat

dari seluruh massa tanah terendam yang terletak diantara muka air tanah awal dan setelah diturunkan. Bertambahnya tekanan efektif akibat berat tanah di atasnya menyebabkan pemampatan tambahan. Hal ini selanjutnya menyebabkan penurunan pada permukaan tanah.

2.1.3 Faktor - faktor Penyebab Menurunnya Muka Air Tanah

Terjadinya penurunan muka air tanah baik secara alami maupun secara disengaja, antara lain disebabkan oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- Faktor Alam

Menurunnya muka air tanah karena disebabkan oleh gejala-gejala alam. Gejala-gejala alam ini misalnya; gempa bumi, penguapan, serta pengaruh temperatur.

- Faktor Manusia

Menurunnya muka air tanah karena disebabkan oleh perbuatan manusia, baik disengaja maupun tidak.

Faktor manusia ini misalnya ; pengambilan air tanah dengan pemompaan, baik untuk kebutuhan rumah tangga industri, pertambangan, maupun pengambilan air tanah dari muka air tanah bebas.

- Faktor Vegetasi.

2.1.4 Akibat-akibat Menurunnya Muka Air Tanah

Menurunnya muka air tanah yang terjadi baik secara alami maupun disengaja oleh perbuatan manusia dapat memberikan dampak kepada manusia ataupun terhadap lingkungan. Menurunnya muka air tanah yang disebabkan oleh faktor-faktor tersebut di atas dapat pula mempengaruhi sifat-sifat teknis daripada tanah sebagai berikut :

- Mengurangi tekanan aktif pada galian (dewatering)

$$P_a = \frac{1}{2} (\gamma'_{\text{sat}} - \gamma_w) h^2 \tan^2 \left(\phi - 45^\circ/2 \right)$$

- Meningkatkan tegangan efektif dari tanah :

$$\sigma' = \bar{\sigma}_v - U$$

- Meningkatkan tegangan geser tanah

$$\tau = c + (\bar{\sigma}_v - U) \tan \phi$$

dimana :

- P_a = tekanan tanah aktif.
- γ'_{sat} = berat volume tanah terendam air
- γ_w = berat volume air
- h = tinggi galian.
- ϕ = sudut gesek dalam.
- σ' = tegangan efektif tanah
- $\bar{\sigma}_v$ = tegangan vertikal total tanah
- U = tegangan air pori
- c = kohesi tanah

2.1.5 Tekanan Kapiler

Didalam tanah yang tidak jenuh, air tidak mengisi seluruh ruang pori yang ada dalam tanah. Jadi dalam hal ini terdapat sistem tiga fase yaitu butiran padat, air pori, dan udara pori. Ruang pori dalam tanah berhubungan satu dengan yang lainnya dan dapat berperilaku sebagai tabung kapiler yang mempunyai luas penampang yang bervariasi.

Melalui ruang pori, air pada zone jenuh air bergerak naik, dan mengisi ruang pori yang ada.

Tekanan kapiler dapat timbul karena adanya tarikan lapisan tipis permukaan air sebelah atas. Pada prinsipnya tarikan permukaan adalah perbedaan gaya tarik antara molekul-molekul pada bidang singgung pertemuan dua material yang berbeda sifatnya. Gambar 2.1 menunjukkan konsep dasar kenaikan air di dalam pipa kapiler, serta pembagian tegangan didalam pipa kapiler.

Eila h_c adalah tinggi air dalam pipa kapiler, r adalah radius pipa, γ_w adalah berat volume air dan tekanan atmosfer diambil sebagai bidang referensi (tekanan udara sama dengan nol) maka gaya vertikal pada puncak kolom adalah sebagai berikut :

$$T 2\pi r \cos \alpha + U\pi r^2 = 0 \quad \dots (2.1)$$

$$U = \frac{- 2 T \cos \alpha}{r} \quad \dots (2.2)$$

Dimana :

T = gaya tarik permukaan (kg/cm)

r = radius tabung (cm)

U = tekanan kapiler (kg/cm²)

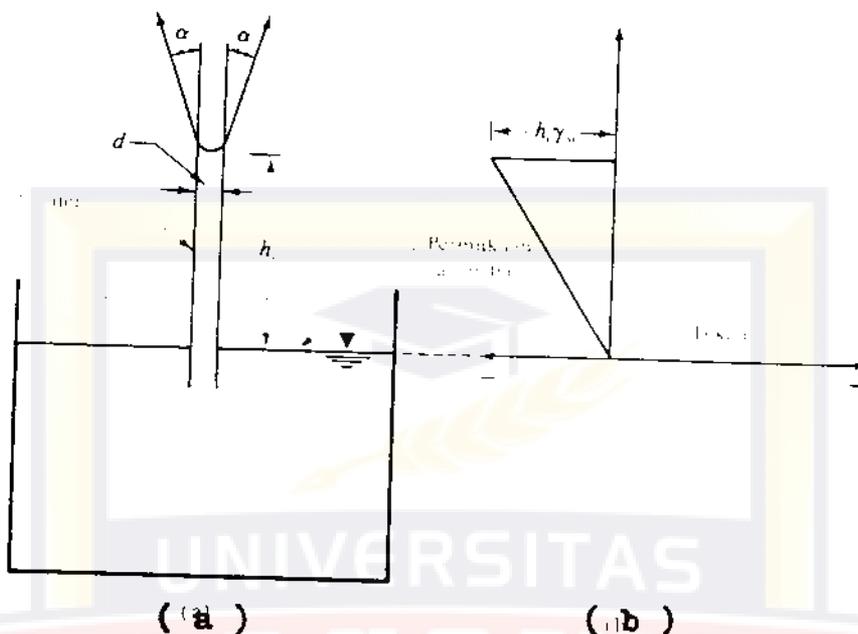
α = sudut sentuh antara permukaan air
dengan dinding kapiler .

U negatif berarti air di dalam pipa pada kedudukan tertarik atau terisap. Nilai tekanan maksimum adalah $\gamma_w h_c$ dan terjadi pada puncak kolom. Distribusi tekanan sepanjang pipa dapat dilihat pada gambar 2.1.b. Persamaan ketinggian air di dalam pipa diperoleh dengan cara substitusi $U = \gamma_w h_c$, dan persamaan (2.2) akan menjadi :

$$-\gamma_w h_c = \frac{- 2 T \cos \alpha}{r}$$

$$h_c = \frac{- 2 T \cos \alpha}{\gamma_w r} \quad \dots (2.3)$$

Dari persamaan (3.3) dilihat bahwa U dan h_c akan bertambah jika radius pipa (r) berkurang



Gambar 2.1 Konsep dasar kenaikan air di dalam pipa kapiler serta pembagian tegangan sepanjang pipa kapiler.

2.1.6 Pengaruh Tekanan Kapiler

Akibat tekanan kapiler air tanah terisap ke atas melebihi permukaannya. Walaupun pori-pori tanah bukan sistem pipa kapiler tetapi teori kapiler dapat diterapkan untuk mempelajari kelakuan air pada zone kapiler. Air di dalam zone kapiler ini dapat dianggap bertekanan negatif yaitu mempunyai tekanan di bawah tekanan atmosfer.

Walaupun konsep kenaikan air kapiler yang didemonstrasikan dengan pipa kapiler yang ideal dapat dipakai untuk tanah, tetapi perlu diperhatikan bahwa pipa kapiler yang terbentuk dalam tanah mempunyai penampang yang bervariasi. Gambar 2.2 memperlihatkan ketidakseragaman kenaikan air kapiler pada tanah berpasir yang diletakan bersentuhan dengan air. Setelah air dan tanah bersentuhan dalam beberapa saat, variasi kejenuhan dengan tinggi tabung tanah akibat kenaikan air kapiler dapat dilihat, yaitu bahwa sampai dengan ketinggian h_2 air dapat menempati pori-pori yang terbesar. Karena itu derajat kejenuhan tanah di daerah tersebut adalah 100 % dan di luar h_2 air hanya dapat menempati pori-pori yang terkecil karenanya derajat kejenuhan diluar h_2 kurang dari 100 %. Hazen (1930) memberikan persamaan untuk menentukan kenaikan air kapiler secara pendekatan yaitu :

1) hal. 137

$$h_1 \text{ (mm)} = \frac{C}{e D_{10}} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

D_{10} = Diameter efektif (mm)

e = angka pori

C = konstanta.

Hansbo (1975) memberikan rentang perkiraan kenaikan air kapiler yang dapat dilihat pada tabel 2.1 seperti di bawah ini.

Tabel 2.1 Rentang perkiraan kenaikan air kapiler.

Macam Tanah	Kondisi longgar	Kondisi padat
Pasir kasar	0,03 - 0,12 m	0,04 - 0,15 m
Pasir sedang	0,12 - 0,50 m	0,35 - 1,10 m
Pasir halus	0,30 - 2,00 m	0,40 - 3,50 m
Lanau	1,10 - 10,0 m	2,50 - 12,0 m
Lempung		10,0 m

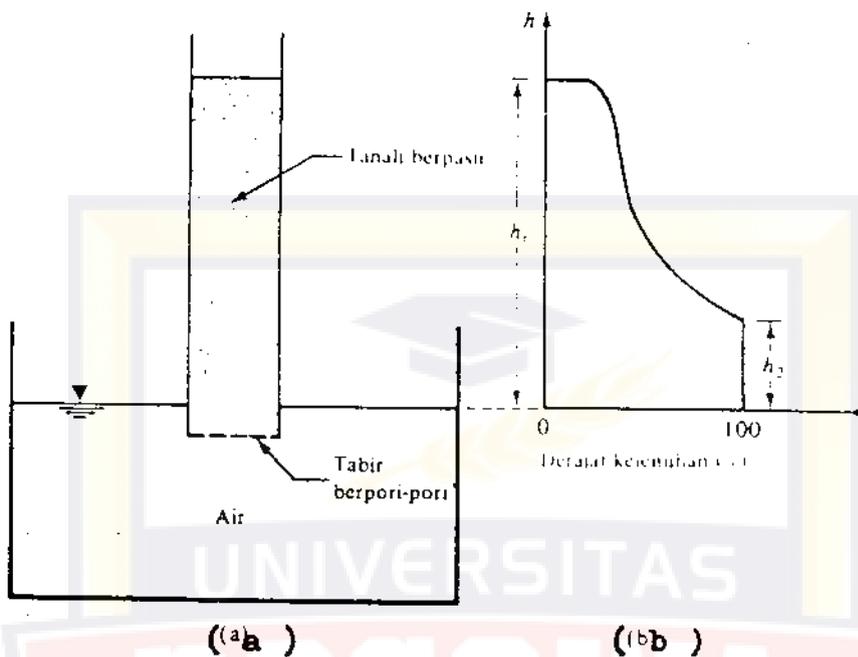
4) halaman 73

Tekanan air pori U pada suatu titik dalam lapisan tanah yang 100 % jenuh oleh air kapiler adalah sama dengan $\gamma_w h$ (h adalah tinggi suatu titik yang ditinjau dari muka air tanah). Apabila terdapat lapisan jenuh sebagian yang disebabkan oleh kapileritas, maka tegangan air porinya dapat ditulis sebagai berikut :

1) hal. 139

$$U = - \left(\frac{S}{100} \right) \gamma_w h \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan S adalah derajat kejenuhan (%). 1) hal.139



Gambar 2.2 ketidakseragaman kenaikan air kapiler pada tanah berpasir yang kering di dalam silinder yang diletakan bersentuhan dengan air.

2.2 Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan berupa air atau minyak mengalir lewat rongga porinya. Tanah adalah merupakan susunan butiran padat dan pori-pori yang saling berhubungan satu sama lainnya sehingga air dapat mengalir melalui suatu titik yang mempunyai energi lebih tinggi ke titik yang mempunyai energi yang lebih rendah.

Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang menyatakan atau menggambarkan bagaimana air mengalir melalui tanah.

Di dalam tanah sifat aliran mungkin laminair atau turbulen. Ketahanan tanah terhadap aliran tergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa serta bentuk geometri rongga porinya. Temperatur juga mempengaruhi tabanan aliran.

Walaupun secara teoritis semua tanah mempunyai rongga pori, namun dalam prakteknya istilah mudah meloloskan air (permeable) ditujukan untuk tanah yang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya tanah disebut kedap air (impermeable) bila tanah tersebut mempunyai sifat meloloskan air yang kecil.

2.2.1 Garis Aliran

Tanah adalah merupakan susunan butiran padat dan pori-pori yang saling berhubungan satu sama lain sehingga air dapat mengalir dari suatu titik yang mempunyai energi lebih tinggi ke titik yang mempunyai energi lebih rendah. Studi mengenai air yang melalui pori-pori tanah diperlukan dalam mekanika

Akan tetapi dalam prakteknya tanah dapat dianggap sebagai satu kesatuan. Tiap partikel air dianggap melewati suatu lintasan lurus yang disebut garis aliran.

2.2.2 Aliran Air Dalam Tanah

Air yang berada di dalam tanah dibedakan atas air absorpsi yakni air yang diabsorpsi oleh permukaan butiran-butiran tanah, air kapiler yakni air yang tertahan dalam pori-pori tanah oleh tegangan permukaan, dan air gravitasi yakni air yang bergerak sepanjang pori oleh gaya gravitasi. Air dalam tanah adalah air bebas dalam zone jenuh (saturate zone) yang dibedakan atas air tanpa tekanan dengan permukaan bebas dan air tanah terkekang tanpa permukaan bebas.

Pergerakan air dalam tanah sepanjang pori-pori tanah oleh gaya gravitasi disebabkan oleh energi potensial akibat perbedaan elevasi, energi tekanan akibat berat air atau tekanan lain, dan energi kinetis karena kecepatan aliran. Menurut Bernoulli, tinggi dan tekanan total pada suatu titik didalam air yang mengalir dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari

tinggi elevasi, tinggi tekanan, dan tinggi kecepatan atau dapat dirumuskan sebagai berikut : 1) hal. 77

$$h = \frac{P}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Z \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

h = Tinggi energi total (m)

P = Tekanan piezometrik (t/m²)

v = Kecepatan aliran (m/det)

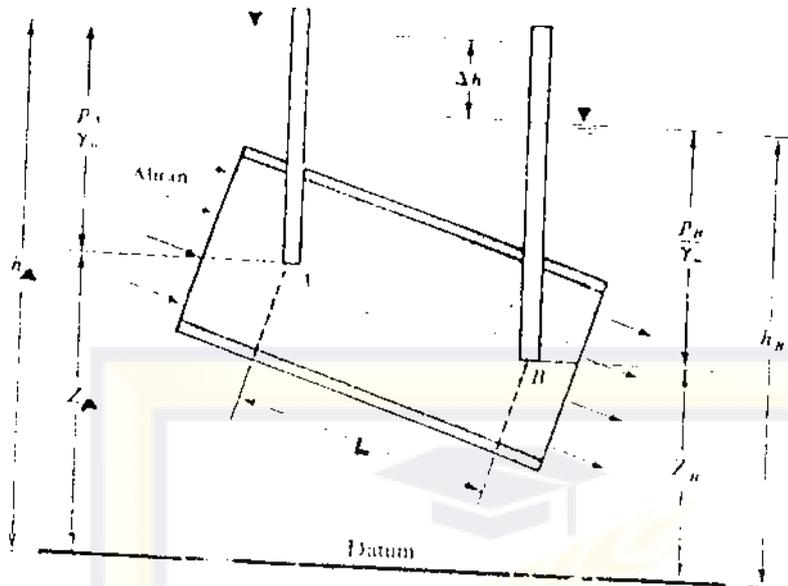
g = Percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

γ_w = Berat volume air (t/m³)

Karena kecepatan air melewati pori-pori tanah sangat kecil, maka tinggi kecepatan dapat diabaikan sehingga persamaan (2.6) dapat ditulis sebagai berikut :

$$h = \frac{P}{\gamma_w} + Z \dots\dots\dots(2.7)$$

Gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara tekanan, elevasi dan tinggi energi total dari suatu aliran air dalam tanah. Tabung piezometer dipasang pada titik A dan titik B. Ketinggian air di dalam tabung piezometer A dan B disebut sebagai muka piezometer dari titik A dan B. Tinggi elevasi dari suatu titik merupakan jarak vertikal yang diukur dari suatu bidang datum ke titik bersangkutan.



Gambar 2. Pipa malar, aliran, dan tinggi total
 di titik A dan B.

Sehingga : $\Delta h = h_1 - h_2$ (2.8)

Formulasi total sebagai berikut : 1) hal 90

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

$$\Delta h = \left(\frac{P_1}{\gamma_w} + Z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma_w} + Z_2 \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

Kehilangan energi tersebut dapat juga dinyatakan dengan

persamaan tanpa dimensi sebagai berikut : 1) hal 90

$$i = \frac{\Delta h}{L} \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana :

Δh = Kehilangan energi

i = Gradien hidrolik

L = Jarak antara titik A dan B (m)

2.3 Rembesan

Interaksi antara tanah dengan air yang menelus terpecah menjadi beberapa kelompok permasalahan dalam teknik bangunan tanah. Kelompok pertama menyangkut pengestimasi-an sejumlah air yang akan memasuki galian (pit) selama berlangsungnya bangunan atau jumlah air yang hilang akibat penelusan baik melewati tubuh bendungan atau pun tanah bagian bawah suatu bendungan. Kelompok kedua mempersoalkan pengaruh permeabilitas terhadap laju pengurasan air dari lapisan lempung yang terbebani. Dan kelompok ketiga mempersoalkan pengaruh tekanan rembesan terhadap kestabilan lereng dan pondasi.

Pemecahan secara teoritis untuk masing-masing didasarkan pada pengandaian bahwa massa tanah tempat air menelus bersifat homogen dan mungkin tersusun dari beberapa lapisan homogen yang perbatasan-perbatasannya terdefinisi dengan jelas. Asumsi yang serupa juga akan digunakan dalam menurunkan teori-teori tekanan tanah, kestabilan, dan penurunan.

Tekanan tanah, kestabilan tanah, dan penurunan semesta-mata ditentukan oleh nilai rata-rata dari sifat-sifat

tanah (yang ikut berperan). Penyebaran (stattering) atau penyimpangan dari nilai rata-rata tersebut hanya akan memberikan konsekwensi praktis yang kecil. Di lain pihak dalam permasalahan hidrolika, detail geologi yang nampaknya tidak berarti mungkin memberikan pengaruh yang menentukan terhadap jumlah rembesan, serta jumlah distribusi tekanan rembesan di seluruh tanah.

2.3.1 Tekanan Rembesan

Air dalam keadaan statis di dalam tanah, akan menimbulkan tekanan hidrostatis yang arahnya ke atas (Uplift). Akan tetapi jika air mengalir lewat lapisan tanah, air akan mendesak partikel tanah sebesar tekanan rembes hidrodinamis yang bekerja menurut arah alirnya. Besarnya tekanan rembesan akan merupakan fungsi dari gradien hidrolik.

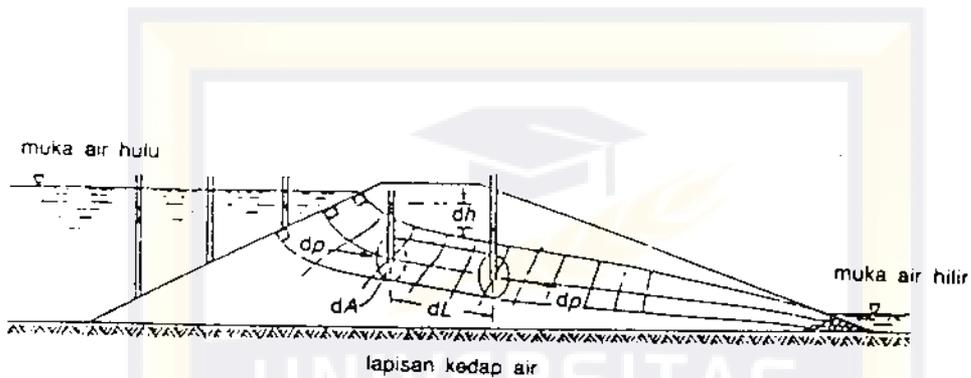
Gambar 2.5 memperlihatkan struktur bendungan tanah. Beda panjang aliran dL dengan luas potongan jaringan dA . Besarnya tekanan dapat dinyatakan sebagai fungsi dh sebagai berikut :

$$dp = \gamma_w dh dA \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

γ_w = berat volume air (t/m³)

dp = tekanan dinamis rembesan (tekanan rembesan) (t)



Gambar 2.5 Tekanan rembesan

Dari persamaan (2.10) tekanan menurut satuan volume sebagai berikut :

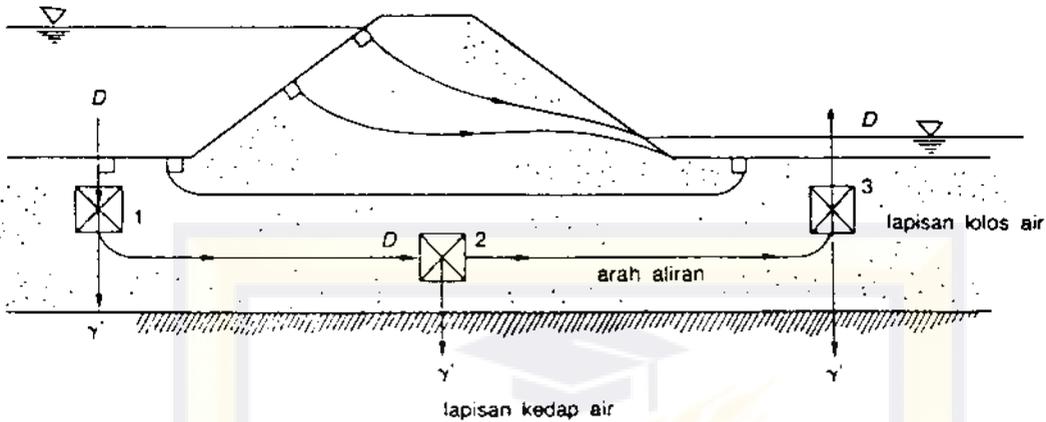
$$\frac{dp}{dV} = \frac{dp}{dA dL} = \frac{\gamma_w dh dA}{dA dL} \quad (2.11)$$

Karena aliran air dalam tanah biasanya lamban, gaya inersia pada air yang bergerak diabaikan. Dengan menganggap $dp/(dA dL) = D$, maka akan diperoleh persamaan gaya rembesan persatuan volume :

$$D = \gamma_w i \quad (t/m^3) \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan $i = dh/dL$ adalah gradien hidrolis.

Tekanan hidrodinamik (D) bekerja sepanjang arah aliran airnya.



Gamabar 2.6 Kondisi tekanan hidrodinamis akibat rembesan

2.3.2 Pengaruh Tekanan Air Terhadap Stabilitas Tanah

Tekanan hidrodinamis mempunyai pengaruh yang besar terhadap stabilitas tanah, Tergantung pada arah alirannya, tekanan hidrodinamis dapat mempengaruhi berat volume tanah. Pengaruh D pada berat volume tanah oleh adanya rembesan diberikan dalam gambar 2.6.

Pada titik 1 atau sembarang titik dimana garis aliran berarah ke bawah dan vertikal, berat volume efektif (γ_{ef}) adalah :

$$\gamma_{ef} = \gamma' + D \dots\dots\dots(2.13)$$

Pada titik 2 atau sembarang titik pada garis aliran dua vektor D dan bekerja saling tegak lurus menghasilkan vektor resultan gaya yang miring.

Pada titik 3, dimana arah aliran vertikal, tekanan hidrodinamisnya adalah :

$$\gamma_{ef} = \gamma' - D \dots\dots\dots (2.14)$$

Di sini, jika $D = \gamma'$ tanah akan tampak kehilangan beratnya, sehingga tidak stabil. Hal demikian disebut kondisi kritis, dimana pada keadaan ini terdapat gradien hidrolis kritis (i_c) dengan konsekwensinya kecepatan yang terjadi juga kecepatan kritis (V_{cr}), sehingga :

$$D = \gamma_w i_c \dots\dots\dots (2.15)$$

Bila kecepatan melampaui kecepatan kritisnya, maka $D > \gamma'$ dan γ_{ef} dalam persamaan (2.14) menjadi negatif. Hal ini berarti tanah dalam keadaan : mengapung atau terangkat ke atas. Kondisi tanah demikian disebut kondisi mengapung (quick condition)

2.3.3 Gaya Tekanan Air Pada Struktur

Telah disebutkan di atas bahwa bila tekanan rembesan ke atas yang terjadi sama dengan gradien hidrolis kritis (i_c) maka akan berakibat tanah mengapung. Keadaan semacam ini juga akan berakibat terangkatnya butir-butir tanah halus sehingga terjadi

pipa-pipa di dalam tanah. Dan akibat terjadinya pipa-pipa di dalam tanah yang berbentuk rongga-rongga, maka pondasi-pondasi bangunan akan mengalami penurunan sehingga mengganggu stabilitas bangunannya.

2.4 Tegangan Efektif

Dalam suatu tanah dengan volume tertentu, butiran pori tersebut berhubungan satu dengan lainnya sehingga merupakan suatu saluran seperti kemampuan mampat dari tanah, daya dukung pondasi, kestabilan timbunan, dan tekanan tanah horisontal pada konstruksi penahan tanah, kita perlu mengetahui perilaku dari distribusi tegangan sepanjang suatu penampang tanah.

2.4.1 Pengertian

Bila tanah mengalami tekanan akibat pembebanan seperti beban pondasi maka angka pori tanah akan berkurang. Selain itu tekanan akibat beban pondasi juga dapat mengakibatkan perubahan-perubahan sifat mekanis tanah yang lain seperti penambahan tegangan geset.

Jika suatu volume tanah berada di dalam air, maka tanah tersebut akan dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas sebagai akibat tekanan air hidrostatik.

Berat tanah yang terendam air ini disebut berat tanah efektif, sedangkan tegangan yang diakibatkan oleh berat tanah efektif disebut tegangan efektif.

Kita ketahui bahwa suatu gumpalan tanah terdiri dari butiran padat dan ruang pori. Ruang pori yang dapat berisi udara dan air ini terjadi karena bentuk partikel tanah yang berupa butiran. Untuk tanah yang jenuh sempurna ruang pori ini terisi penuh oleh air. Besarnya bidang kontak antara butiran yang satu dengan butiran yang lainnya bergantung kepada bentuk dan susunan butirnya. Dan tegangan yang terjadi pada bidang kontaknya akan dipengaruhi oleh tekanan air porinya.

Untuk menghitung tegangan yang terjadi di dalam tanah pada prakteknya butiran tanah dan air dianggap tidak mudah mampat, sebaliknya udara adalah mudah sekali mampat. Pengurangan volume hanya terjadi kalau sejumlah air meninggalkan ruang porinya. Untuk tanah yang jenuh atau jenuh sebagian pengurangan volume biasanya terjadi akibat berkurangnya udara yang terdesak keluar dari ruang pori.

Keadaan ini juga dapat menyebabkan perubahan susunan butirannya. Volume tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat adanya perubahan susunan yang lama ke susunan yang baru. Perubahan yang terjadi dapat dengan cara menggeser atau menggelinding. Dengan demikian terjadi pula perubahan gaya-gaya yang bekerja diantara butirannya.

Tegangan geser hanya dapat ditahan oleh butiran butiran tanah, yaitu oleh gaya-gaya yang berkembang pada bidang singgung antar butirannya. Tegangan normal yang bekerja ditahan oleh tanah melalui penambahan gaya antar butiran tanah. Jika tanah dalam keadaan jenuh sempurna air yang mengisi ruang pori dapat juga menahan tegangan normal dengan akibatnya akan terjadi penambahan tekanan air porinya.

Terzaghi (1923) memberikan prinsip tegangan efektif yang bekerja pada segumpal tanah dalam keadaan jenuh sempurna sebagai berikut :

- (1) Tegangan normal total (σ) pada bidang di dalam massa tanah yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban yang diakibatkan oleh berat tanah total

termasuk air dan ruang pori, persatuan luas yang arahnya tegak lurus.

- (2) Tegangan air pori (U) disebut juga dengan tegangan netral yang bekerja ke segala arah sama besar, yaitu tekanan air yang mengisi rongga di antara butiran padat.
- (3) Tegangan normal efektif (σ') pada bidang di dalam massa tanah yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban yang diakibatkan berat butiran tanah per satuan luas bidangnya. 4) halaman 155.

Gambar 2.7 memperlihatkan prinsip tegangan efektif di dalam massa tanah terendam air. Bidang A - A berbelok-belok melewati titik-titik pada bidang singgung diantara butiran tanah. Gaya normal P diberikan pada luasan A , ditahan oleh gaya antar butiran dan sebagian ditahan oleh tekanan air pori. Besar dan arah gaya-gaya yang bekerja pada bidang kontak butirannya adalah sangat acak. Namun secara pendekatan untuk setiap titik di bidang singgung pada bidang A - A gaya-gaya tersebut dapat diuraikan menurut komponen arah normal (P') dan arah horisontal (T).

Tegangan normal efektif atau tegangan vertikal efektif diartikan sebagai jumlah komponen P' di dalam luasan A , dibagi luas A , atau 4) hal.155

$$\sigma' = \frac{\sum P'}{A} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dan tegangan normal total diberikan oleh :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.17)$$

Persamaan kesetimbangan dalam arah normal bidang A-A akibat tekanan air pori pada luasan A adalah :

$$P = \sum P' + UA \dots\dots\dots (2.18)$$

Jika A_c adalah luas penampang melintang titik-titik sentuh antara butiran, maka ruangan yang ditempati air adalah $(A - A_c)$.

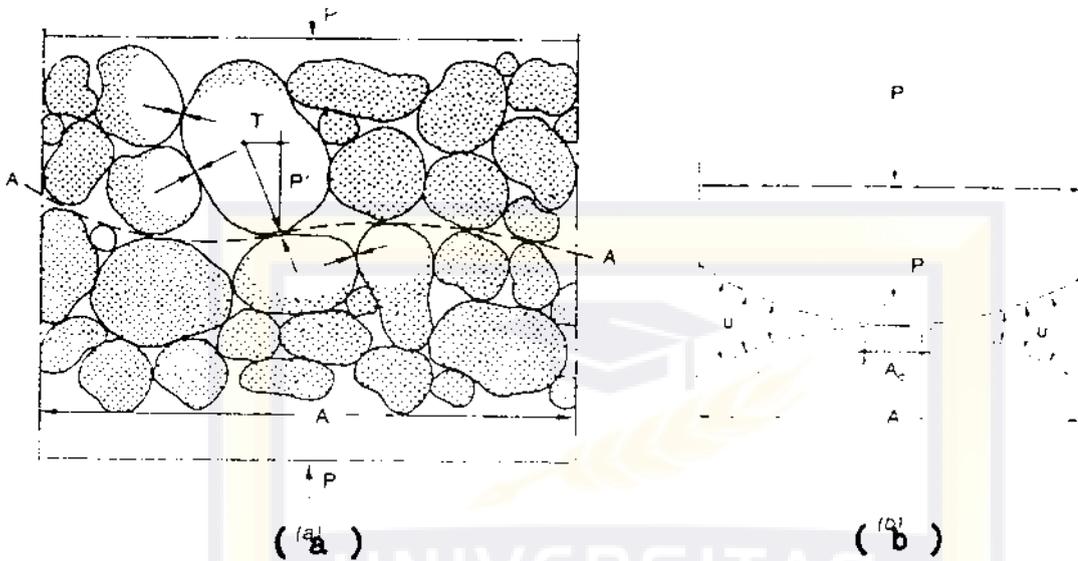
Karena tegangan netral hanya dapat bekerja pada ruang pori, maka untuk mendapatkan tegangan netral U harus dikalikan dengan luas rongga yang ditempati air pori $(A - A_c)$, sebagai berikut :

$$P = \sum P' + (A - A_c) U \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\frac{P}{A} = \frac{\sum P'}{A} + \frac{A - A_c}{A} U \dots\dots\dots (2.20)$$

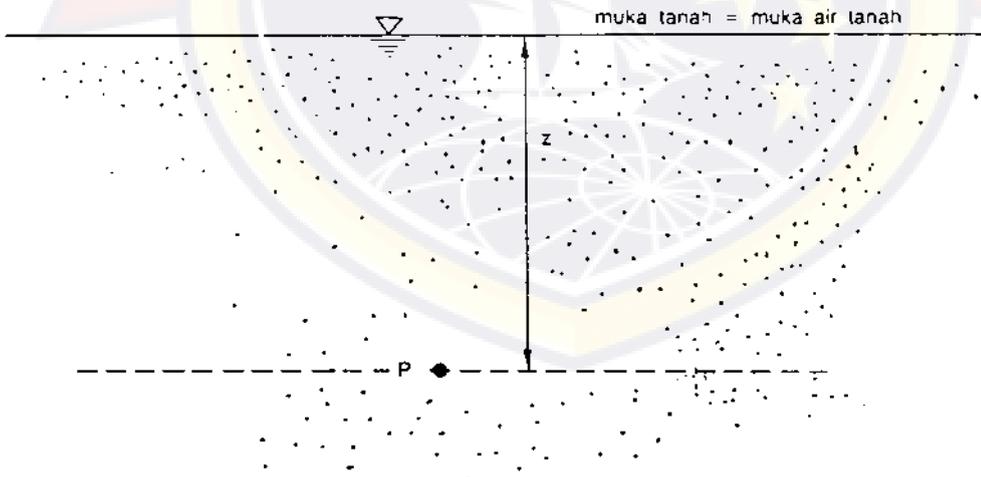
$$\sigma = \sigma' + \left(1 - \frac{A_c}{A} \right) U \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\sigma = \sigma' + (1 - a) U \dots\dots\dots (2.22)$$



Gambar 2.7 (a) gaya antar butiran pada segumpal tanah.

(b) Kontak antar butiran (Skepton, 1960)



Gambar 2.8 Tegangan efektif pada suatu lapisan tanah

Dimana a adalah luas kontak antara partikel per satuan luas kotor tanah (Skepton , 1960). Dan karena harga a sangat kecil, maka untuk problem praktisnya dapat diabaikan sehingga persamaan (2.22) dapat ditulis menjadi :

$$\sigma = \sigma' + u \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana :

σ = Tegangan normal total (t/m²)

σ' = Tegangan normal efektif (t/m²)

u = Tekanan air pori (t/m²)

Untuk meninjau tegangan efektif akibat berat tanah diatasnya, ditinjau suatu massa tanah yang berada pada bidang horisontal dengan muka air tanah pada permukaan tanah tersebut (gambar 2.8). Tegangan vertikal total (σ_v) yaitu tegangan pada bidang horisontal pada kedalaman Z akan sama dengan berat seluruh material (padat tambah air) per satuan luas pada kedalamannya.

$$\sigma_v = \gamma_{sat} Z \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan Z adalah kedalaman yang ditinjau, γ_{sat} adalah berat volume tanah jenuh.

Tekanan air pori pada sembarang kedalaman adalah serupa tekanan hidrostatis, karena ruang pori di antara butirannya saling berhubungan. Karena itu pada kedalaman Z , tekanan air pori (U) adalah : 4) hal. 156

$$U = \gamma_w Z \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana :

$$U = \text{Tekanan air pori (t/m}^2 \text{)}$$

$$\gamma_w = \text{Berat volume air (t/m}^3 \text{)}$$

$$Z = \text{Kedalaman yang ditinjau (m)}$$

Menurut persamaan 2.23 tegangan vertikal efektif

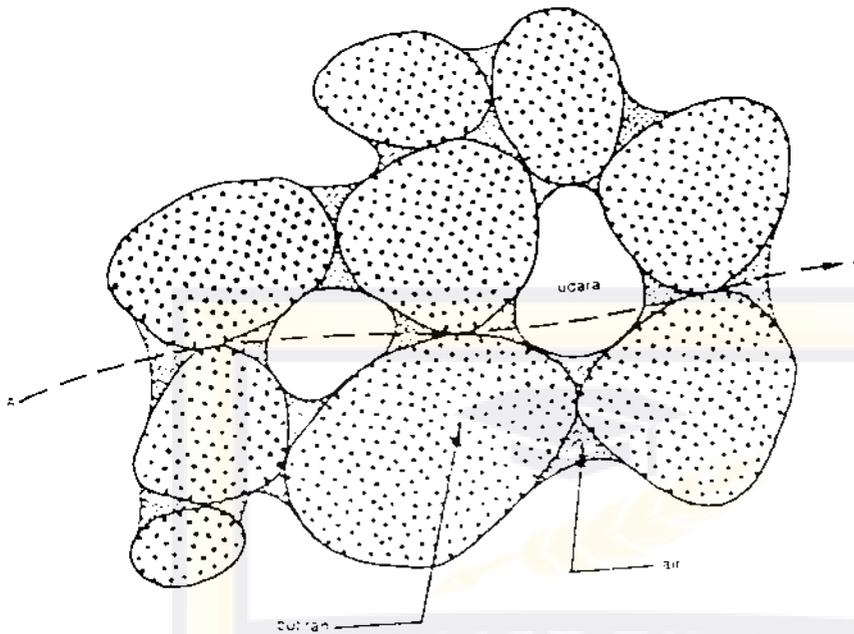
(σ'_v) pada kedalaman Z adalah : 4) hal. 156

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= \sigma_v - U \\ &= Z \gamma_{\text{sat}} - Z \gamma_w \\ &= (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) Z \\ &= \gamma' Z \dots\dots\dots (2.26) \end{aligned}$$

dimana γ' adalah berat volume tanah efektif atau berat volume tanah terendam.

2.4.2 Tegangan Efektif Pada Tanah Tak Jenuh

Di dalam tanah tak jenuh air tidak mengisi semua rongga pori dalam tanah. Dalam hal ini terjadi sistem tiga fase, yaitu butiran padat, air pori dan udara pori.



Gambar 2.9 Susunan tanah tak jenuh.

Karena dalam tanah tak jenuh terjadi sistim tiga fase maka tegangan total pada setiap titik di dalam massa tanah akan terdiri dari tegangan antar butir, tegangan udara pori, dan tegangan air pori.

Karena tanah tidak jenuh, pori udara akan berbentuk saluran yang sambung menyambung melalui ruang diantara butirannya, sedangkan air pori akan terkonsentrasi sekitar daerah kontak antar partikelnya.

Karena itu sembarang bidang yang bergelombang mendekati mendatar akan melewati bagian air dan bagian udara.

Bishop (1955) memberikan persamaan tegangan total (σ) dan tegangan efektif (σ') untuk tanah tak jenuh sebagai berikut : 4) halaman 158.

$$\sigma = \sigma' + U_a - X (U_a - U_w) \dots (2.27)$$

dimana :

σ = Tegangan total (t/m²)

σ' = Tegangan efektif (t/m²)

U_a = Tegangan udara pori (t/m²)

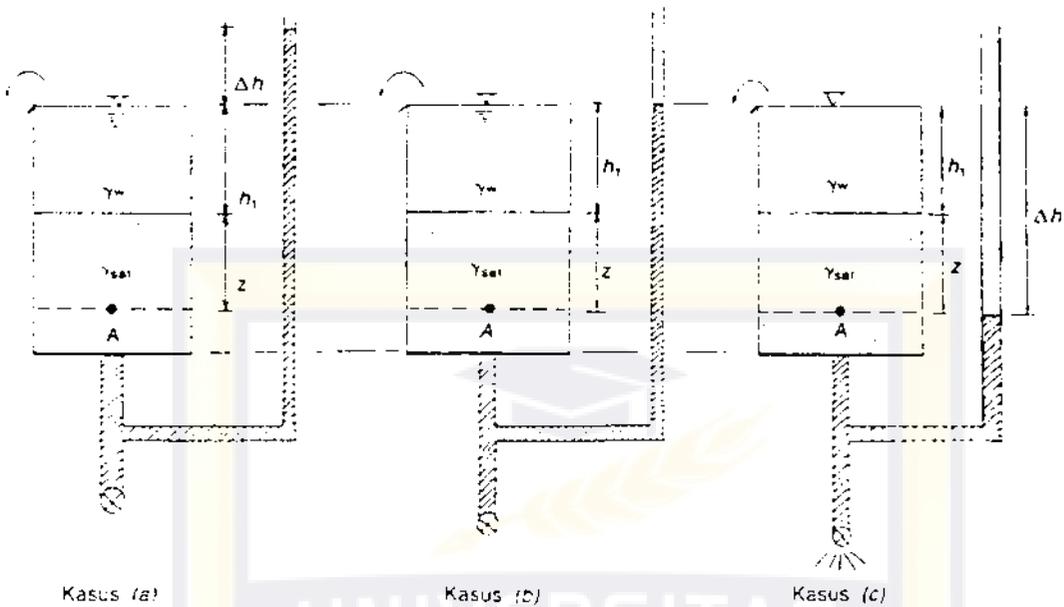
U_w = Tegangan air pori (t/m²)

X = Bagian dari penampang melintang yang ditempati air. Untuk tanah kering ($S = 0$) nilai $X = 0$, dan untuk tanah jenuh ($S=1$) nilai $X = 1$. X berhubungan langsung dengan derajat kejenuhan tanah.

2.4.3 Pengaruh Rembesan Pada Tegangan Efektif

Tegangan efektif pada suatu massa tanah akan mengalami perubahan dikarenakan oleh adanya rembesan air yang melaluinya.

Tegangan efektif ini akan bertambah besar atau kecil tergantung pada arah dari rembesan.



Gambar 2.10 Tegangan efektif akibat gaya rembesan

Jika air mengalir dengan gradien hidrolis tertentu di dalam tanah seperti diperlihatkan dalam gambar 2.10, maka pengaruh perbedaan tinggi tekanan akan menimbulkan gaya pada butiran tanahnya. Dan arah rembesan ini searah dengan arah alirannya.

Ditinjau kondisi aliran air di dalam tanah seperti pada gambar 2.10 akan dihitung tegangan efektif pada titik A, sebagai akibat pengaruh gaya rembesan dimana arah alirannya divariasikan.

Pada kasus (a), tanah menderita gaya rembesan ke atas tegangan efektif pada titik A adalah :

$$\sigma' = h_1 \gamma_w + z \gamma_{sat} - z \gamma_w - (h_1 + h) \gamma_w$$

$$\sigma' = z \gamma' + \Delta h \gamma_w \dots\dots\dots (2.28)$$

Pada kasus (b) tanah tidak menderita gaya rembesan

($h = 0$), maka tegangan efektif pada titik A adalah

$$\sigma' = z \gamma_{sat} - z \gamma_w$$

$$\sigma' = z \gamma' \dots\dots\dots (2.28a)$$

Pada kasus (c), tanah menderita gaya rembesan kebawah dengan tinggi tekanan air sebesar $- (h_1 + z)$.

Tegangan efektif pada titik A adalah :

$$\sigma' = z \gamma' - [- (h_1 + z)] \gamma_w$$

$$\sigma' = h_1 \gamma_w + z \gamma_{sat} \dots\dots\dots (2.28b)$$

dimana :

σ' = Tegangan efektif (t/m^2)

h_1 = Tinggi air mula-mula (m)

z = Kedalaman titik yang ditinjau dari muka tanah (m)

Δh = Tinggi air setelah adanya rembesan (m)

γ_{sat} = Berat volume tanah jenuh (t/m^3)

γ_w = Berat volume air (t/m^3)

γ' = Berat volume tanah efektif (t/m^3)

2.5 Daya Dukung Tanah

Tanah selalu mempunyai peran yang penting pada suatu pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri. Mengingat semua bangunan itu dibangun di atas atau di bawah permukaan tanah, maka perlu diperhatikan dan dipahami mengenai daya dukung tanah dimana bangunan itu akan dibangun.

Analisis daya dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja di atasnya. Pondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban akibat berat struktur secara langsung ke tanah yang terletak di bawahnya. Perancangan yang seksama diperlukan agar beban pondasi tidak menimbulkan tekanan yang berlebihan pada tanah di bawahnya, karena tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan yang besar bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan.

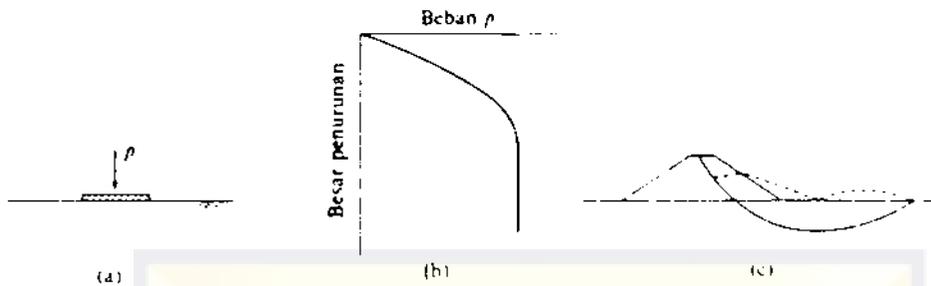
Dalam merancang pondasi terdapat 2 persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu :

1. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya daya dukung harus dipenuhi. Biasanya digunakan $F = 3$
2. Penurunan pondasi harus dalam batas nilai yang ditoleransikan. 5) halaman 196.

2.5.1 Pengertian Daya Dukung

Kalau suatu pondasi ditekan dengan suatu muatan maka tanah di bawahnya mendapat tegangan, dan semakin besar tekanan semakin besar pula tegangan yang terjadi. Dan karenanya tanah memadat dan pondasi turun. Besarnya muatan dan turunnya pondasi dapat dilukiskan seperti pada gambar 2.11. Kalau muatan sedemikian besarnya sehingga turunnya pondasi mencapai batas yang diperkenankan maka dikatakan bahwa daya dukung tanah terhadap perubahan bangun telah tercapai. K. Buisman menyebut tingkat muatan ini "Stadium I". Jika muatan ditambah lagi besarnya turunnya pondasi bertambah lebih cepat dari bertambahnya muatan, pada suatu saat tegangan-tegangan pada tepi papan pondasi dilampaui dan tanahnya pecah. Tegangan-tegangan pada tempat ini sebagian ditahan oleh butir-butir tanah di tempat lain. K. Buisman menyebut saat ini tingkat muatannya telah mencapai "Stadium II".

Kalau muatan ditambah lagi besarnya, maka semakin banyak tanah ditempat lain pecah. Pembagian tegangan menjadi demikian sehingga pertahanan tanah :



Gambar 11 Diagram muatan dan turunnya pondasi.

yang masih dapat ditimbulkan untuk menahan muatan mencapai batasnya. Sifat-sifat tanah terhadap perubahan bangun tidak lagi mempengaruhi pembagiannya. Pembagian tegangan hanya dipengaruhi oleh tegangan-tegangan pada batas keseimbangan, yaitu antara tegangan karena muatan dan yang ditimbulkan oleh tanah disampingnya. K. Buisman menyebutnya dengan tingkat muatan pada "Stadium III". Kalau batas keseimbangan ini dilampaui, maka tanah di bawah dasar pondasi terdesak kesamping, dan pondasi akan turun dengan cepat. Batas inilah yang dinamakan daya penahan terhadap keseimbangan atau daya penahan batas.

Pondasi adalah bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang berfungsi meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawahnya.

Oleh karena itu maka beban yang diteruskan oleh pondasi tidak boleh melebihi kekuatan tanah pendukung yang berada di bawahnya. Apabila kekuatan tanah terlampaui, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan akan terjadi. Hal ini pada gilirannya akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atasnya. Karenanya maka perlu dievaluasi daya dukung tanah dimana pondasi akan dibangun.

Secara singkat dapat dikatakan bahwa daya dukung atau daya penahan tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan beban dengan tidak mengalami keruntuhan.

2.5.2 Daya Dukung Batas Tanah

Tanah mempunyai sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya apabila mendapat tekanan. Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan didalam tanah pondasi akan melampaui tahanan geser tanah pondasi, maka akan berakibat keruntuhan geser dari tanah pondasi

Bila gaya geser bekerja pada permukaan dimana bekerja pula tegangan normal seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.12a, maka harga tegangan geser akan meningkat akibat deformasi, mencapai harga batas seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.12b. Bila harga batas yang diperoleh ini digambarkan dengan tegangan normal yang berbeda-beda, maka dapat diperoleh sebuah garis lurus yang memperlihatkan karakteristik kekuatan dari tanah yang dinyatakan oleh persamaan :

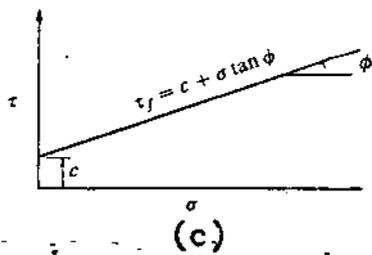
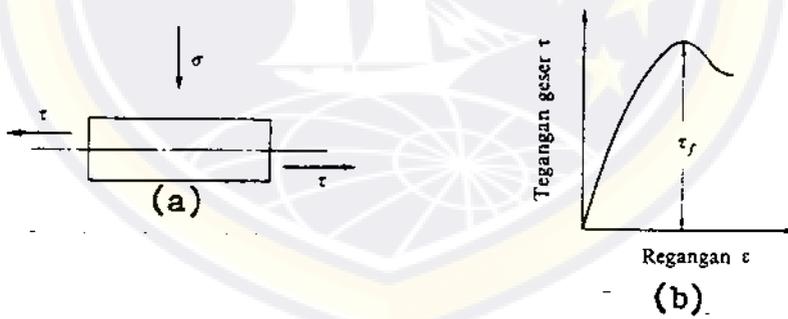
$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (2.29)$$

dimana : τ = Tegangan geser tanah (t/m²)

c = Kohesi tanah (t/m²)

σ = Tegangan normal yang bekerja (t/m²)

ϕ = Sudut geser dalam tanah (derajat)

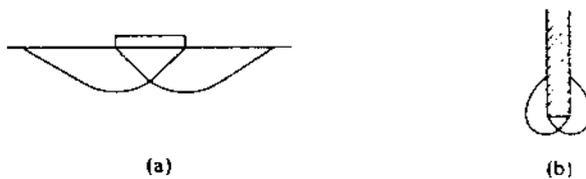


Gambar 2.12. (a) Geseran dari tanah. (b) Tegangan geser dan regangan. (c) Tegangan karakteritik tanah.

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa kekuatan geser tanah dapat dibagi dalam nilai yang tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi antara butir-butir tanah. Sesuai dengan hal tersebut diatas, sering tanah dibagi dalam tanah yang kohesif dan tanah yang tidak kohesif. Tanah yang tidak kohesif seperti pasir, nilai kohesi (C) sama dengan nol. Kohesi dari lempung diperkirakan disebabkan oleh grafitasi listrik dan sifat-sifat dari air yang diserap pada permukaan partikel lempung. Bilamana tanah dalam keadaan tidak jenuh, meskipun tanah itu tidak kohesif maka sifat kohesi itu kadang-kadang dapat terlihat sebagai tegangan permukaan dari air yang terdapat dalam pori-pori. Jadi kekuatan geser tanah berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu.

Untuk mempelajari kekuatan geser tanah kohesif yang dalam keadaan jenuh, diperlukan suatu pengetahuan mengenai tekanan air pori. Jika gaya luar bekerja pada tanah yang jenuh, maka pada permulaan air yang terdapat dalam pori-pori memikul tekanan normal ($\Delta\sigma$) yang bekerja. setelah air pori mengalir keluar, tekanan berangsur-angsur dipikul oleh butir-butir tanah, dan persamaan kekuatan geser menjadi :

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \dots\dots\dots (2.30)$$



Gambar 2.12 Daerah keseimbangan plastis dalam tanah pondasi

Dalam keadaan batas dimana keruntuhan geser akan terjadi, maka akan terbentuk daerah keseimbangan plastis disekitar tanah pondasi yang bersentuhan dengan pondasi (gambar 2.12). Suatu daerah keseimbangan plastis tertentu diperkirakan terbentuk dengan pola yang sama, tidak hanya pondasi yang ditempatkan pada permukaan, tetapi juga pada pondasi yang dibuat pada galian dalam atau pada bagian-bagian ujung tiang tiang pancang yang dipancang ke dalam tanah.

Namun perlu juga diingat bahwa kelakuan pondasi pada tiang pancang adalah berbeda dengan kelakuan pondasi yang dibangun disekitar permukaan tanah, yaitu bahwa daerah plastis di atas bagian bawah pondasi berubah akibat penetrasi. Untuk tiang pancang, gesekan disekeliling permukaan tiang pancang mengambil bagian dalam menahan beban yang bekerja pada puncak tiang.

Walaupun gesekan disekitar tiang pancang memegang peranan yang penting dalam mendukung pondasi, pengertian daya dukung boleh juga diartikan daya dukung tiang pancang dengan pengertian satu tiang pancang yang memikul. Dalam bahasan ini dibatasi untuk hal dimana daya dukung pondasi atau struktur-struktur yang dibangun disekitar permukaan tanah.

Gambar 2.13 memperlihatkan jika kedalaman pemasangan (D_f) ternyata lebih kecil daripada lebar (B), maka hal ini biasanya disebut pondasi dangkal dan tanah pondasi di atas dasar pondasi dianggap yang memberikan fungsi dalam pengontrolan daerah plastis.

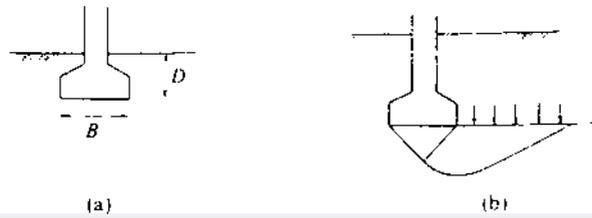
Daya dukung batas yang dapat diberikan oleh tanah pondasi untuk pondasi menerus lurus dengan lebar (B) seperti diperlihatkan pada gambar 2.14 diberikan dalam persamaan berikut yang dikenal sebagai daya dukung Terzaghi.

8) hal.32

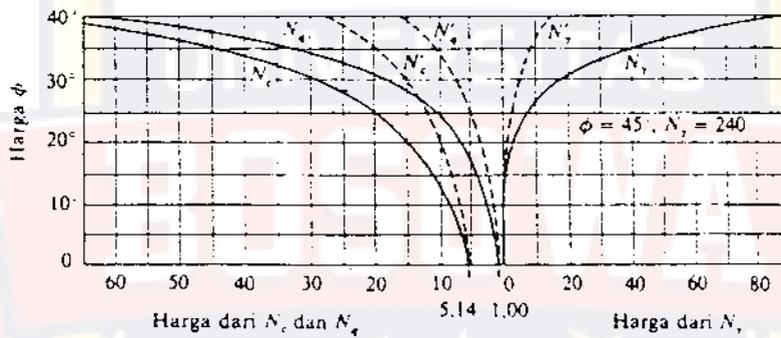
$$q_u = C N_c + \bar{\sigma} D_f N_q + \frac{1}{2} \bar{\sigma} B N_\gamma \dots (2.31)$$

$$q_u = C N_c + q N_q + \frac{1}{2} \bar{\sigma} B N_\gamma \dots (2.31a)$$

----- 8) halaman 32.



Gambar 2.13 Kedalaman pemasangan pondasi



Gambar 2.14 Koefisien kapasitas daya dukung

dimana :

q_u = daya dukung batas tanah (t/m^2)

q = γD_f = beban tanah di atas pondasi
pondasi (t/m)

C = kohesi tanah

D_f = kedalaman pondasi (m)

B = lebar pondasi (m)

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Tabel 2.1 Keefisien daya dukung Terzaghi

5) halaman 202

N_c , N_q , N_γ , adalah koefisien daya dukung yang bergantung kepada sudut gesek dalam, dan dapat dilihat pada tabel 2.1 dan gambar 2.14. Dan (γ) adalah berat isi tanah (t/m^3).

Apabila bentuk pondasi tidak lurus, persamaan berikut dapat digunakan :

8) hal. 33

- Untuk pondasi segi empat/bujur sangkar :

$$q_u = 1,3 C N_c + q N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma \dots (2.32)$$

- Untuk pondasi lingkaran :

$$q_u = 1,3 C N_c + q N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma \dots (2.33)$$

Faktor bentuk	Bentuk pondasi			
	Menerus	Bujur sangkar	Persegi	Lingkar
α	1,0	1,3	$1,0 + 0,3 (B/L)$	1,3
β	0,5	0,4	$0,5 - 0,1 (B/L)$	0,3

B: Sisi pendek
L: Sisi panjang

Tabel 2.2 Faktor bentuk

ϕ	N_c	N_q	N_γ	σ	N_c	N_q	N_γ
0°	5,3	0	1,0	28°	11,4	4,4	7,1
5°	5,3	0	1,4	32°	20,9	10,6	14,1
10°	5,3	0	1,9	36°	42,2	30,5	31,6
15°	6,5	1,2	2,7	40°	95,7	115,7	81,3
20°	7,9	2,0	3,9	45°	172,3	325,8	173,3
25°	9,9	3,3	5,6	50°	347,5	1073,4	415,1

Tabel 2.3 koefisien daya dukung dari Oshaki

Berdasarkan percobaan statistik pembebanan, Oshaki mengusulkan rumus untuk daya dukung batas yang merupakan modifikasi dari rumus Tersaghi sebagai berikut :

8) hal.33

$$q_u = \alpha C N_c + q N_q + \beta \gamma B N_\gamma \quad (2.34)$$

dengan α dan β adalah faktor bentuk yang mempunyai harga seperti diberikan dalam tabel 2.2.

Koefisien daya dukung yang mengalami perubahan untuk persamaan (2.34) mempunyai harga seperti yang diperlihatkan dalam tabel 2.3. 8) hal.33.

Dalam merancang struktur yang tahan terhadap daya dukung batas, maka konsep daya dukung yang diisikan dapat diterima. Konsep ini didapat dengan membagi daya dukung batas dengan suatu harga faktor keamanan .

$$q_{all} = \frac{q_u}{F} \dots\dots\dots (2.35)$$

dimana :

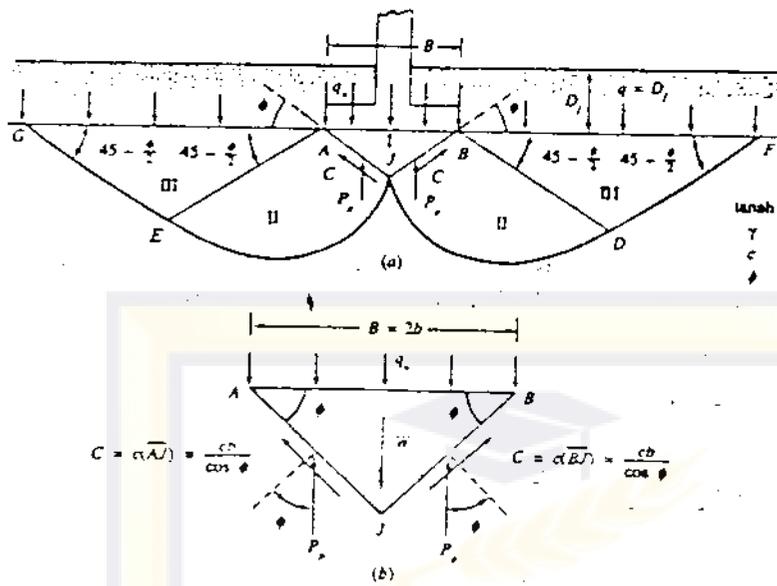
q_{all} = Daya dukung isin (t/m²)

q = Daya dukung batas (t/m²)

F = Faktor keamanan.

2.5.3 Persamaan Daya Dukung Batas Menurut Terzaghi

Pada tahun 1921, Prandtl memperkenalkan hasil telaahnya mengenai penetrasi suatu benda keras seperti besi yang ditekan masuk ke dalam suatu material yang lembek. Kemudian teori keruntuhan plastis yang dikembangkan Brandtl digunakan oleh Terzaghi (1943) untuk mengevaluasi besarnya daya dukung tanah di bawah pondasi yang memanjang. Menurut Terzaghi, suatu pondasi didefinisikan sebagai pondasi dangkal, apabila kedalaman pondasi (D_f) adalah kurang atau sama dengan le-



Gambar 2.15 Analisis daya dukung menurut Terzaghi

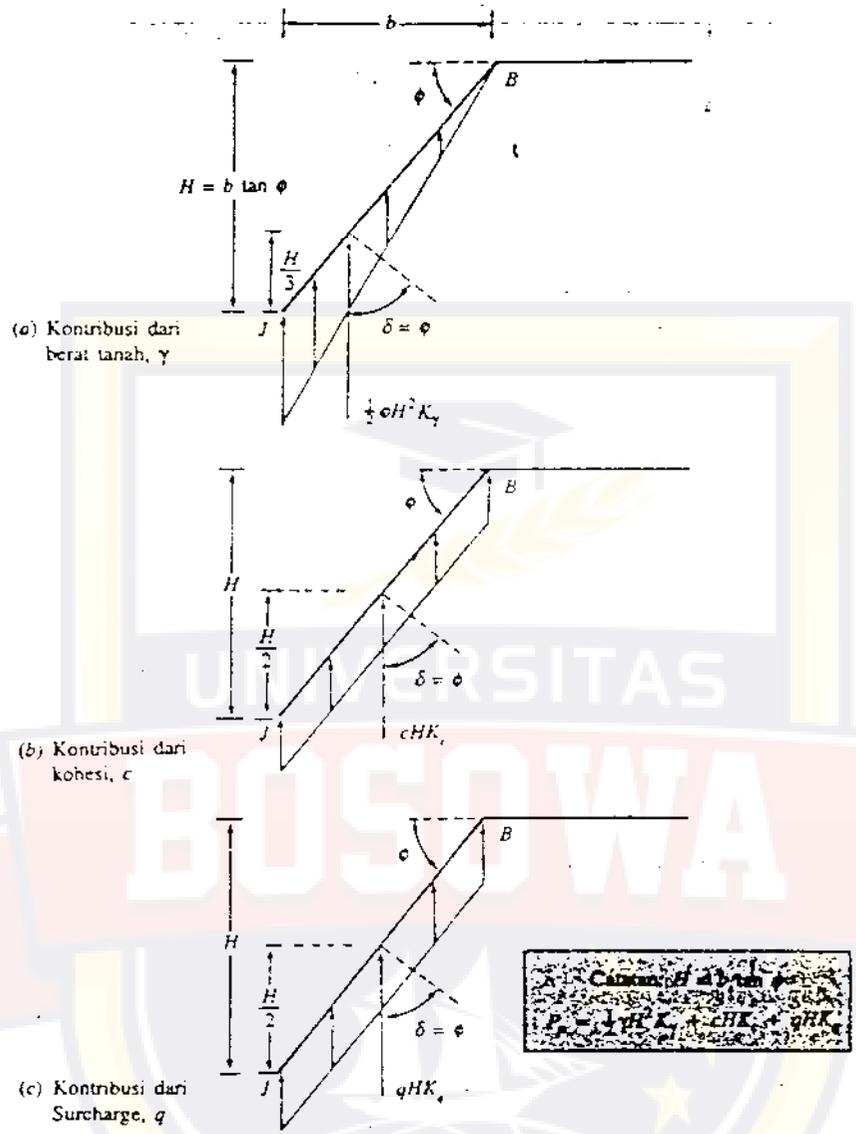
bar pondasi (B). Di samping itu untuk perhitungan daya dukung batas dari tanah, Terzaghi menganggap bahwa berat tanah di sebelah kanan dan kiri pondasi sampai dengan kedalaman dasar pondasi diganti dengan beban terbagi rata (surcharge) $q = \gamma D_f$.

Mekanisme keruntuhan untuk menentukan daya dukung batas tanah (keruntuhan geser menyeluruh) untuk pondasi lajur yang terletak pada kedalaman D_f , menurut asumsi Terzaghi diukur dari permukaan tanah, sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 2.15. Massa tanah ABJ (zona I) adalah zona elastis. Kedua garis AJ dan BJ membentuk sudut ϕ dengan arah horizontal.

Zona II (AJE dan BJD) adalah zona geser radial, dan zona III adalah zona pasif menurut Rankine. Garis-garis keruntuhan JD dan JE merupakan busur spiral logaritmis, DF dan EG adalah garis-garis lurus. AE, BD, EG, dan DF membentuk sudut $45-\phi/2$ dengan arah horizontal. Persamaan logaritmis JD dan JE diberikan sebagai $r = r_0 e^{\phi \tan \phi}$.

Apabila beban per. satuan luas q_u , diletakkan di atas pondasi dan keruntuhan geser menyeluruh terjadi, maka tekanan pasip P_p akan bekerja pada tiap-tiap permukaan massa tanah ABJ. Keadaan ini dipahami apabila kita mengumpamakan bahwa AJ dan BJ adalah dua tembok yang mendorong massa tanah AJEG dan AJDF yang menyebabkan keruntuhan di daerah pasip. P_p seharusnya miring dengan sudut δ (sudut geser antara tembok dengan tanah) terhadap normal dari permukaan bidang AJ, dan BJ. Dalam kasus ini $\delta =$ sudut geser tanah ϕ . Karena AJ dan BJ miring dengan sudut ϕ terhadap horizontal, maka P_p adalah vertikal.

Kita dapat meninjau keseimbangan dari satu satuan panjang pondasi sebagai berikut :



Gambar 2.16 Distribusi gaya pasip pada permukaan tanah BJ.

$$(qu) (2b) (1) = -W + 2C \sin \phi + 2 Pp \dots\dots\dots (2.36)$$

dengan : $b = B/2$

$C = c (b/\cos \phi) =$ gaya kohesi yang bekerja

pada bidang AJ dan BJ, yang besarnya

adalah sama dengan satu satuan kohesi (c)

dikalikan dengan panjang AJ atau BJ.

$$W = \text{Berat massa tanah ABJ} = \gamma b^2 \tan \phi$$

Jadi :

$$2b qu = 2 Pp + 2b c \tan \phi - \gamma b^2 \tan \phi \dots (2.37)$$

Tekanan pasip dalam persamaan 3.37 merupakan kontribusi dari berat tanah (γ), kohesi (C), dan beban luar surcharge (q). Gambar 2.16 menunjukkan pembagian tekanan pasip yang bekerja pada permukaan tanah BJ, sehingga dapat dituliskan bahwa :

$$Pp = 1/2 \gamma (b \tan \phi)^2 K_\gamma + c (b \tan \phi) K_c + q (b \tan \phi) K_q \dots (2.38)$$

dengan K_γ , K_c , K_q adalah koefisien tekanan tanah yang merupakan fungsi dari sudut gesek tanah (ϕ)

Dengan memasukkan persamaan (2.38) ke persamaan persamaan (2.37) kita dapatkan :

2) hal.120

$$2b qu = 2b c [\tan \phi (K_c + 1)] + 2b q [\tan \phi K_q] + b^2 \gamma [\tan \phi (K_\gamma \tan \phi - 1)] \dots (2.39)$$

$$qu = c [\tan \phi (K_c + 1)] + q [\tan \phi K_q] + B/2 [1/2 \tan \phi (K_\gamma \tan \phi - 1)] \dots (2.40)$$

Karena cara untuk mengevaluasi harga K_c , K_q , dan K_γ

adalah sangat rumit, maka Terzaghi menggunakan suatu metode pendekatan untuk menentukan daya dukung batas (q_u), dan prinsip metode pendekatannya diberikan sebagai berikut :

2) h. l. 121

- Apabila kohesi $C = 0$ dan beban luar $q = 0$ (yaitu $D_f = 0$), maka persamaan 3.40 menjadi :

$$\begin{aligned} q_u &= 1/2 \gamma' B \left[1/2 \tan \phi (K_c \tan \phi - 1) \right] \\ &= 1/2 \gamma' B N_\phi \dots\dots\dots (2.41) \end{aligned}$$

- Apabila $\gamma = 0$ dan $q = 0$ persamaan 3.40 menjadi :

$$\begin{aligned} q_u &= q_c = c \tan \phi (K_c + 1) \\ &= C N_c \dots\dots\dots (2.42) \end{aligned}$$

- Apabila $\gamma = 0$ dan $C = 0$, maka

$$\begin{aligned} q_u &= q_q = q (\tan \phi K_q) \\ &= q N_q \dots\dots\dots (2.43) \end{aligned}$$

Dengan cara superposisi, apabila pengaruh berat volume tanah, kohesi dan beban luar (surcharge) diperhitungkan, maka kita peroleh :

$$q_u = C N_c + q N_q + 1/2 \gamma' B N_\phi \dots\dots(2.44)$$

dengan :

$$N_c = \tan \phi (K_c + 1)$$

= Faktor daya dukung akibat kohesi

$$N_q = \tan\phi K_q$$

= faktor daya dukung akibat beban luar

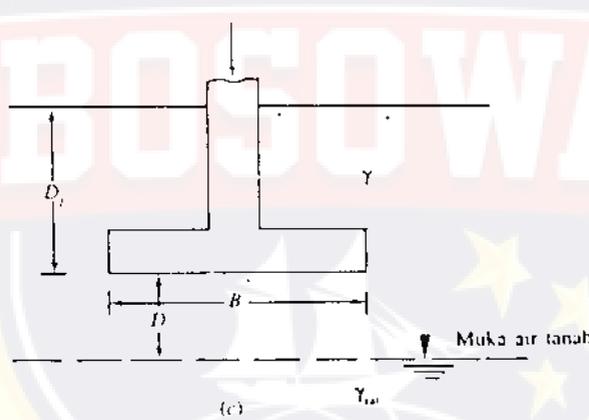
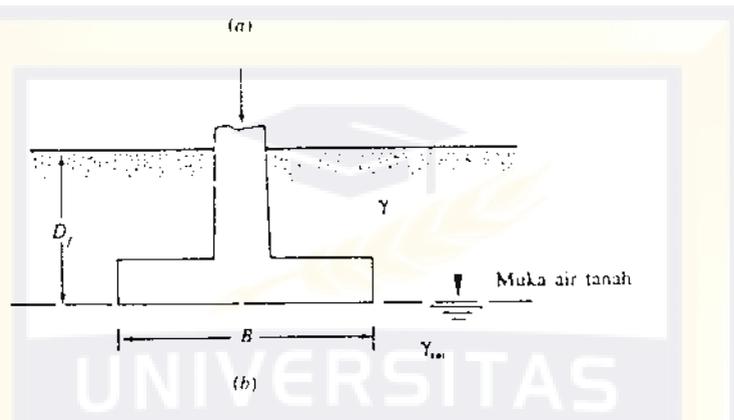
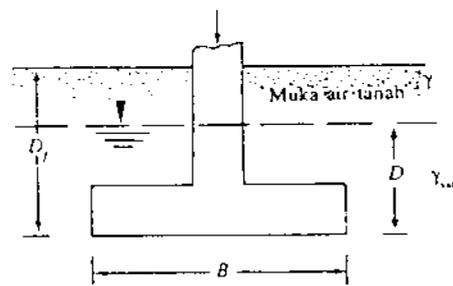
$$N_f = 1/2 \tan\phi (K_f \tan\phi - 1)$$

= Faktor daya dukung akibat berat volume tanah.

Selanjutnya persamaan .43 dikenal sebagai daya dukung batas menurut Terzaghi. Sedangkan parameter-parameter N_c , N_q , N_f , dinamakan faktor daya dukung. Harga faktor daya dukung tersebut dapat dilihat pada gambar 2.14 atau pada tabel 2.1. 2) Hal. 118 - 121.

2.5.4 Pengaruh Permukaan Air Tanah Pada Daya Dukung Tanah

Sejauh ini kita telah membahas persamaan daya dukung tanah yang mengasumsi bahwa permukaan air tanah yang berada pada kedalaman lebih besar dari lebar pondasi B. Namun permukaan air tanah yang berada dekat dengan permukaan tanah, atau berada dekat dengan dasar pondasi cukup berpengaruh terhadap daya dukung tanah yang ada. Kita dapat melihat tiga keadaan yang berbeda mengenai lokasi permukaan air tanah terhadap dasar pondasi seperti ditunjukkan dalam gambar 2.17 sebagai berikut.



Gambar 2.17 lokasi permukaan air tanah terhadap dasar pondasi

Keadaan I (gambar 2.17 a), apabila keadaan muka air tanah terletak pada jarak D di atas dasar pondasi maka harga q pada suku kedua dari persamaan daya dukung di atas harus dihitung sebagai berikut :

2) hal. 123

$$q = \gamma (D_f - D) + \gamma' D \dots\dots (2.45)$$

dengan $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w =$ berat efektif dari tanah basah. Demikian pula berat volume tanah (γ) yang berada pada suku ketiga persamaan daya dukung diganti dengan (γ').

Keadaan II (gambar 2.17 b), apabila permukaan air tanah tepat berada di dasar pondasi, maka (γ) pada suku ketiga dari persamaan daya dukung berubah menjadi (γ').

Keadaan III (gambar 2.17 c), apabila permukaan air tanah terletak pada kedalaman D di bawah dasar pondasi, maka (γ) suku ketiga persamaan daya dukung berubah menjadi ($\gamma_{rata-rata}$).

3) hal. 123-124

Untuk $D \leq B$:

$$\gamma_{rata-rata} = 1/B [\gamma D + \gamma' (B-D)] \dots\dots (2.46a)$$

Untuk $D > B$:

$$\gamma_{rata-rata} = \gamma \dots\dots\dots (2.46b)$$

2) halaman 123-124

Dari uraian di atas dapat disimpulkan daya dukung tanah yang dipengaruhi oleh muka air tanah sebagai berikut :

Muka air tanah di atas dasar pondasi :

- untuk pondasi menerus, persamaan (2.31a) menjadi jadi:

$$\begin{aligned}
 q_u &= C N_c + (\gamma(D_f-D) + \gamma'D) N_q + \frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma \\
 &= C N_c + (\gamma D_f - \gamma D + \gamma'D) N_q + \frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma \\
 &= C N_c + \gamma D_f N_q - \gamma D N_q + \gamma'D N_q + \frac{1}{2} B N_\gamma \\
 &= C N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma + (\gamma' - \gamma) N_q D \\
 &\dots\dots\dots (2.47)
 \end{aligned}$$

- Untuk pondasi segi empat/bujursangkar, analog dengan di atas, persamaan (2.32) menjadi :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0,4 \gamma' B N_\gamma + \\
 &(\gamma' - \gamma) N_q D \dots\dots\dots (2.48)
 \end{aligned}$$

- Untuk pondasi lingkaran, analog dengan di atas maka persamaan (2.33) menjadi :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0,3 \gamma' B N_\gamma + \\
 &(\gamma' - \gamma) N_q D \dots\dots\dots (2.49)
 \end{aligned}$$

Muka air tanah pada dasar pondasi :

- Untuk pondasi menerus, persamaan (2.31a) menjadi jadi :

$$q_u = C N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma' B N_\gamma \dots\dots\dots (2.50)$$

- Untuk pondasi segi empat / bujur sangkar persamaan (2.32) menjadi :

$$q_u = 1,3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0,4 \gamma' B N_f \quad (2.51)$$

- Untuk pondasi lingkaran, persamaan (2.33) menjadi :

$$q_u = 1,3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0,3 \gamma' B N_f \quad (2.52)$$

Muka air tanah di bawah dasar pondasi :

- Untuk pondasi menerus, persamaan (2.31 a) menjadi :

$$\begin{aligned} q_u &= C N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \left[\frac{1}{B} (\gamma D + \gamma' (B - D)) \right] \gamma' B N_f \\ &= C N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \left[\frac{1}{B} (\gamma D + \gamma' B - \gamma' D) \right] \gamma' B N_f \\ &= C N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma D N_f + \frac{1}{2} \gamma' B N_f - \frac{1}{2} \gamma' B N_f \\ &= C N_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma' B N_f + \frac{1}{2} (\gamma - \gamma') N_q D \end{aligned} \quad (2.53)$$

- Untuk pondasi segi empat/bujur sangkar, analog seperti diatas, persamaan (2.32) menjadi :

$$\begin{aligned} q_u &= 1,3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0,4 \gamma' B N_f + \\ &0,4 (\gamma - \gamma') N_q D \quad \dots \dots \dots (2.54) \end{aligned}$$

- Analog dengan di atas, maka untuk pondasi lingkaran, persamaan (2.33) menjadi :

$$q_u = 1,3 C N_c + \gamma D_f N_q + 0,3 \gamma' B N_\gamma + 0,3 (\gamma - \gamma') N_\gamma D \dots\dots\dots (2.55)$$

dimana :

γ = Berat volume tanah (t/m³)

γ' = $\gamma_{sat} - \gamma_w$ = berat volume efektif

γ_{sat} = berat volume jenuh (t/m³)

γ_w = berat volume air (t/m³)

D = Jarak muka air tanah dari dasar pondasi (m)

2.5.5 Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Pondasi

Analisa daya dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang berada di atasnya. Pondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban akibat berat struktur secara langsung ke tanah yang terletak di bawahnya. Perancangan yang seksama diperlukan agar beban pondasi tidak mengakibatkan timbulnya tekanan yang berlebihan pada tanah di bawahnya atau tanah pendukungnya. karena tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan

tekanan yang berlebihan pada tanah di bawahnya atau tanah pendukungnya, karena tekanan tekanan yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan yang besar, bahkan akan mengakibatkan keruntuhan daya dukung yang pada gilirannya dapat menyebabkan pondasi tidak stabil.

Muka air tanah yang terletak dekat dengan permukaan tanah atau dasar pondasi, cukup berpengaruh terhadap kestabilan pondasi. Pada pembahasan ini dibatasi pada kestabilan pondasi dalam arah vertikal, dan dianalisa berdasarkan pada keamanan terhadap keruntuhan daya dukung ultimit netto. Dan untuk itu istilah-istilah berikut ini perlu diketahui :

- Daya dukung ultimit netto (net ultimate bearing capacity) (q_{un}) adalah nilai intensitas beban pondasi netto dimana tanah akan mengalami keruntuhan geser.

5) hal.203

$$q_{un} = q_u - q \quad \dots \dots \dots (2.56)$$

- Tekanan pondasi total (total foundation pressure) (q_0) adalah intensitas tekanan pada tanah di dasar pondasi sesudah struktur selesai dibangun dengan pembebanan penuh.

$$q_0 = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1.57)$$

dimana :

P = Beban kotor pondasi (ton)

A = Luas dasar pondasi (m²)

- Tekanan pondasi neto (net foundation pressure) (qn)

untuk suatu pondasi tertentu adalah tambahan tekanan pada dasar pondasi akibat beban hidup dari strukturnya.

$$q_n = q_0 - q \dots\dots\dots (2.58)$$

- Daya dukung diisinkan (allowable bearing capacity)

(qall) adalah besarnya intensitas beban neto maksimum dengan mempertimbangkan besarnya daya dukung, penurunan dan kemampuan struktur untuk penyesuaian terhadap penurunan tersebut .

- Faktor aman (F) dalam tinjauan daya dukung ultimit neto

didefinisikan sebagai :

$$F = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{q_u - q}{q_0 - q} \dots\dots\dots (2.59)$$

dimana :

q_u = daya dukung ultimit (t/m²)

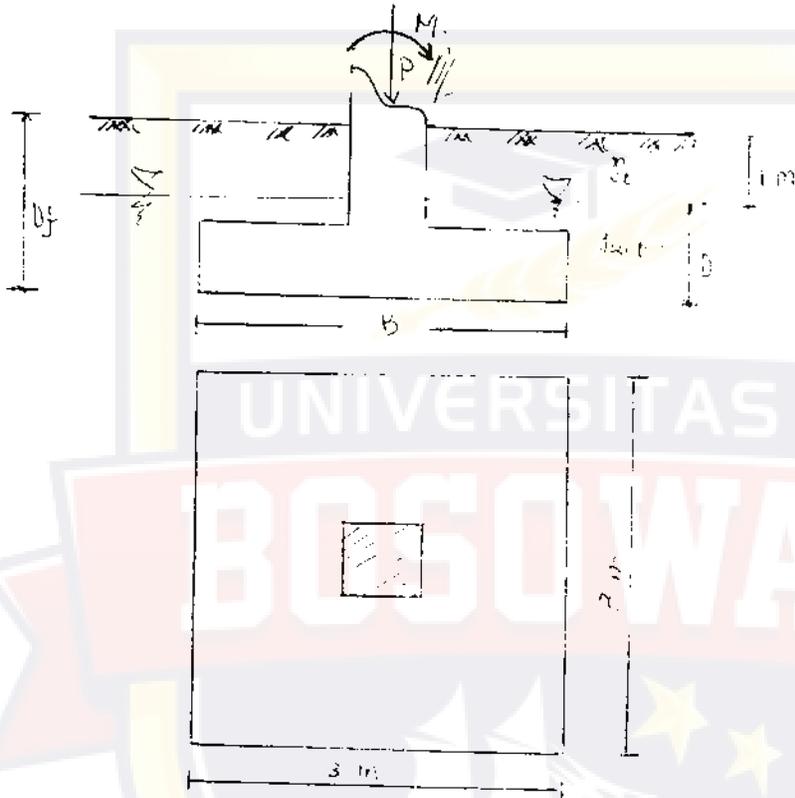
q_{un} = daya dukung ultimit neto (t/m²)

q₀ = tekana pondasi total (t/m²)

q_n = tekanan pondasi neto (t/m²)

q = berat tanah di atas dasar pondasi
(t/m²)

b. Jika pada pondasi tersebut bekerja juga momen (M) = 125 tm, hitung pula stabilitasnya untuk masing-masing kondisi muka air tanah.

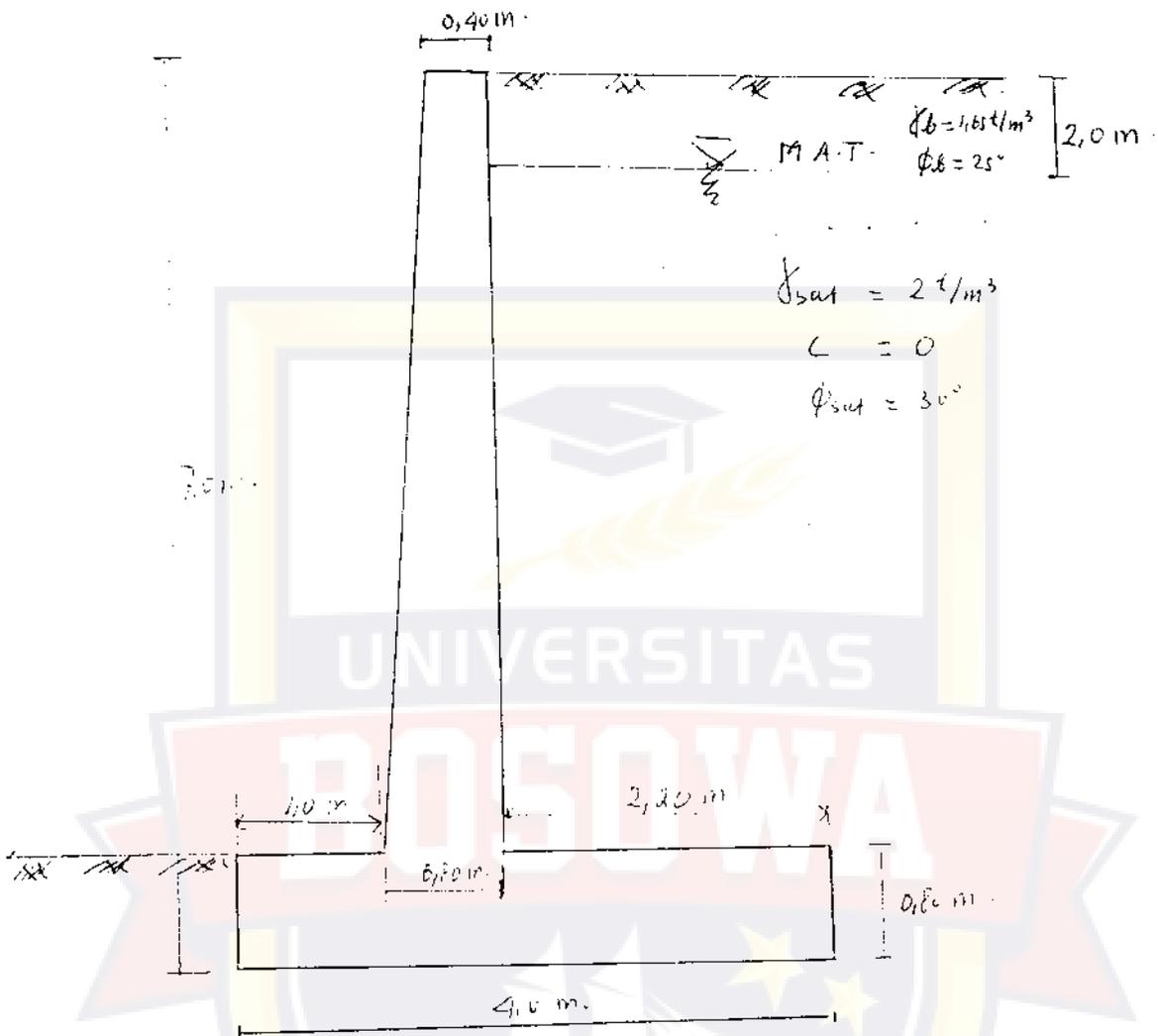


Dosen pembimbing

(Ir. H. M. Rapi Mantahing)

(Ir. Abd. Majid Akkas)

(Ir. Kamaruddin)



Dosen Pembimbing

(Ir. H. M. Rapi Mantahing)

(Ir. Abd. Majid Akkas)

(Ir. Kamaruddin)

3.2 Penyelesaian

3.2.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah Akibat Penurunan Muka Air Tanah.

Faktor daya dukung tanah untuk $\phi = 25^\circ$, dari tabel koefisien daya dukung (tabel 3.1) diperoleh :

$$N_c = 25,1 \quad ; \quad N_q = 12,7 \quad ; \quad N = 9,7$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 1,86 - 1 = 0,86 .$$

- Untuk muka air tanah pada kedalaman 1m di bawah muka tanah (1m di atas dasar pondasi)

$$\begin{aligned} q_u &= 1,3 C N_c + \gamma_b D_f N_q + 0,4 \gamma' B N_\gamma + (\gamma' - \gamma_b) N_q D \\ &= 1,3 \times 1,3 \times 25,1 + 1,72 \times 2 \times 12,7 + \\ &\quad 0,4 \times 0,86 \times 3 \times 9,7 + (0,86 - 1,72) \times 12,7 \times 1 \\ &= 85,20 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

- Muka air tanah pada kedalaman 2m di bawah muka tanah (Pada dasar pondasi)

$$\begin{aligned} q_u &= 1,3 C N_c + \gamma_b D_f N_q + 0,4 \gamma' B N_\gamma \\ &= 1,3 \times 1,3 \times 25,1 + 1,72 \times 2 \times 12,7 + \\ &\quad 0,4 \times 0,86 \times 3 \times 9,7 \\ &= 96,12 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

- Muka air tanah pada kedalaman 3m di bawah muka tanah (1m di bawah dasar pondasi) :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,3 C N_c + \gamma_b D_f N_q + 0,4 \gamma' B N_\gamma + \\
 & 0,4 (\gamma_b - \gamma') N_\gamma D \\
 &= 1,3 \times 1,3 \times 25,1 + 1,72 \times 2 \times 12,7 + \\
 & 0,4 \times 0,86 \times 3 \times 9,7 + 0,4 (1,72 - 0,86) 9,7 \times 1 \\
 &= 99,45 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

- Muka air tanah pada kedalaman 4m di bawah muka tanah (2m di bawah dasar pondasi) :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,3 C N_c + 1,2 D_f N_q + 0,4 \gamma' B N_\gamma + \\
 & 0,4 (\gamma_b - \gamma') N_\gamma D \\
 &= 1,3 \times 1,3 \times 25,1 + 1,72 \times 2 \times 12,7 + \\
 & 0,4 \times 0,86 \times 3 \times 9,7 + 0,4 (1,72 - 0,86) 9,7 \times 2 \\
 &= 102,79 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

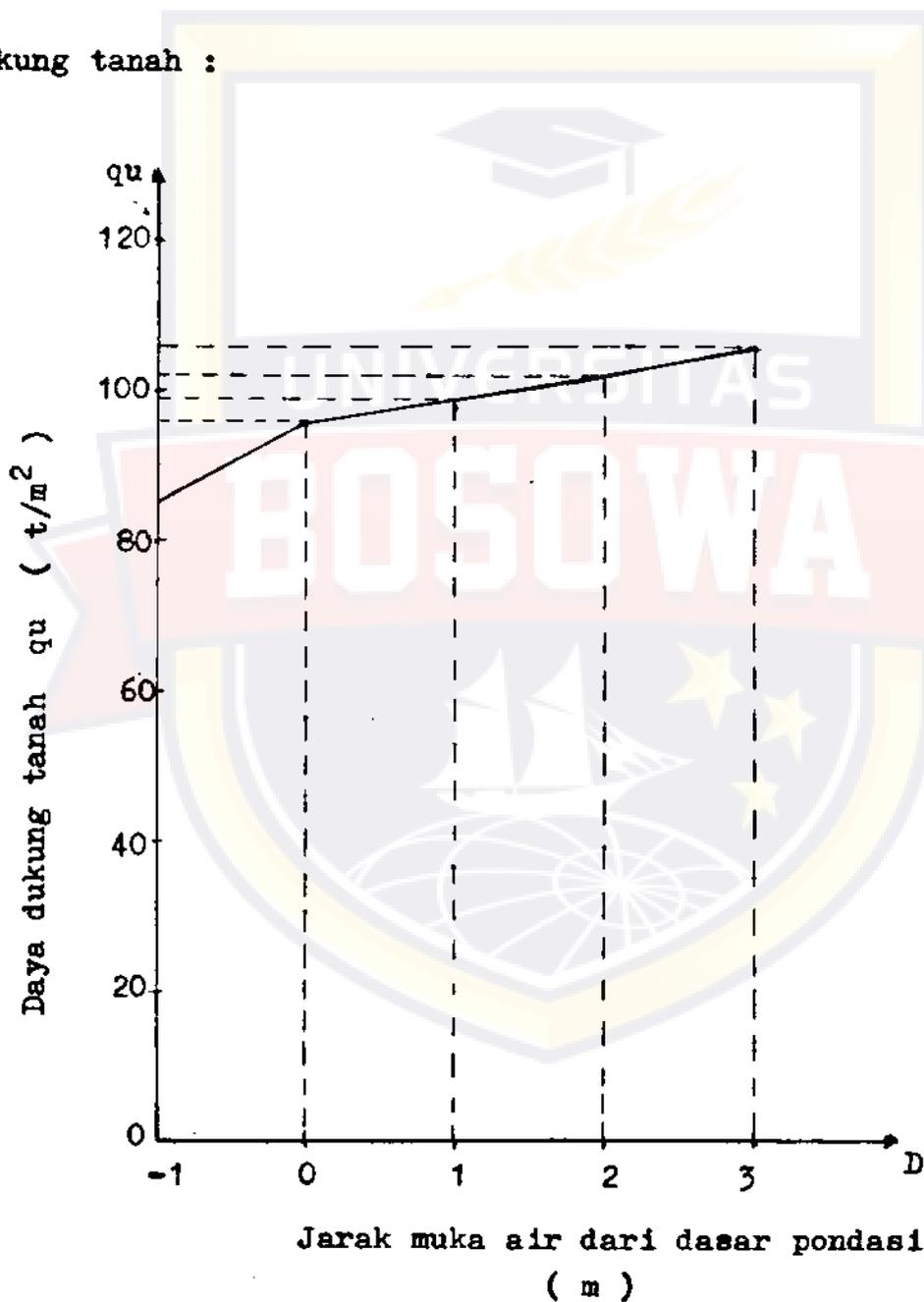
- Muka air tanah pada kedalaman 5m di bawah muka tanah (3m di bawah dasar pondasi)

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,3 C N_c + \gamma_b \cdot D_f \cdot N_q + 0,4 \gamma' B N_\gamma + \\
 & 0,4 (\gamma_b - \gamma') N_\gamma D \\
 &= 1,3 \times 1,3 \times 25,1 + 1,72 \times 2 \times 12,7 + \\
 & 0,4 \times 0,86 \times 3 \times 9,7 + 0,4 (1,72 - 0,86) 9,7 \times 3 \\
 &= 106,13 \text{ t/m}^2.
 \end{aligned}$$

Tabel hasil perhitungan :

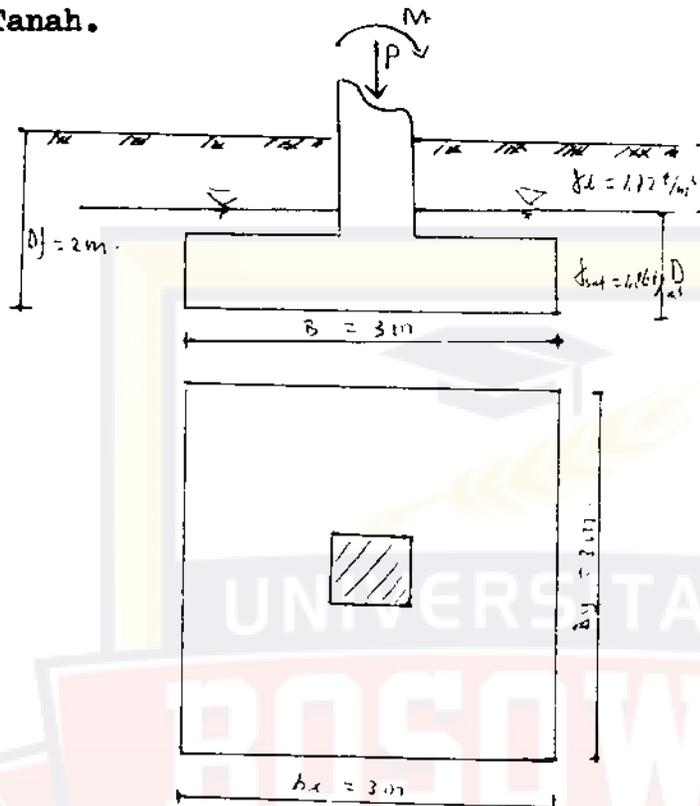
D (m)	-1	0	1	2	3
qu (t/m ²)	85,20	96,12	99,45	102,79	106,13

Grafik hubungan antara penurunan muka air tanah dan daya dukung tanah :



3.2.2 Perhitungan Stabilitas Pondasi Akibat Penurunan Muka Air Tanah.

Tanah.



Kestabilan terhadap guling :

$$d = \frac{P \cdot 1,5 - M}{P} = \frac{270 \cdot 1,5 - 125}{270} = 1,03 \text{ m}$$

$$e = B/2 - d = 3/2 - 1,03 = 0,47 \text{ m}$$

$$e = 0,47 \text{ m} < B/6 = 0,50 \text{ m}$$

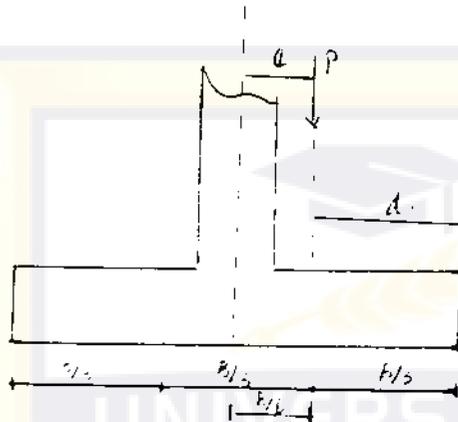
(garis kerja P masih berada pada daerah Kern) pondasi aman.

Kestabilan terhadap penurunan :

$$q = \frac{P}{B_x \cdot B_y} \pm \frac{M}{(1/6) B_x^2 \cdot B_y}$$

$$= \frac{270}{3 \cdot 3} \pm \frac{125}{(1/6) \cdot 3^2 \cdot 3}$$

$$\left. \begin{aligned} q_{\max} &= 30 + 27,78 = 57,78 \text{ t/m}^2. \\ q_{\min} &= 30 - 27,78 = 2,22 \text{ t/m}^2. \end{aligned} \right\} < q_u = 86,20 \text{ t/m}^2.$$



- Kestabilan terhadap geser :

Karena gaya geser yang bekerja pada pondasi merupakan gaya akibat tekanan tanah, maka dalam hal ini gaya geser yang terjadi dianggap saling meniadakan, sehingga tinjauan kestabilan terhadap geser tidak perlu dilakukan dan dianggap pondasi tidak terpengaruh oleh gaya geser.

- Dari perhitungan stabilitas di atas terlihat bahwa faktor air tanah tidak berpengaruh pada perhitungan sehingga perhitungan stabilitas untuk masing-masing penurunan muka air tanah tidak perlu dilakukan.

3.2.3 Perhitungan Faktor Penurunan Akibat Penurunan Muka air Tanah.

Perhitungan didasarkan pada tinjauan terhadap keruntuhan daya dukung ultimit neto.

- Muka air tanah pada kedalaman 1m di bawah muka tanah.

$$q_u = 85,20 \text{ t/m}^2.$$

$$\begin{aligned} q &= \gamma_b (D_f - D) + \gamma' D \\ &= 1,72 (2 - 1) + (1,86 - 1) 1 \\ &= 2,58 \text{ t/m}^2. \end{aligned}$$

$$q_{un} = q_u - q = 85,20 - 2,58 = 82,62 \text{ t/m}^2$$

$$q_o = P/A = 270/(3 \times 3) = 30 \text{ t/m}^2$$

$$q_n = q_o - q = 30 - 2,58 = 27,42 \text{ t/m}^2$$

$$F = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{82,62}{27,42} = 3,01$$

- Muka air tanah pada kedalaman 2m di bawah muka tanah.

Setelah muka air tanah turun, terjadi pengurangan daya angkat ke atas yang memperbesar q_n sebesar $\Delta h \gamma_w$.

$$q_u = 96,12 \text{ t/m}^2.$$

$$q = \gamma_b \cdot D_f = 1,72 \times 2 = 3,44 \text{ t/m}^2.$$

$$q_{un} = q_u - q = 96,12 - 3,44 = 92,68 \text{ t/m}^2.$$

$$q_n = q_o - q + \Delta h \gamma_w = 30 - 3,44 + (1 \times 1) = 27,56 \text{ t/m}^2.$$

$$F = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{92,68}{27,56} = 3,36$$

- Muka air tanah turun 2m (berada 3m di bawah muka tanah).

$$q_u = 99,45 \text{ t/m}^2$$

$$q = \gamma_b \cdot D_f = 1,72 \times 2 = 3,44 \text{ t/m}^2.$$

$$q_{un} = q_u - q = 99,45 - 3,44 = 96,01 \text{ t/m}^2.$$

$$q_n = q_o - q + \Delta h \gamma_w = 30 - 3,44 + (2 \times 1) = 28,56 \text{ t/m}^2.$$

$$F = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{96,01}{28,56} = 3,36$$

- Muka air tanah turun 3m (berada 4m di bawah muka tanah).

$$q_u = 102,79 \text{ t/m}^2.$$

$$q = \gamma_b \cdot D_f = 1,72 \times 2 = 3,44 \text{ t/m}^2.$$

$$q_{un} = q_u - q = 102,79 - 3,44 = 99,35 \text{ t/m}^2.$$

$$q_n = q_o - q + \Delta h \gamma_w = 30 - 3,44 + (3 \times 1) = 29,56 \text{ t/m}^2.$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{q_{un}}{q_n} \\ &= \frac{99,35}{29,56} \\ &= 3,36 \end{aligned}$$

- Muka air tanah turun 4m (berada 5m di bawah muka tanah).

$$q_u = 106,13 \text{ t/m}^2$$

$$q = \gamma_b \cdot D_f = 1,72 \times 2 = 3,44 \text{ t/m}^2.$$

$$q_{un} = q_u - q = 106,13 - 3,44 = 102,69 \text{ t/m}^2.$$

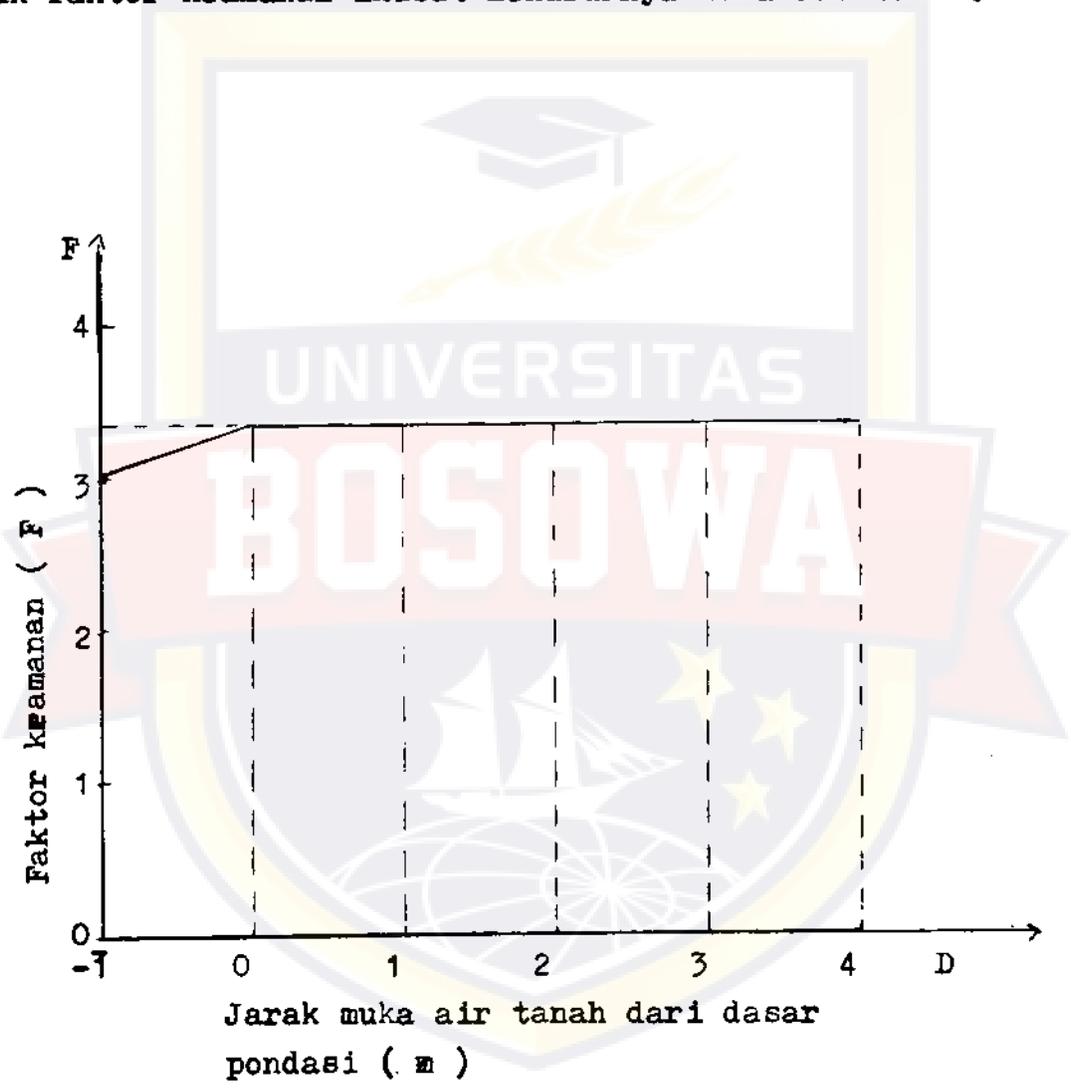
$$q_n = q_o - q + \Delta h \gamma_w = 30 - 3,44 + (4 \times 1) = 30,56 \text{ t/m}^2.$$

$$F = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{102,69}{30,56} = 3,36$$

Tabel hasil perhitungan faktor keamanan.

D (m)	!	-1	!	0	!	1	!	2	!	3	!
F	!	3,01	!	3,36	!	3,36	!	3,36	!	3,36	!

Grafik faktor keamanan akibat menurunnya muka air tanah.



3.2.4 Perhitungan Stabilitas Tembok Penahan Akibat menurunnya Muka Air Tanah.

- perhitungan tekanan-tekanan tanah :

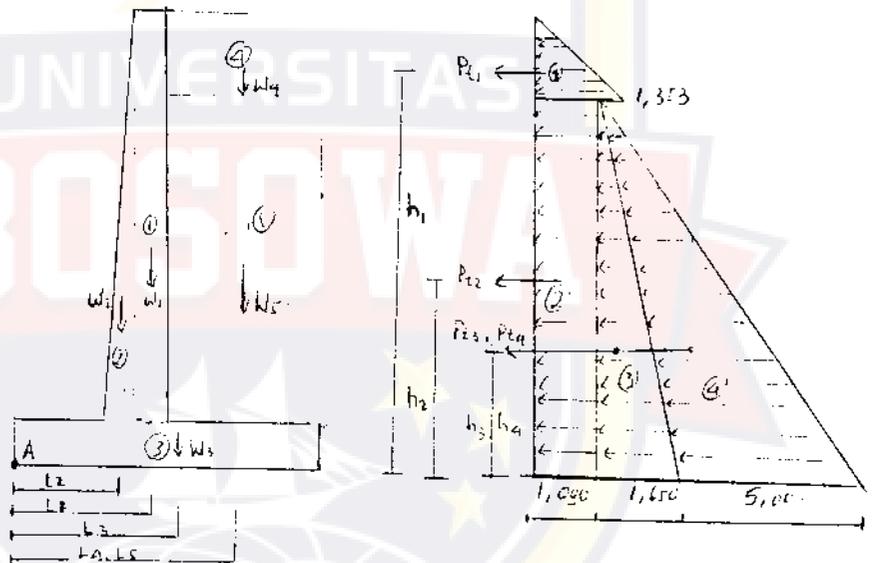
Koefisien tekanan tanah aktif $K_a = \text{tg}^2 (45^\circ - \phi/2)$

untuk $\phi_b = 25^\circ$ $K_a = \text{tg}^2 (45^\circ - 25^\circ/2) = 0,41$

$\phi_{\text{sat}} = 30^\circ$ $K_a = \text{tg}^2 (45^\circ - 30^\circ/2) = 0,33$

Tekanan tanah $P = H \gamma' K_a$

Tekanan tanah total $P_t = \text{luas diagram tekanan tanah (P)}$



No Diagram	Tekanan tanah (P) (t/m ²)	Tekanan Tanah total (Pt) (ton)
1	$2 \times 1,65 \times 0,41 = 1,353$	1,353
2	$2 \times 1,65 \times 0,33 = 1,090$	5,450
3	$5 \times 1,00 \times 0,33 = 1,650$	4,125
4	$5 \times 1,00 = 5,000$	12,500

Gaya irisan akibat tekanan tanah ditinjau terhadap titik A

i	Pti	hi	Pti hi
1.	1,353	5,66	7,667
2.	5,450	2,50	13,625
3.	4,125	1,67	6,875
4.	12,500	1,67	20,833
$\Sigma Pti = 23,428$		$\Sigma Pti hi = 49,00$	

Gaya irisan akibat berat sendiri terhadap titik A

i	Wi	li	Wi.li
1	$0,4 \times 6,2 \times 2,5 = 6,20$	1,60	9,92
2	$0,5 \times 0,4 \times 6,2 \times 2,5 = 3,10$	1,266	3,92
3	$0,8 \times 4,0 \times 2,5 = 8,00$	2,00	16,00
4	$2,2 \times 2,0 \times 1,65 = 7,26$	2,90	21,054
5	$2,2 \times 5,0 \times 2,0 = 22,00$	2,90	63,800
$\Sigma Wi = 46,56$		$\Sigma Wi li = 114,694$	

Analisa Kestabilan :

- Kestabilan terhadap Guling :

$$d = \frac{\Sigma Wi li - \Sigma Pti hi}{\Sigma Wi} = \frac{114,694 - 49,00}{46,56} = 1,41 \text{ m}$$

$$e = B/2 - d = 4/2 - 1,41 = 0,59 \text{ m} < B/6 = 0,67 \text{ m.}$$

- Kestabilan terhadap geser :

koefisien gesek antara dasar tembok dan tanah pondasi

$$\mu = 0,6.$$

$$F_s = \frac{\sum W_i \cdot \mu}{\sum P_{ti}} = \frac{46,56 \cdot 0,6}{23,428} = 1,19$$

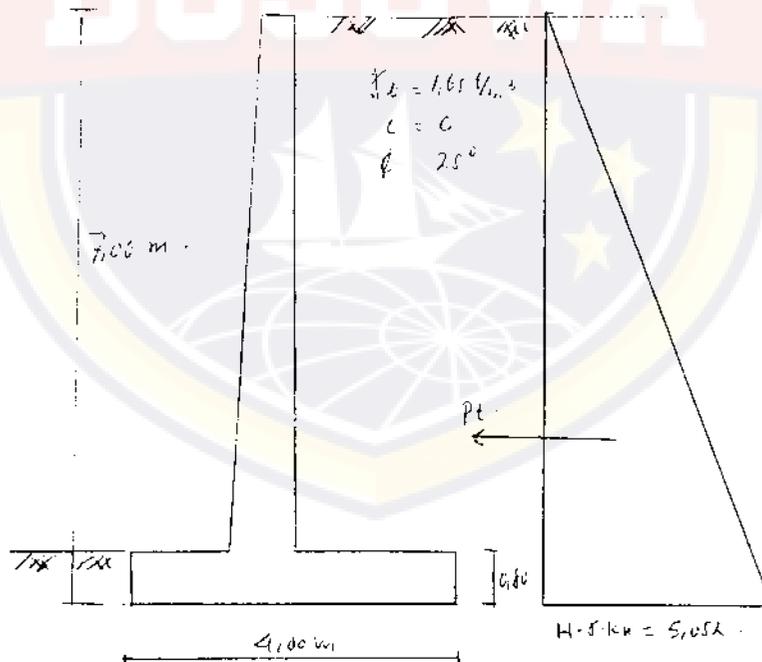
- Kestabilan terhadap daya dukung :

$$q = \frac{\sum W_i}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) = \frac{46,56}{4,0} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,59}{4,0} \right)$$

$$q_1 = 21,94 \text{ t/m}^2$$

$$q_2 = 1,33 \text{ t/m}^2$$

Akibat menurunnya muka air tanah sampai dasar pondasi



$$\text{Tekanan tanah } P = H \cdot K_a = 7 \cdot 1,65 \cdot 0,44 = 5,082 \text{ t/m}^2.$$

$$\text{Tekanan tanah total } P_t = 0,5 \cdot 5,082 \cdot 7 = 17,787 \text{ t}$$

$$\text{Titik tangkap tekanan tanah } h_p = 1/3 \cdot 7 = 2,33 \text{ m}$$

$$\text{Momen guling } M_o = P_t \cdot h_p = 17,787 \cdot 2,33 = 41,503 \text{ tm}$$

Analisa Stabilitas

- Stabilitas terhadap guling :

$$d = \frac{\sum W_i \cdot l_i - M_o}{\sum W_i} = \frac{144,694 - 41,503}{46,56} = 1,57 \text{ m}$$

$$e = B/2 - d = 4/2 - 1,57 = 0,43 \text{ m} < B/6 = 0,67 \text{ m}.$$

- Stabilitas terhadap geser :

$$F_s = \frac{\sum W_i \cdot u}{P_t} = \frac{46,56 \cdot 0,6}{17,787} = 1,57$$

- Stabilitas terhadap daya dukung :

$$q = \frac{\sum W_i}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) = \frac{46,56}{4} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0,43}{4} \right)$$

$$q_1 = 19,15 \text{ t/m}^2$$

$$q_2 = 4,13 \text{ t/m}^2$$

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN - SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari pembahasan-pembahasan dan grafik hubungan antara penurunan muka air tanah dengan daya dukung tanah, serta grafik hubungan antara penurunan muka air tanah dengan faktor keamanan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Semakin jauh tanah semakin kecil daya dukung, dan semakin kering tanah semakin besar daya dukung.
- Tegangan air terhadap daya dukung tanah adalah merupakan daya dukung tanah.
- Pengaruh penurunan muka air tanah dapat meningkatkan tegangan efektif dari tanah.

$$\sigma' = \sigma_v - u$$

- Pengaruh penurunan muka air tanah dapat meningkatkan tegangan geser tanah.

$$\tau = c + (\sigma_v - u) \tan \phi$$

4.2 Saran-saran

- Untuk pembuatan pondasi- pondasi dangkal yang dipengaruhi oleh air tanah, maka perlu diperhatikan secermat mungkin mengenai daya dukung tanah dan kemungkinan penurunan pondasi pada daerah atau tanah tersebut jika terjadi penurun an muka air tanah.
 - Untuk daerah-daerah perkotaan yang sulit untuk mengembali kan air tanah yang keluar secara alami oleh air hujan, maka mungkin dapat dibantu dengan membuat saluran-saluran khusus untuk melewati air ke dalam tanah.
 - Mengingat cukup kompleks permasalahan tanah dan air tanah serta pengaruhnya terhadap pondasi, maka perlu diadakan penelitian secara terus menerus guna membantu memecahkan permasalahan tanah dan air tanah terhadap pondasi.
- Hal ini perlu dilakukan karena permasalahan mengenai tanah dan air tanah yang berada dibawah permukaan tanah adalah suatu fenomena alam yang bersifat rahasia, dan belum dapat dijangkau secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Braja M. Das ; Noor Endah ; Indrasurya B. Mochtar.
Mekanika Tanah , Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis,
jilid 1, Cetakan Kedua, Erlangga, 1991.
2. Braja M. Das ; Noor Endah ; Indrasurya B. Mochtar.
Mekanika Tanah , Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis ,
Jilid 2, Cetakan Pertama, Erlangga, 1994
3. Boules Joseph E. Analisis Dan Disain Pondasi, Jilid 1,
Edisi Kedua, Erlangga, 1992.
4. Hary Christady Hardiyatmo. Mekanika Tanah 1 ,
PT. Gramedia Pustaka, Jakarta, 1992.
5. Hary Christady Hardiyatmo. Mekanika Tanah 2 ,
PT. Gramedia Pustaka , Jakarta, 1994.
6. Iman Subarkah, Ir. Bangunan Air , Cetakan Ketiga ,
Idea Dharma , Bandung, 1979.
7. Joice Martha W. Ir. ; Wanny Adidarma, Ir. Dipl. H.
Mengenal Dasar-dasar Hidrologi , Nova.
8. Suyono Sosrodarsono, DR, Ir., dan Kazuto Nakazawa,
Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi,, PT. Pradya Paramita,
Jakarta.
9. Terzaghi, Karl ; Peck B. Ralph , Mekanika Tanah Dalam
Praktek Rekayasa , Jilid 1 , Edisi Kedua , Erlangga, 1987
10. Terzaghi, Karl ; Peck B. Ralph , Mekanika Tanah Dalam
Praktek Rekayasa , Jilid 2 , Edisi Kedua , Erlangga , 1987
11. Verhoef, P. N. W., Geologi Untuk Teknik Sipil , Erlangga,
1992.

13. Colijn P.J dan Potma J.Ir., Ilmu Mekanika Tanah
H.STAM , Jakarta.
14. Bouwer Herman, Groudwater Hydrology, McGraw-Hill
Kogakusha, LTD.
15. Linsley K.Roy; Kohler A.Max ; Paulhus L.H. Yoseph,
Hidrologi Untuk Insinyur.

