

TUGAS AKHIR

**SISTEM PENAHAN TANAH
UNTUK BANGUNAN GEDUNG
DENGAN MENGGUNAKAN DINDING DIAFRAGMA**



DISUSUN OLEH :

Nama : Sri Susanti
No. Mhs : 91 310 122
NIRM/NIMKO : 910051013114120117

Nama : Teresna Asih
No. Mhs : 91 310 228
NIRM/NIMKO : 910051013114120222

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1997

TUGAS AKHIR

**SISTEM PENAHAN TANAH
UNTUK BANGUNAN GEDUNG
DENGAN MENGGUNAKAN DINDING DIAFRAGMA**

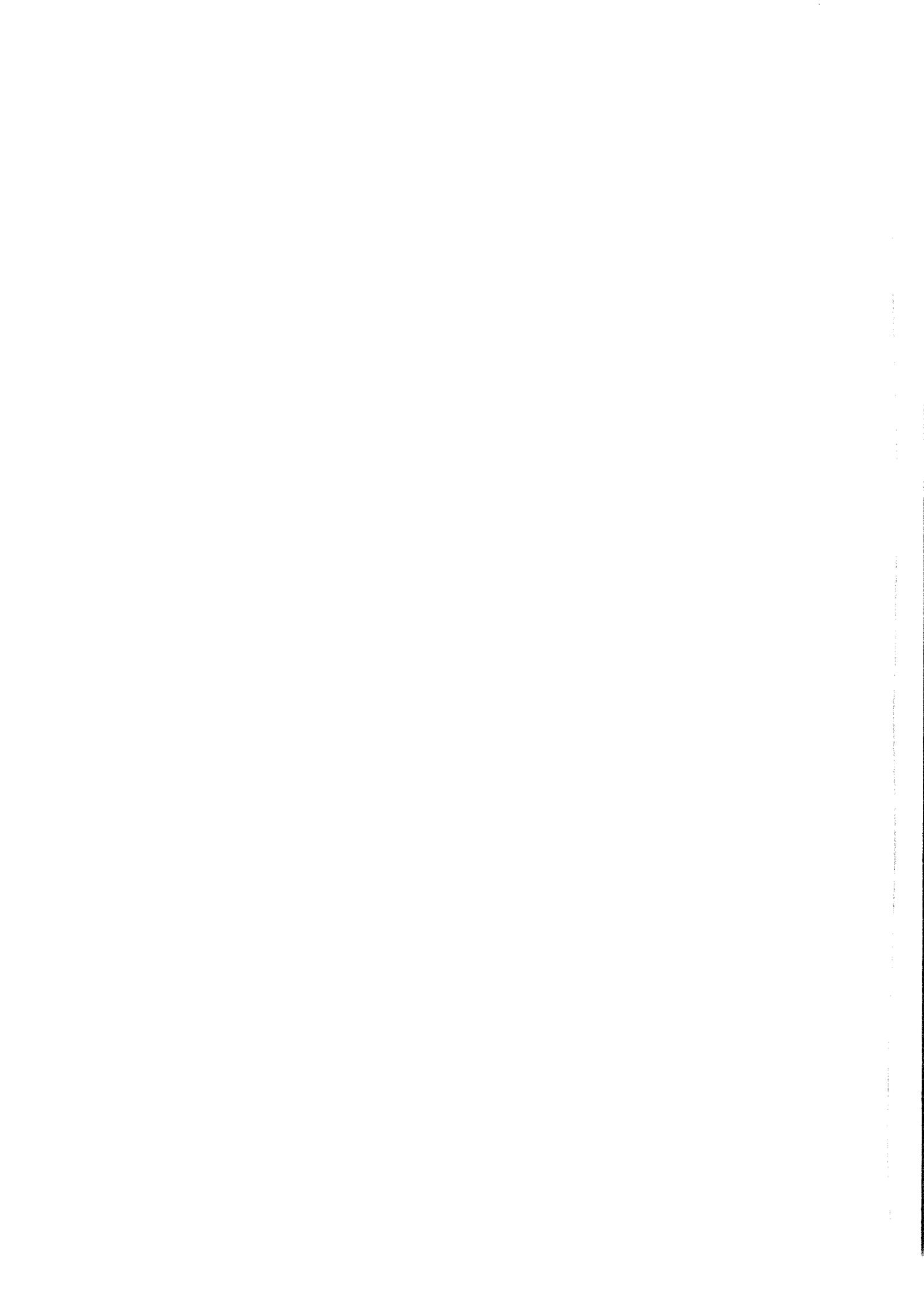
Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia

DISUSUN OLEH :

Nama : Sri Susanti
No. Mhs : 91 310 122
NIRM/NIMKO : 910051013114120117

Nama : Teresna Asih
No. Mhs : 91 310 228
NIRM/NIMKO : 910051013114120222

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1997



KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya yang telah dilimpahkan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Tugas Akhir ini merupakan tugas terakhir guna memperoleh derajat kesarjanaan teknik sipil pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan bimbingan baik moril maupun materiil dalam menyelesaikan tugas akhir ini terutama kepada:

1. Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, dan sebagai Dosen Pembimbing I.
2. Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku Dosen Pembimbing II.
4. Mr. Tan, selaku General Manager PT. ACSET INDONUSA, pada Proyek Menara Merdeka Jakarta.
5. Ir. Sanusi dan staff PT. ACSET INDONUSA, pada Proyek Menara Merdeka Jakarta.
6. Rekan-rekan di asrama Raflesia (Eka, Titin, Isep, Dyah).
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Dan yang paling utama kepada Ayah, Ibu, Kakak dan Adik tercinta, yang selalu memberikan doa dan dorongan kepada kami.

Kami menyadari karena kemampuan, waktu, sarana, dan data penunjang yang terbatas, maka tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu dengan hati terbuka kami mengharap saran dan kritik yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini.

Harapan kami semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca umumnya dan khususnya bagi kami.

Wassalamu 'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Desember 1996

Penulis

Susan dan Teresna

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
INTISARI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan	2
1.3. Permasalahan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Batasan Masalah	3
1.7. Sistematika Pembahasan	3

BAB II DINDING DIAFRAGMA

2.1. Pengertian.....	5
2.2. Penggunaan	5
2.3. Bahan Pendukung	7
2.3.1. Slurry Bentonit	7
2.3.2. Beton	16
2.3.3. Tulangan	19
2.3.4. Guide Wall	19
2.4. Sifat Dinding Diafragma.....	20

BAB III DASAR-DASAR PERENCANAAN

3.1. Stabilitas Parit.....	23
3.1.1. Tanah Kohesif	24
3.1.2. Parit Terisi Slurry	25
3.2. Tekanan Tanah	29
3.2.1. Kondisi Diam	29
3.2.2. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif	30
3.3. Tekanan Teori Coulomb	32
3.4. Tekanan Teori Rankine	37
3.5. Gaya Vertikal	40
3.6. Analisa Gaya	40
3.6.1. Sheet Pile Tanah Butiran	41
3.6.2. Sheet Pile Tanah Kohesif	42
3.6.3. Dinding Dengan Ground Anchor	44

3.7.	Daya Dukung Vertikal	45
3.7.1.	Daya dukung Selubung	46
3.7.2.	Daya dukung Dasar	46
3.8.	Tinjauan Keamanan	47
3.8.1.	Stabilitas Geser	47
3.8.2.	Stabilitas Guling	47
3.8.3.	Daya dukung	48

BAB IV ANALISA PERHITUNGAN

4.1.	Data Tanah	49
4.2.	Pembahasan	50
4.2.1.	Stabilitas Parit	50
4.2.2.	Tekanan Tanah Aktif dan Pasif	52
4.2.3.	Perhitungan Momen	58
4.2.4.	Penulangan Dinding	64
4.2.5.	Daya Dukung Vertikal	67
4.2.6.	Tinjauan Kestabilan	68

BAB V PELAKSANAAN PEKERJAAN

5.1.	Pelaksanaan Awal	70
5.1.1.	Site Clearing	71
5.1.2.	Setting Out	72
5.1.3.	Guide Wall Excavation	73
5.1.4.	Fixing of Steel Bars	74
5.1.5.	Fixing of Formwork	75

5.1.6. Concreting dan Curing	76
5.1.7. Formwork Dismanting and Guide Wall Strutting	76
5.2. Pelaksanaan Dinding Diafragma	78
5.2.1. Preparation of Steel Fabrication Yard	80
5.2.2. Mobilization of Machineries	82
5.2.3. Slurry Mixing	83
5.2.4. Panel Excavation	84
5.2.5. Steel Cage Instalation	86
5.2.6. Concreting	88
5.3. Pekerjaan Akhir	90

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	96
6.2. Saran	97

PENUTUP

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

A	=	luas tulangan
Ab	=	luas dasar
b	=	lebar panel
c	=	kohesi tanah
Fb	=	faktor keamanan daya dukung selubung
Fs	=	angka keamanan daya dukung dasar
Fc	=	angka keamanan terhadap kohesi
F ϕ	=	angka keamanan terhadap geseran
f	=	koefisien gesek
H	=	tinggi parit
Hcr	=	tinggi kritis
h	=	tinggi manfaat
ht	=	tebal panel
Ka	=	koefisien tanah aktif
Kp	=	koefisien tanah pasif
Ko	=	koefisien tanah keadaan diam (at rest)
L	=	panjang panel
n	=	angka ekivalensi

Nc	=	faktor daya dukung
Nq	=	faktor daya dukung
OCR	=	rasio dari overconsolidation
P	=	gaya
PI	=	indeks plastis
Pa	=	gaya aktif
Pp	=	gaya pasif
Pu	=	gaya ultimit
Pb	=	daya dukung ultimit dasar
Ps	=	daya dukung ultimit selubung
Pw	=	daya dukung vertikal
Pf	=	gaya hidrostatis
R	=	gaya
r	=	jari-jari kelongsoran
S	=	keliling efektif
Su	=	beban merata permukaan
W	=	berat
x	=	jarak horisontal tulangan
z	=	jarak vertikal
α	=	kemiringan back fill arah horisontal
α'	=	$\alpha + \beta$
β	=	sudut
	=	$\tan^{-1} \{(Kh)/(1-Kv)\}$

δ	=	sudut geser tanah dengan tembok
θ	=	sudut kemiringan dari muka tembok belakang arah vertikal
σ	=	tegangan normal
σ_v	=	tegangan arah vertikal
τ	=	kuat geser tanah
τ'	=	kuat geser tanah efektif
ϕ	=	sudut geser dalam
ϕ'	=	sudut geser dalam efektif

DAFTAR TABEL

- 2.1. Hubungan antara jenis tanah dan kecenderungan untuk runtuh pada keadaan kering
- 2.2. Hubungan antara jenis tanah dan kecenderungan untuk runtuh pada keadaan basah
- 2.3. Hubungan berat jenis dengan sifat larutan

DAFTAR GAMBAR

- 2.1. Pembentukan tahu lumpur
- 2.2. Kehilangan slurry dalam parit
- 2.3. Metode pencoran
- 3.1. Tekanan tanah aktif pada tanah kohesif
- 3.2. Stabilitas parit pada pasir
- 3.3. Ilustrasi konsep kesetimbangan elastis dan plastis
- 3.4. Gambaran tekanan aktif dan pasif dengan jangkauan perubahan harga biasa
- 3.5. Tekanan gaya aktif menurut Coulomb
- 3.6. Tekanan gaya pasif menurut Coulomb
- 3.7. Tekanan tanah aktif menurut Rankine
- 3.8. Tekanan tanah pasif menurut Rankine
- 3.9. Analisa gaya
- 3.10. Diagram tekanan tanah pada tanah non kohesif
- 3.11. Diagram gaya dinding pada tanah kohesif
- 3.12. Diagram tekanan tanah lateral dari Tschebotarioff (1973)
- 4.1. Potongan melintang parit
- 4.2. Detail lapisan tanah
- 4.3. Diagram tekanan tanah
- 4.4. Diagram tekanan gaya
- 4.5. Diagram perhitungan momen dengan ground anchor
- 4.6. Panjang ground anchor yang diperlukan

- 4.7. Perhitungan momen pada ground anchor
- 5.1. Bagan pelaksanaan pembuatan guide wall
- 5.2. Site clearing
- 5.3. Pencoran access road
- 5.4. Penggalian dinding pengarah
- 5.5. Pemasangan tulangan dinding pengarah
- 5.6. Pemasangan bekisting guide wall
- 5.7. Plat form guide wall
- 5.8. Hasil pembongkaran bekisting guide wall
- 5.9. Bagan pelaksanaan dinding diafragma
- 5.10. End plate
- 5.11. Starter bar
- 5.12. Larutan penstabil
- 5.13. Tes viskositas
- 5.14. Penggalian panel
- 5.15. Pengelasan saat penyambungan panel
- 5.16. Pemasangan panel
- 5.17. Pemasangan pipa tremie
- 5.18. Pencoran
- 5.19. Hasil akhir dinding diafragma sebelum penggalian
- 5.20. Hasil akhir dinding diafragma setelah penggalian
- 5.21. Tahapan pemasangan ground anchor

DAFTAR LAMPIRAN

1. Tabel K_a dan K_p Coulomb
2. Data tanah
3. Grafik daya dukung

INTISARI

Dinding diafragma didefinisikan sebagai selaput beton bertulang yang relatif tipis dicor kedalam suatu parit, dengan sisi-sisi parit tersebut sebelum dicor didukung oleh tekanan hidrostatis dari air yang dicampur dengan bentonit, yang merupakan membran buatan dengan suatu ketebalan dan kedalaman tertentu, dan dibuat menerus didalam tanah dengan pelaksanaan pembuatannya dilakukan dari permukaan tanah asli dan sebelum penggalian ruang bawah tanah dimulai.

Sebagai dinding penahan tanah, dinding diafragma digunakan dalam berbagai situasi, diantaranya yaitu “basement” yang dalam, “shaft” pembuka untuk pekerjaan-pekerjaan bawah tanah, ruang penyimpan di bawah tanah, dan terowongan.

Sebagai penyekat kedap air, dinding diafragma digunakan untuk mengontrol aliran air tanah misalnya dibawah bendungan, disekeliling reservoir, dan penggalian yang dalam dibawah permukaan air tanah.

Pelaksanaannya dimulai dengan penggalian lubang berbentuk persegi panjang yang disebut parit sampai kedalaman tertentu dan pada saat penggalian dialirkan suatu cairan penstabil untuk menahan keruntuhan sisi parit.

TUGAS AKHIR
SISTEM PENAHAN TANAH
UNTUK BANGUNAN GEDUNG
DENGAN MENGGUNAKAN DINDING DIAFRAGMA

DISUSUN OLEH :

Nama : Sri Susanti
No. Mhs : 91 310 122
NIRM/NIMKO : 910051013114120117

Nama : Teresna Asih
No. Mhs : 91 310 228
NIRM/NIMKO : 910051013114120222

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Susastrawan, MS.

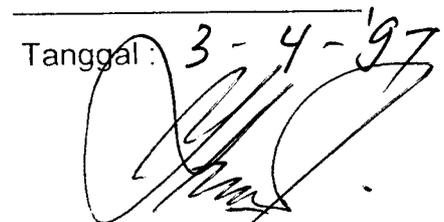
Dosen Pembimbing I

Ir. Ilman Noor, MSCE

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 3 - 4 - '97



Tanggal : 28 - 3 - 97

*“Barangsiapa yang diberi petunjuk oleh Allah,
maka dialah yang mendapat petunjuk.
Dan barangsiapa yang disesatkan Allah,
merekalah orang-orang yang merugi”
(Q.S Al A'raf :178)*

*Pena adalah pohon dan buahnya
adalah tulisan.
Akal pikiran adalah lautan dan mutiaranya
adalah hikmah kebijaksanaan.
(pepatah)*

*Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk
Ayah, Ibu, Kakak dan Adik tercinta*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pembangunan di Indonesia mengalami kemajuan yang sangat pesat, baik perkembangan fisik maupun non fisik. Pembangunan fisik diantaranya adalah pembangunan jalan, irigasi, dan gedung. Pembangunan gedung adalah untuk mengantisipasi berkembangnya kebutuhan akan ruang kerja sebagai penunjang pelaksanaan suatu pekerjaan.

Pada pembangunan gedung khususnya di kota besar misalnya Jakarta, tersedianya lahan sangat terbatas, sedangkan kebutuhan gedung baik sebagai pertokoan, perkantoran, pendidikan, dan rumah sakit terus bertambah. Dengan melihat kondisi seperti itu maka gedung-gedung tidak lagi dibangun ke arah horizontal, tetapi ke arah vertikal, baik ke atas maupun ke bawah.

Untuk pembangunan ke bawah, kendala yang penting untuk diperhitungkan adalah adanya tekanan tanah dan tekanan air. Cara yang dapat digunakan untuk mengatasi adanya tekanan air dan tekanan tanah tersebut salah satunya adalah dengan menggunakan sistem dinding diafragma. Sistem ini dapat langsung digunakan sebagai struktur permanen, yang berfungsi sebagai dinding "basement".

1.2. MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari penulisan ini adalah untuk menjelaskan teori, perhitungan, dan cara pelaksanaan dari dinding diafragma sebagai struktur dinding “basement”. Sedangkan tujuannya adalah untuk mengetahui dan memahami dinding diafragma sebagai struktur bangunan penahan tanah.

1.3. PERMASALAHAN

Metode penggunaan dinding diafragma mengalami kepesatan sejalan dengan kebutuhan akan gedung bertingkat dengan bangunan “basement”-nya di kota besar seperti Jakarta yang mempunyai karakteristik keterbatasan areal tanah, tetapi karena penggunaan dari dinding diafragma sebagai dinding “basement” belum dikenal secara luas maka pada penulisan ini akan dicoba untuk dikaji dan dijelaskan.

1.4. MANFAAT

Manfaat dari penulisan ini adalah untuk menjabarkan sebagian kecil kemajuan ilmu Teknik Sipil dan memberikan gambaran tentang aspek teknis dari sebuah penunjang struktur yang berupa dinding diafragma. Manfaat dari dinding diafragma itu sendiri adalah sebagai struktur penahan tekanan tanah dan tekanan air.

1.5. METODOLOGI

Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dengan cara “study literature” dan melihat langsung cara pelaksanaan pekerjaan pada proyek Menara Merdeka Jalan Thamrin

Jakarta, hal-hal lain yang berhubungan dengan materi pembahasan diambil dari berbagai buku “literature” dan tulisan ilmiah dari majalah.

1.6. BATASAN MASALAH

Pada penulisan ini akan dikaji hal-hal sebagai berikut ini.

1. Teori, yang membahas tentang dinding diafragma secara umum, menyangkut arti, penggunaan dinding diafragma sebagai dinding penahan tanah, yang dipersempit sebagai dinding “basement” bangunan gedung , serta bahan-bahan yang digunakan.
2. Analisa perhitungan, digunakan perhitungan secara konvensional dengan berdasarkan pada teori Rankine dan teori Coulomb. Pembangunan struktur utama menggunakan sistem “bottom up” dan metode “free earth support” sebagai analisa dindingnya, tanpa memperhitungkan pengaruh gempa.
3. Struktur dindingnya menggunakan tulangan baja yang ukurannya disesuaikan dengan hasil perhitungan .

1.7. SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Sistem pembahasan dari penulisan ini adalah sebagai berikut.

- BAB I** : Menguraikan tentang latar belakang, maksud dan tujuan, manfaat, permasalahan, dan sistematika pembahasan.
- BAB II** : Menguraikan dinding diafragma secara umum, mengenai arti, penggunaan dinding diafragma sebagai penunjang struktur

bangunan, serta menjelaskan bahan pendukungnya yaitu “slurry bentonite”.

- BAB III** : Menguraikan tentang perencanaan penggunaan dinding diafragma, mulai dari penerapan teori sampai dengan rumus-rumus yang dipergunakan.
- BAB IV** : Menguraikan tentang perhitungan.
- BAB V** : Menguraikan tentang sistem atau tata cara pelaksanaan dinding diafragma, mulai dari penggalian sampai dengan pengecoran.
- BAB VI** : Kesimpulan dan Saran

BAB II

DINDING DIAFRAGMA

2.1. PENGERTIAN

Dinding diafragma didefinisikan sebagai selaput beton bertulang yang relatif tipis yang dicor ke dalam suatu parit, dengan sisi-sisi parit tersebut sebelum dicor didukung oleh tekanan hidrostatik dari air yang dicampur dengan bentonit.(R.F. Craig), yang merupakan suatu membran buatan dengan suatu ketebalan dan kedalaman tertentu (Wiratman Wangsadinata), dan dibuat menerus di dalam tanah, dengan pelaksanaan pembuatannya dilakukan dari permukaan tanah asli dan sebelum penggalian ruang bawah tanah dimulai (Gouw Tjie-Liong).

2.2. PENGGUNAAN

Dinding diafragma merupakan suatu struktur bawah tanah yang dapat digunakan untuk pembuatan ruang bawah tanah, jalan bawah tanah, stasiun bawah tanah, dan lain-lain. Apabila digunakan sebagai ruang bawah tanah pada gedung maka dinding diafragma ini dapat berfungsi sebagai dinding penahan tanah sekaligus sebagai dinding “basement”.

Fungsi utama dari dinding diafragma adalah sebagai berikut ini.

1. Memikul tekanan tanah dan tekanan hidrostatis horisontal yang besar termasuk pada waktu gempa.
2. Memikul paling tidak sebagian dari beban vertikal tetap (beban gravitasi).
3. Menutup lapisan-lapisan pembawa air sehingga mencegah mengalirnya air tanah ke dalam galian.

Pada pekerjaan pembuatan dinding diafragma dikenal dua macam sistem, yaitu:

1. "The Continuous Bored Pile Diaphragm", yaitu dinding dengan tiang beruntun yang dapat berfungsi sebagai pondasi maupun sebagai dinding diafragma.
2. "Mud Filled Bored Hole", yaitu dinding diafragma yang diisi dengan lumpur beton.

(Pada penulisan ini hanya akan dibahas sistem ke-2.)

Penggunaan pertama dinding diafragma ini muncul pada tahun 1959, yaitu pada pembuatan bendungan "Santa Maria" di Dolomites, Italia. Kemudian setelah itu mulai digunakan untuk "basement" bangunan gedung.

Contoh bangunan gedung di Indonesia yang menggunakan dinding penahan tanah diafragma adalah Menara Merdeka yang terletak di Jl. Thamrin, Jakarta.

Kegunaan lainnya dari dinding diafragma selain sebagai dinding "basement" adalah sebagai berikut :

1. jalan bawah tanah
2. terowongan
3. dermaga
4. instalasi air
5. Bendungan, dan lain-lain

2.3. BAHAN-BAHAN PENDUKUNG

Pembuatan dinding diafragma membutuhkan berbagai macam bahan selain tulangan dan beton, yang paling khusus dari dinding diafragma ini adalah digunakannya “slurry bentonite”, sehingga dinding ini disebut juga dinding “slurry” atau “slurry wall”. Disini akan dijelaskan mengenai bahan-bahan pendukung dinding diafragma.

2.3.1. Slurry Bentonite

1. Pengertian Umum

“Slurry bentonite” atau lumpur bentonit merupakan salah satu bahan yang digunakan pada pembuatan dinding diafragma. “Slurry bentonite” digunakan untuk menahan dinding galian agar tetap stabil, karena dengan adanya tekanan hidrostatis dari “slurry”, maka kerontokan dari butiran tanah dan keruntuhan dinding dapat diatasi. Oleh karena itu “slurry bentonite” dapat dikatakan sebagai “stabilizing solution”. Pada pembuatan dinding diafragma selama tahap penggalian tanah dilaksanakan, “slurry” dialirkan ke dalam parit untuk menggantikan posisi tanah.

2. Slurry Bentonite dan Hubungannya dengan Dinding Diafragma

Diatas muka air tanah kohesif, suatu lubang dapat bertahan untuk tidak longsor dengan adanya kekuatan geser dari tanah tersebut. Kohesif yang kecilpun sudah cukup untuk menimbulkan gaya-gaya gesek di antara butir-butir tanah yang dapat mempertahankan butir-butir itu untuk tidak terlepas satu sama lainnya, sedangkan pada tanah non kohesif (misalnya pasir dan kerikil), jatuhnya satu butir tanah memacu butir-

butir lainnya untuk terlepas dan mengakibatkan longsohnya seluruh dinding lubang tersebut.

Di bawah muka air tanah bekerja gaya-gaya yang sama seperti di atas muka air tanah, hanya disini terdapat gaya aliran air yang arahnya masuk ke dalam lubang atau ke luar dari lubang. Apabila air mengalir ke dalam lubang, butiran tanah akan terbawa oleh aliran, jika kekuatan kohesif tanah tidak mampu menahannya. Setelah permukaan di dalam lubang naik dan mencapai muka air tanah, gaya aliran berhenti bekerja dan keadaannya sama seperti pada tanah yang kering di atas muka air tanah, kecuali butir tanah sekarang mengalami gaya angkat karena butir tanah itu terendam air. Apabila lubang berisi air sedemikian rupa sehingga muka air di dalam lubang lebih tinggi dari muka air tanah, maka aliran air yang terjadi adalah untuk mempertahankan butir-butir tanah supaya tidak jatuh sehingga dapat memantapkan dinding lubang.

Dari uraian di atas dapat dikemukakan bahwa mempertahankan dinding lubang agar tidak longsor selama proses pemboran atau penggalian dapat dilakukan dengan mengisi lubang tersebut dengan air sedemikian rupa, sehingga air di dalam lubang selalu berada di atas muka air tanah. Selanjutnya lubang atau parit tersebut dapat dibiarkan terbuka untuk jangka waktu yang tidak terbatas, asalkan selama itu muka air di dalam lubang tetap dipertahankan lebih tinggi dari muka air tanah.

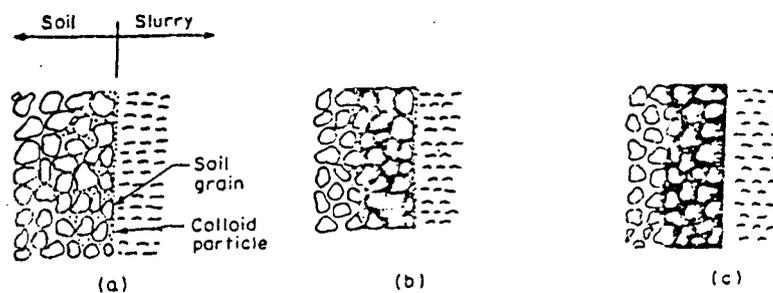
Jika sekarang air tanah tersebut digantikan dengan "slurry bentonite", maka efek pemantapan dinding lubang atau parit akan terjadi lebih efektif, mengingat hal-hal sebagai berikut ini.

1. "Slurry bentonite" mempunyai berat jenis yang lebih besar daripada air (1,05 - 1,10), sehingga memberi tekanan yang lebih besar terhadap dinding lubang, maka akan didapat efek pemantapan yang lebih besar.
2. Larutan "slurry bentonite" secara perlahan-lahan merembes ke dalam pori-pori tanah sambil mengendapkan partikel-partikel koloid di dalamnya, disusul dengan terbentuknya suatu lapisan lempung tipis pada permukaan dinding. Lapisan lempung permukaan ini sangat kedap air, sehingga tekanan dari "slurry" dapat bekerja penuh pada permukaan dinding lubang, yang akan menghasilkan efek pemantapan dinding yang maksimal. Lapisan yang terpenetrasi oleh partikel-partikel koloid ini sering disebut "Bentonite Cake" atau tahu beton (gambar 2.1).
3. Karena "slurry bentonite" mempunyai berat jenis dan kekentalan yang lebih tinggi dari air maka selama proses pengeboran, hasil galian ("cutting") dapat dipertahankan dalam larutan dan terbawa dengan mudah dalam sirkulasi "slurry bentonite".
4. Pada dinding lubang terbentuk lapisan permukaan yang sangat kedap air, maka "slurry bentonite" tidak kehilangan kadar airnya dengan cepat.

Keunggulan "slurry-bentonit" terhadap air dalam memantapkan dinding lubang atau parit, terletak pada sifat "thixotropy" dari "slurry-bentonit", yaitu:

1. "Lubricity" (bersifat seperti pelumas)
2. "Thickerring" (bersifat menebal/mengembang)
3. "Gelling" (bersifat seperti agar-agar/semi solid)
4. "Plastring/sealing ability" (bersifat dapat melapis)

Dengan kata lain, bahwa “slurry-bentonit” mempunyai sifat dapat menjadi cair apabila diaduk-aduk dan kembali menjadi agar-agar (gel) apabila didiamkan. Gel yang kedap air inilah yang terbentuk didalam pori-pori tanah membentuk tahu lumpur (gambar 2.1). Supaya tekanan “slurry-bentonit” pada dinding lubang atau parit tersebut cukup efektif, pada umumnya permukaan lumpur didalam lubang harus berada paling sedikit 1,00 meter diatas permukaan air tanah.



gambar 2.1. Pembentukan tahu lumpur

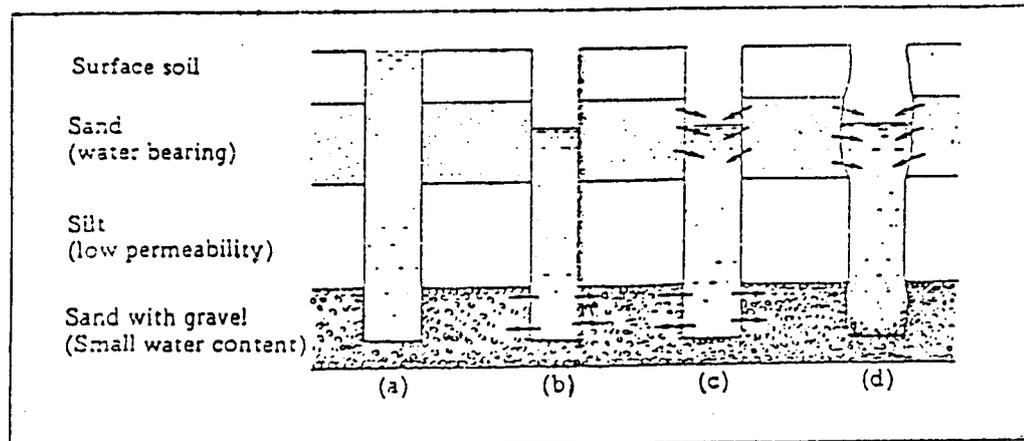
- a) pengendapan partikel koloid
- b) agar-agar (gel) membentuk tahu lumpur
- c) pembentukan lapisan permukaan yang kedap air

3. Kehilangan Slurry dalam Parit

Pada kondisi tanah di sekitar parit yang mempunyai permeabilitas tinggi, kehilangan “slurry” dalam jumlah besar akan terjadi. Kehilangan “slurry” tersebut tidak hanya akan tergantung pada kondisi tanah saja, juga pada kualitas dari “slurry”, konsentrasi mineral dan waktu yang dibutuhkan oleh “slurry” untuk membentuk tahu beton sebagai lapisan “impermeabel”, dan adanya air tanah. Untuk membantu proses terbentuknya lapisan film,

harus diadakan kontrol terhadap berat jenis dari “slurry”. Berat jenis “slurry” berpengaruh pada pencoran, yaitu bila berat jenis dari larutan “slurry” bertambah, maka perbedaan berat jenis antara beton dengan “slurry” berkurang, sehingga menyulitkan pencoran atau dapat menyebabkan pencoran tidak merata.

Pada gambar 2.2.a, terlihat tanah dengan beberapa lapis tanah yang terdiri dari lempung-pasir-lempung-batuan, dengan lapisan lempung pertama merupakan lapisan “impermeabel”, pada lapisan kedua terdapat air tanah, lapisan ketiga merupakan lempung dengan “permeabilitas” rendah, dan lapisan keempat merupakan lapisan batuan yang mempunyai kadar air tanah yang sedikit. Penggalan parit mendapat hambatan ketika mencapai lapisan batuan. Pada gambar 2.2.b kehilangan “slurry” pada jumlah besar mulai terjadi setelah melalui lapisan batuan tersebut. Penurunan muka “slurry” sampai pada lapisan pasir, mengakibatkan mengalirnya air tanah dari lapisan pasir (gambar 2.2.c) ke dalam parit, kemudian diikuti dengan keruntuhan pada dinding dari parit yang mengakibatkan dinding parit tidak lurus lagi (gambar 2.2.d). Kejadian ini dapat dihindari dengan menjaga permukaan “slurry” tetap berada diatas muka air tanah dan dengan menambah bahan aditif untuk mempercepat terjadinya “thixotropix gellation” pada lapisan batuan.



gambar 2.2. Kehilangan slurry dalam parit

4. Komposisi Slury

Komposisi yang paling mudah untuk “slurry-bentonit” ialah dengan mencampur air dengan bentonit, tetapi berdasarkan hambatan-hambatan yang ada di lapangan dan ditinjau dari segi ekonomi, lebih baik ditambah aditif yang sesuai dengan keadaan di lapangan yang sebenarnya. Material dasar yang digunakan adalah air, bentonit, “Carboxy Methyl Cellulose”, dan “dispersant agent” (zat pelarut).

a. Air

Air yang digunakan adalah air yang mengandung kotoran atau “impurities” seminim mungkin dan bila mungkin dengan derajat keasaman (ph) netral. Karena “slurry” terdiri dari sebagian besar air, dan air merupakan faktor penting yang menentukan kualitas dari “slurry”, maka diperlukan pengujian yang teratur terhadap mutu air yang digunakan.

Penggunaan air asin / laut sebaiknya dihindari, karena umumnya mengandung Natrium Clorida 35 gr/ liter, yang akan mengurangi kemampuan mengembang dari bentonit.

b. Bentonite

Bentonite adalah sejenis lempung mineral “clayies mineral” yang sebagian besar terdiri dari montomorillonite dan berbentuk butiran berwarna muda (dapat abu-abu muda atau coklat muda), bentonite merupakan material yang penting dalam “slurry” karena mempunyai sifat viskositas yang cukup, “thixotropic”, dan kemampuan untuk membentuk lapisan film yang merupakan syarat utama sebagai “stabilizing solution”. Jika konsentrasi bentonit terlalu rendah maka slurry tidak dapat berfungsi secara efektif.

c. Carboxy Methyl Celulose

Carboxy Methyl Celulose (selanjutnya disebut CMC) merupakan bahan sintesis berbentuk bubuk berwarna putih. CMC dipakai sebagai bahan aditif dalam “slurry bentonite” untuk meningkatkan viskositas dan kemampuan untuk membentuk lapisan film. Penambahan CMC pada “slurry” mengakibatkan penurunan viskositas yang telah terjadi beberapa saat dapat dikurangi.

d. Dispersants Agent (pelarut)

1). Ferrochrome Lignin Sulfonate

Ferrochrome Lignin Sulfonate (selanjutnya disebut FLS) merupakan pelarut berbentuk bubuk berwarna hitam. FSL berguna menurunkan viskositas dari “slurry” dan memungkinkan ‘slurry” dapat dipakai kembali. Bubuk ini efektif bekerja dengan konsentrasi antara 0,1 % - 0,3 % dengan pemakaiannya yang sedikit, maka harga pelaksanaan proyek dapat ditekan. Secara umum campuran lempung, lanau, pasir,

salinitas (kadar garam), dan kalsium ke dalam larutan akan menurunkan mutu dari larutan. Pada saat lempung atau lanau larut ke dalam larutan “slurry”, viskositas akan naik dan lapisan film yang terbentuk dalam parit menjadi tebal, hal ini merupakan kelemahannya sebagai lapisan film pelindung. Ketika pasir tercampur ke dalam larutan “slurry”, berat jenis “slurry” akan naik dan menyulitkan pembuatan dinding difragma. Larutan garam dan kalsium akan menyebabkan terjadinya gel (gelation) pada larutan dan menurunkan stabilitas. Untuk menghindari hal-hal tersebut diatas, zat pelarut “dispersing agent” harus ditambahkan lebih dahulu, “slurry” yang menjadi gel dapat diperbaiki dengan menambahkan FLS.

Dalam menentukan komposisi dan sifat larutan “slurry” perlu disesuaikan dengan keadaan tanah disekitarnya (tabel 2.1 dan tabel 2.2), dan tabel hubungan berat jenis dan sifat dari larutan (tabel 2.3).

Tabel 2.1. Hubungan antara jenis tanah dan kecenderungan untuk runtuh pada keadaan kering

Tipe Tanah	Kecenderungan runtuh
lempung	tidak ada
lanau	hampir tidak ada
pasir berlanau	kadang-kadang
pasir halus	cukup
pasir berbutir	cukup besar
batuan berpasir	tinggi
batuan	tinggi sekali

Tabel 2.2. Hubungan antara jenis tanah dan kecenderungan untuk runtuh pada keadaan basah

Tipe Tanah	Kecenderungan runtuh
lanau	kadang-kadang
pasir berlanau	cukup
pasir halus	cukup besar
pasir berbutir	tinggi
batuan berpasir	tinggi sekali
batuan	tinggi sekali

Tabel 2.3. Hubungan berat jenis dengan sifat larutan

Berat jenis	Stabilitas terhadap gravitasi	Viskositas	filtrasi	perlindungan terhadap keruntuhan	bentuk penggalian
rendah	kecil	kecil	besar	kecil	besar
sedang	sedang	sedang	sedang	sedang	sedang
tinggi	besar	besar	kecil	besar	besar

2). Sodium Nitrofuminate

Bahan ini merupakan bubuk berwarna coklat tua yang digunakan untuk menghindari kenaikan viskositas dari “slurry” untuk memungkinkan “slurry” digunakan kembali. Pemakaian untuk mencapai hasil yang efektif cukup dalam konsentrasi yang kecil yaitu antara 0,1% - 0,3%.

2.3.2. Beton

Pada pelaksanaan dinding diafragma digunakan beton, yaitu sebagai penguat dan pengaku struktur. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh adukan beton segar, adalah sebagai berikut ini.

1. Adukan beton segar harus dapat mengalir melalui pipa tremi akibat gaya gravitasi bumi.
2. Beton segar harus cukup kohesif untuk menghindari "segregasi" dan "bleeding"
3. Pengikatan awal "setting time" tidak boleh terlalu cepat, harus diperhitungkan sampai penuangan beton selesai

Kuat tekan/desak beton yang disarankan untuk dinding diafragma antara 210 sampai 315 kg/cm².

Pada pelaksanaan dinding diafragma sewaktu mengalirkan beton ke dalam parit tidak memerlukan vibrator untuk meratakan adukannya, tetapi dibiarkan mengalir sendiri melalui pipa tremi dan akan mengisi parit mulai dari bawah sampai ke atas untuk sementara, yang selanjutnya posisi "slurry" akan digantikan beton.

Beton segar ke dalam parit dituangkan dengan menggunakan pipa tremi dengan diameter 15-25 cm, atau tergantung pada lebar parit dan besar agregat maksimum. Panjang pipa tremi yang umum digunakan adalah ukuran 2 meter.

Pipa tremi satu dengan yang lainnya harus kedap air, tetapi harus dapat dengan mudah dilepaskan dan tidak memiliki sayap yang dapat menyangkut pada tulangan dari dinding diafragma.

Beton ini harus dituangkan secara hati-hati karena beton segar tidak boleh bercampur dengan air ataupun dengan slurry karena dapat mengakibatkan "segregasi" pada beton. Pada pipa tremi itu terdapat sumbat yang berfungsi sebagai pemisah antara adukan beton dan air atau "slurry" yang ada dalam pipa tremi. Untuk menuangkan beton ke dalam pipa tremi digunakan corong.

Apabila pada pengadukan beton ada ketidaksempurnaan pengadukan, maka akan mengakibatkan kesulitan pada pipa tremi yaitu terjadinya penyumbatan dan bercampurnya adukan beton dengan "slurry". Maka dari itu untuk menghindari ketidaksempurnaan tersebut perlu diperhatikan hal-hal dibawah ini.

1. Sifat mudah dikerjakan "Workability", dapat ditentukan berdasarkan "test slump" dengan menggunakan kerucut Abrams. "Slump" dipakai untuk menentukan mobilitas dari beton segar dengan harga 18 ± 2 cm.
2. Jumlah air yang dipakai
3. Mutu dan jumlah semen

Dibawah ini diperlihatkan tiga cara dalam pencoran. Gambar 2.3, detail (a) menunjukkan pengisian dengan metode "Free slope" yaitu pipa akhir yang ditempatkan pada satu sisi panel. Detail (b) menunjukkan metoda dengan menggunakan pipa akhir pada masing-masing panel. Detail (c) menggunakan dua tremi, metoda ini harus digunakan jika panjang dari panel lebih dari 6 meter.

Yang paling utama untuk memulai pencoran adalah secepat mungkin dan tidak kurang dari 4 sampai 5 jam sesudah penyempurnaan dari penggalian parit. Pengecoran

harus dibatasi dalam waktu 6 sampai 10 jam, dan penuangannya tergantung dari dimensi panel, volume, "suply" pencoran, dan diameter dari pipa tremi yang digunakan.

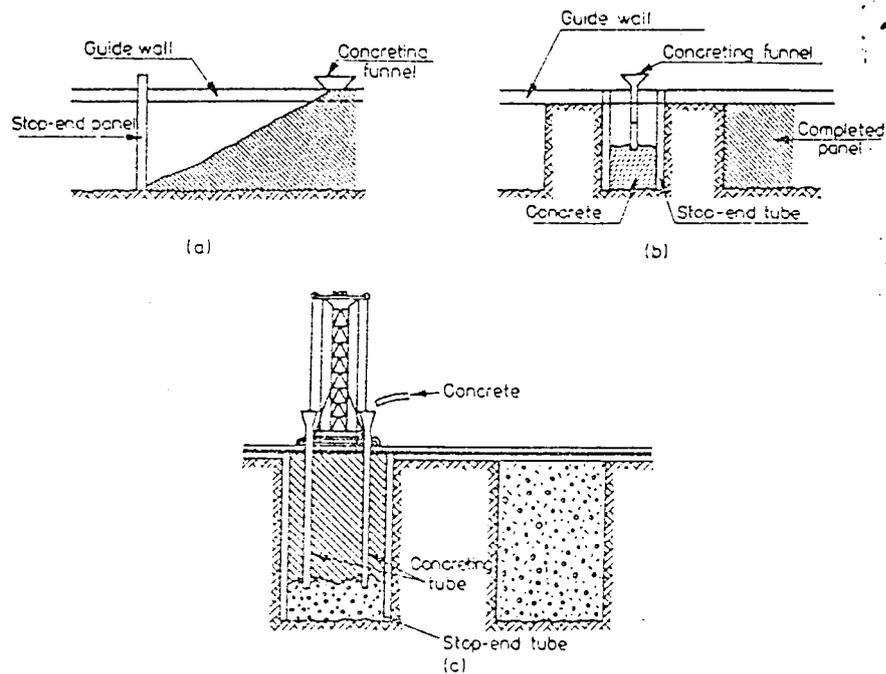


Fig. 5.107
Concreting

Gambar 2.3. Metode pencoran

2.3.3. Tulangan

Tulangan yang digunakan berupa rangka baja yang benar-benar kaku untuk menghindari perubahan bentuk. Rangka tulangan ini dapat dibuat di pabrik atau di lokasi proyek.

Sambungan antara panel merupakan titik lemah dari struktur dinding diafragma, oleh karena itu untuk memenuhi kekuatannya harus dipenuhi syarat-syarat berikut ini.

1. Adanya sambungan tidak mengganggu penuangan beton segar untuk panel sebelahnya
2. Tidak terjadi kebocoran beton segar pada saat penuangan beton pada panel yang bersangkutan
3. Tahan terhadap tekanan dari beton segar
4. Tidak terdapat "slurry" atau tanah yang terselip
5. Mudah dikerjakan , dan tidak membutuhkan alat-alat yang khusus

2.3.4. Guide Wall

"Guide wall" adalah suatu dinding pengantar dari dinding diafragma yang merupakan struktur beton sementara yang dibangun sejajar dengan permukaan parit yang akan digali, pada akhir struktur dinding diafragma, "guide wall" ini dapat dibongkar kembali. Adapun fungsi dari dinding pengantar ini adalah sebagai berikut:

1. Melindungi sisi atas panel dari kerusakan akibat hantaman alat penggali panel.
2. Mencegah (mengurangi) pergerakan horisontal lapisan tanah permukaan pada saat penggalian panel dilakukan.
3. Penstabil lapisan permukaan dari keruntuhan.

4. Bilamana perlu dapat dibuat lebih tinggi dari permukaan tanah agar cairan penstabil dapat diisi lebih tinggi dari permukaan tanah asli. Dengan demikian tekanan pada dinding panel dapat lebih besar dan dinding panel dapat lebih stabil.
5. Sebagai saluran penghantar cairan penstabil kedalam dan keluar lubang panel.
6. Sebagai tumpuan untuk penggantung pembesian dinding diafragma beton bertulang.

Agar dinding pengantar dapat berfungsi dengan baik harus memenuhi kriteria dibawah ini.

1. Permukaan dinding pengantar harus datar dan rata, sehingga dapat dipasang rel untuk landasan kerja alat-alat penggali
2. Konstruksi harus benar-benar vertikal
3. Garis tengah dinding pengantar segaris dengan dinding diafragma
4. Jarak bersih antara dinding pengantar lebih besar 5 cm dari lebar dinding diafragma
5. Tunjangan "bracing" dari balok kayu perlu dipasang untuk menghindari pergerakan atau keruntuhan dari dinding pengantar
6. Dipasang tulangan baja
7. Desain berdasarkan beban yang akan bekerja diatasnya.

2.4. Sifat-sifat Dinding Diafragma

Dinding diafragma mempunyai beberapa keuntungan antara lain :

1. Konstruksi dinding diafragma lebih ekonomis.

2. Muka air tanah di sekitar lokasi tidak perlu diturunkan terlalu rendah, selama pelaksanaan muka air tanah minimum harus berada 1 meter dibawah permukaan slurry-bentonit
3. Penggunaan dapat menghemat waktu pelaksanaan sehingga dapat diperoleh penyelesaian pekerjaan dengan cepat, contohnya dengan metode "Downward Construction" yaitu penggalian ruang bawah tanah dan pembangunan struktur atas dapat dilaksanakan secara serempak
4. Metodenya dapat digunakan pada segala macam tanah dan secara teoritis tanpa pembatasan kedalaman. Kedalaman yang dapat dilakukan hanya dibatasi oleh peralatan penggalian. Kini sudah ada peralatan penggalian yang dapat mencapai kedalaman 120 meter.
5. Dapat mempunyai tiga fungsi sekaligus yaitu : sebagai penahan tanah juga sekaligus sebagai dinding "basement", sebagai penyekat yang kedap cairan, dan sebagai elemen pemikul beban.
6. Dapat dilaksanakan praktis tanpa jarak dengan bangunan yang bersebelahan.
7. Bentuk geometris ruangan dapat dibuat bervariasi.
8. Suara dan getaran yang ditimbulkan peralatan yang digunakan tidak mengganggu lingkungan.

Sebagaimana umumnya setiap metode konstruksi, disamping keunggulan yang ada tentunya teknik dinding diafragma ini juga mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya :

1. Lumpur bentonit yang digunakan dalam proses pelaksanaannya merupakan limbah yang tidak dikehendaki dan memerlukan tempat pembuangan atau penanganan

tersendiri. Namun kini sudah mulai digunakan cairan penstabil yang akrab dengan lingkungan yaitu “supermud”.

2. Kualitas panel yang terbentuk hanya bisa dikontrol dengan cara-cara yang tidak langsung.
3. Permukaan dinding yang dihasilkan (kecuali bila digunakan dinding “precast”) sangat tergantung pada peralatan penggalian dan operatornya serta tipe tanah yang dijumpai.

BAB III

DASAR-DASAR PERENCANAAN

Pada pekerjaan dinding diafragma, sebelumnya harus ditinjau dahulu keadaan tanah dan yang berhubungan dengannya. Pada tanah tersebut ditinjau keseimbangan-keseimbangan gaya yang ada.

Tekanan dan stabilitas tanah merupakan hal yang sangat penting untuk diperhitungkan. Di sini akan dianalisa mengenai stabilitas tanah dan tekanan tanah menurut teori Coulumb dan Rankine.

3.1. STABILITAS PARIT

Masalah kestabilan parit merupakan faktor yang penting dalam pelaksanaan dinding diafragma. Kestabilan ini harus sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan penurunan pada jalan, bangunan, atau sarana-sarana yang ada di sekitar proyek.

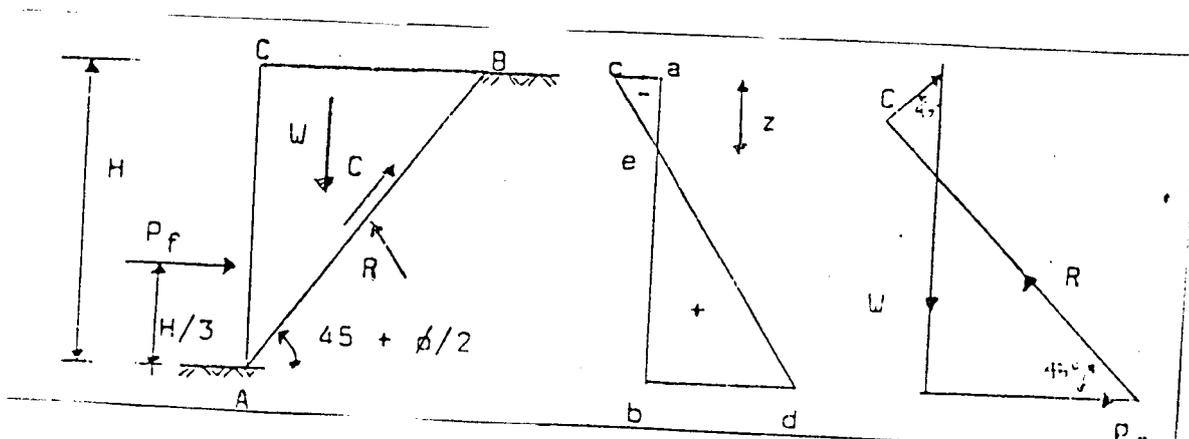
Kestabilan parit ini berbeda-beda pada setiap kondisi. Di bawah ini akan dibahas mengenai kestabilan parit pada beberapa kondisi tanah yang penting sebagai dasar perhitungan pada pembuatan dinding diafragma.

3.1.1. Tanah Kohesif

Apabila karakteristik fisis yang selalu terdapat pada massa butir-butir tanah yang pada pembasahannya dan/atau pengeringannya yang menyusul butir-butir tanah bersatu sesamanya, sehingga sesuatu gaya akan diperlukan untuk memisahkannya dalam keadaan kering tersebut, disebut tanah kohesif (J.E. Bowles), atau dengan kalimat yang lebih simpel bahwa tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai daya lekat antara butir-butir tanahnya. Tanah lempung adalah termasuk tanah kohesif.

1. Pada Parit yang Tidak Terisi Slurry

Pada tanah yang kohesif, bila dilakukan penggalian parit, parit tersebut dapat berdiri sendiri walaupun tanpa bantuan "slurry". Hal ini karena adanya daya lekat antar tanah. Tekanan pada tanah kohesif ini penganalisaannya sebagai berikut (gambar 3.1) :



Gambar 3.1. Tekanan tanah aktif pada tanah kohesif

Untuk $\phi = 0$ dan $c' = S_u$ diperoleh persamaan :

$$P_a = \frac{1}{2} \tau H^2 - 2 S_u H + q H$$

dengan : P_a = tekanan aktif total

τ = kerapatan jenis tanah

ϕ = gaya geser dalam

S_u = undrained shear strength

H = tinggi parit

Maka dari gambar 3.1, diperoleh persamaan :

$$z = (2 S_u) / \tau$$

2. Pada Parit Terisi Slurry

Apabila larutan "slurry" mempunyai kerapatan jenis τ_f , maka akan menimbulkan gaya hidrostatis sebesar P_f dan poligon gayanya dapat dilihat pada gambar 3.1.c, dan untuk $P_a - P_f = 0$, akan diperoleh persamaan :

$$\frac{1}{2} \tau H^2 - 2 S_u H + q H - \frac{1}{2} \tau_f H^2 = 0$$

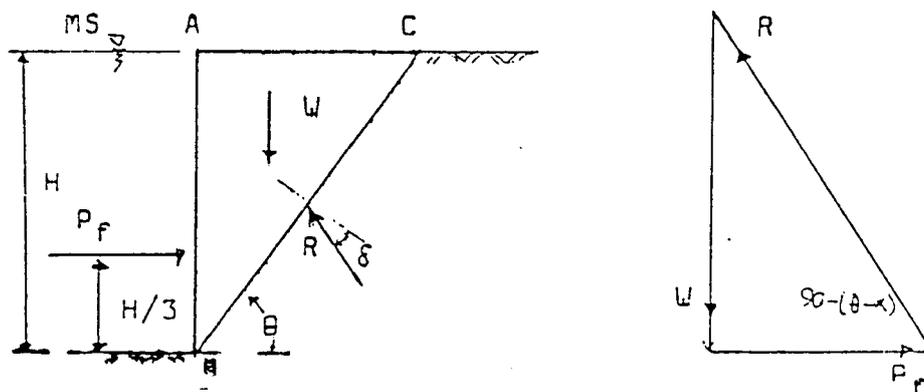
3.1.2. Tanah Non Kohesif

Apabila butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan hanya bersatu apabila berada pada keadaan basah karena gaya tarik permukaan di dalam air, maka tanah disebut tanah non-kohesif (J.E. Bowles), atau dengan kata lain bahwa tanah non

kohesif adalah tanah yang hampir tidak mempunyai daya lekat antar butir tanahnya. Pasir merupakan jenis tanah non kohesif.

1. Parit Pada Pasir Tanpa Air

Pada pasir tanpa air ini, mempunyai faktor keamanan dengan membagi antara $\tan \phi$ dengan $\tan \alpha$. Sedangkan untuk lereng yang vertikal diperlukan "slurry" untuk menjaga keruntuhan tanah tersebut, karena pada tanah pasir ini mempunyai keruntuhan tinggi disebabkan daya lekat antar butirnya yang hampir tidak ada ($c=0$). Kerapatan jenis "slurry" ini disimbolkan dengan τ_f . Dibawah ini analisa stabilitas parit pada pasir (gambar 3.2).



Gambar 3.2. Stabilitas parit pada pasir

Pada gambar 3.2. a, garis AB merupakan garis gelincir, maka:

$$W = \frac{1}{2} \tau H^2 \tan (90^\circ - \phi)$$

$$P_f = \frac{1}{2} \tau_f H^2$$

Pada gambar 3.2.b, diperoleh persamaan:

$$P_f = W \tan (\phi - \alpha)$$

$$\frac{W}{P_f} = \frac{\tau \tan (90^\circ - \phi)}{\tau_f} = \frac{1}{\tan (\phi - \alpha)}$$

Pada α maksimum, $\theta = 45^\circ + \alpha / 2$, maka:

$$\tan \alpha = \frac{\tau - \tau_f}{2 \sqrt{(\tau \cdot \tau_f)}}$$

$$F = \frac{2 \sqrt{(\tau \cdot \tau_f)} \tan \theta}{\tau - \tau_f}$$

2. Parit Pada Pasir dengan Air

Pada parit yang digali pada tanah pasir berair, diperoleh:

$$P_a = \frac{1}{2} \tau' H^2 K'_a + \frac{1}{2} \tau_w H^2$$

$$P_f = \frac{1}{2} \tau_f H^2$$

Apabila $P_a = P_f$, maka :

$$K'_a = (\tau_f - \tau_w) / \tau' = \tan^2 (45^\circ - \phi' / 2).$$

dan apabila $(\tau_f - \tau_w) = \tau'_f$, untuk $\tan \phi'$, maka:

$$F = \frac{2 \sqrt{(\tau' \cdot \tau'_f) \tan \phi'}}{\tau' - \tau'_f}$$

3. Parit Pada Tanah Lanau dan Lanau Kepasiran

Kondisi tanah seperti ini hampir sama dengan tanah pasir. Hubungan antara tekanan, kekuatan geser dan sudut geser diperoleh dengan menggunakan harga ϕ' yang berkisar antara 27° sampai dengan 30° untuk tanah lanau dan keadaan lepas, dan 30° sampai dengan 35° untuk tanah lanau dalam keadaan padat. Untuk angka keamanan tanah ini adalah:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

dengan : F_s = angka keamanan terhadap kekuatan tanah

τ_f = kekuatan geser rata-rata dari tanah

τ_d = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor

Kekuatan geser itu sendiri merupakan penjumlahan dari nilai c dan τ (tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor) yang dikalikan dengan $\tan \phi$. Dan τd merupakan penjumlahan dari cd yang merupakan nilai kohesi, dengan τ yang dikalikan dengan $\tan \phi d$ yang merupakan sudut geser yang bekerja di sepanjang bidang longsor, sehingga angka keamanan untuk tanah berkohesi adalah :

$$F_s = \frac{c + \tau \tan \phi}{cd + \tau \phi d}$$

Tetapi untuk keamanan, dan karena parit menggunakan larutan penstabil, maka apabila struktur berada pada tanah yang berkohesi, angka keamanan yang digunakan biasanya adalah persamaan angka keamanan pada tanah jenis pasir yang mengandung air.

3.2. Tekanan tanah

Tekanan dari tanah ke suatu struktur disebut “tekanan tanah”. Struktur atau dinding penahan tanah umumnya berada pada salah satu dari tiga kondisi tanah di bawah ini.

1. Tekanan tanah dalam kondisi diam, yaitu tekanan yang terjadi akibat massa tanah pada dinding penahan dalam keadaan seimbang
2. Tekanan tanah aktif (tekanan aktif)
3. Tekanan tanah pasif (tekanan pasif)

Tekanan tanah timbul selama pergeseran tanah ("soil displacement"), tetapi sebelum tanah tersebut mengalami keruntuhan ("on the verge of failure").

3.2.1. Kondisi Diam

Tekanan tanah pada kondisi diam disebut juga kondisi K_0 ("at rest"). Pembentukan deposit tanah pindahan, khususnya dengan perantaraan air, mula-mula cenderung menghasilkan deposit yang agak lepas, dengan angka pori yang besar. Setelah deposit selanjutnya terbentuk selama jangka waktu tertentu, suatu kolom tanah terbentuk, sehingga elemen tanah akan mengalami tegangan vertikal, yang akan

menghasilkan perpindahan partikel dan regangan elastis. Dan selanjutnya tanah tersebut berusaha pindah secara lateral, tetapi dibatasi oleh tanah sekitarnya.

Efek pembentukan deposit ini menghasilkan tanah yang kerapatannya ("density") meningkat sesuai dengan kedalaman. Setelah beberapa periode geologis, tanah akan berhenti dan menyesuaikan diri lagi, sehingga akan menghasilkan regangan bernilai nol, yaitu pada keadaan "steady". Tanah pada keadaan "steady" ini didefinisikan:

$$K_o = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$$

Pada keadaan ini, σ'_h dan σ'_v adalah tegangan efektif. Dalam banyak kasus $K_o < 1$ tetapi biasanya sebagai berikut :

$K_o < 1$, tanah berkonsolidasi normal

$K_o < 1$, tanah overkonsolidasi ($OCR < p_c/p_o < 3$)

$K_o > 1$, tanah overkonsolidasi ($OCR > 3$)

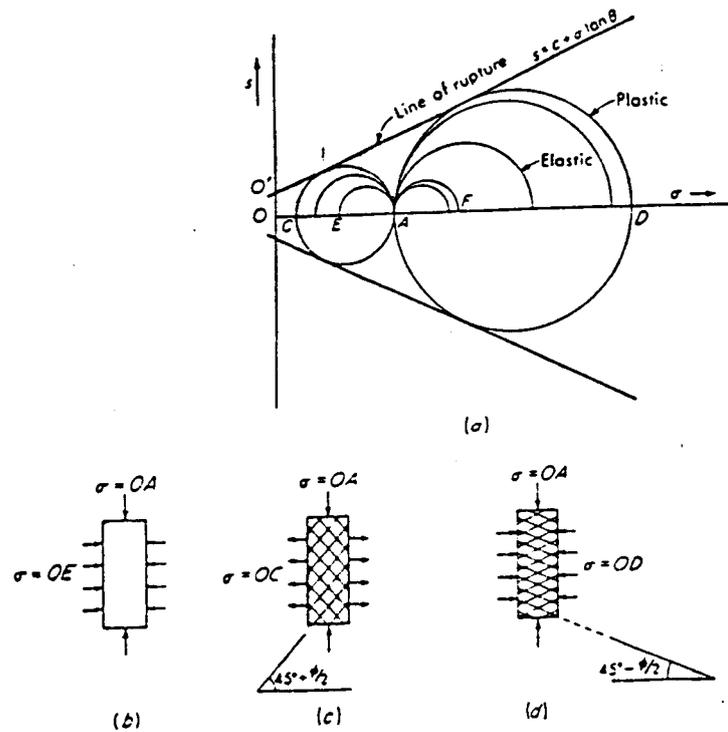
3.2.2. Tekanan Aktif dan Pasif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan tanah yang dapat menimbulkan pergeseran atau menimbulkan terjadinya gelincir. Dari (gambar 3.3) persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2 (45^\circ - \phi / 2) - 2c \tan (45^\circ - \phi / 2) \quad (3-01)$$

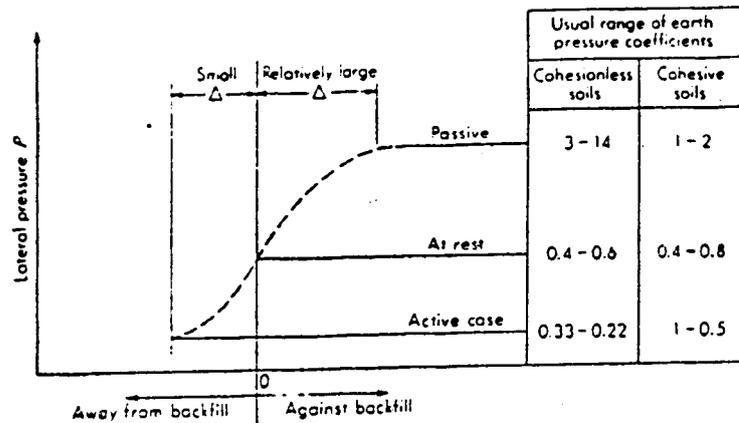
$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 (45^\circ + \phi / 2) + 2c \tan (45^\circ + \phi / 2) \quad (3-02)$$

Berdasarkan persamaan (3-01) dan (3-02) dapat dijelaskan dengan (gambar 3.4).



Gambar 3.3. Ilustrasi konsep kesetimbangan elastis dan plastis

- a) Keadaan tegangan sebelum runtuh (elastis) dan pada waktu runtuh (plastis)
 - b) Syarat permulaan dari tegangan pembatas OA yang konstan
 - c) Permukaan-permukaan runtuh geser untuk teori tekanan aktif
 - d) Permukaan-permukaan runtuh geser untuk teori tekanan pasif.
- Garis gelincir dalam c dan d adalah sangat ideal



Gambar 3.4. Gambaran tekanan aktif dan pasif dengan jangkauan perubahan harga biasa untuk tanah tak berkohesi dan tanah berkohesi.

Pada prinsipnya tegangan tanah aktif terjadi apabila dinding bergerak menjauhi atau menarik tanah, dengan tekanan tanah yang berkurang sampai minimum dan tegangan tanah pasif terjadi bila dinding menekan tanah, tekanan akan meningkat sampai mencapai maksimum.

3.3. Tekanan Menurut Teori Coulumb

Teori Coulumb mempunyai anggapan sebagai berikut ini.

1. Tanah adalah isotropik dan homogen yang mempunyai gesekan dalam dan kohesi
2. Bidang runtuh adalah sebuah bidang rata, walaupun sebenarnya tidak demikian, anggapan ini untuk memudahkan dalam perhitungan. Permukaan backfill merupakan bidang datar

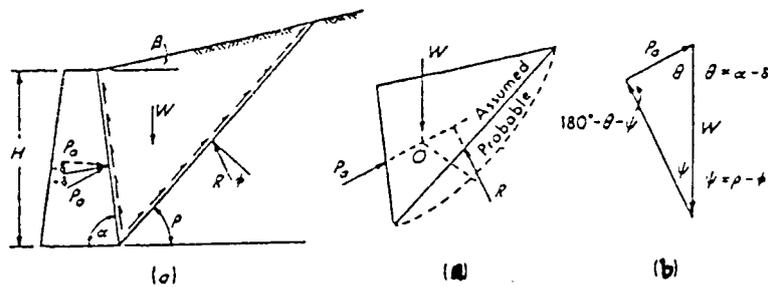
3. Dengan nilai yang sama gaya-gaya gesekan didistribusikan sepanjang permukaan runtuh yang rata, dan $f = \tan \phi$, (dengan $f =$ koefisien gesekan)
4. Keping runtuh adalah benda tegar
5. Terdapat gesekan dinding, yaitu keping runtuh akan bergerak sepanjang bagian belakang dinding yang menimbulkan gaya-gaya gesekan sepanjang batas dinding
6. Keruntuhan adalah suatu persoalan peregangan dinding dengan meninjau satu satuan panjang dari sebuah benda yang panjangnya tidak terhingga.

Teori Coulumb ini mempunyai kekurangan yaitu anggapan bahwa tanah adalah ideal dan permukaan runtuh adalah bidang rata.

Persamaan dari teori Coulumb adalah sebagai berikut ini.

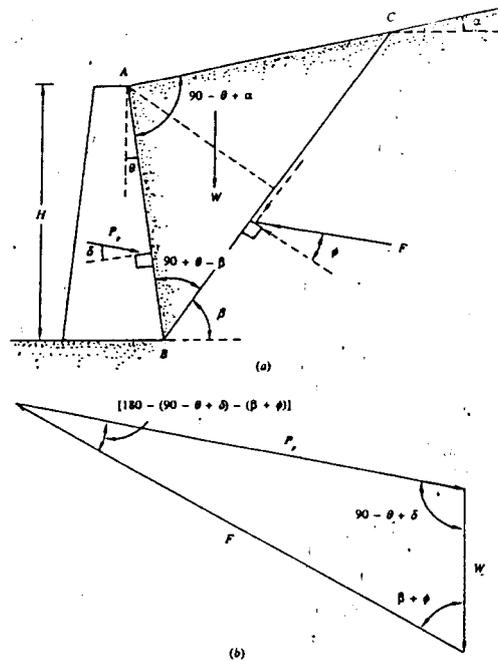
Untuk tanah yang tidak berkoheisi :

$$W = \frac{\tau H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[\sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha - \beta)} \right]$$



Gambar 3.5. Tekanan gaya aktif menurut teori Coulumb

- a) blok keruntuhan yang dicoba
- b). poligon gaya



Gambar 3.6. Tekanan gaya pasif menurut teori Coulumb
 a) blok keruntuhan yang dicoba
 b) poligon gaya

Dari gambar 3.5 terlihat bahwa gaya aktif merupakan komponen dari vektor berat. Untuk mendapatkan nilai P_a digunakan rumus :

$$\frac{P_a}{\sin(\rho - \theta)} = \frac{W}{\sin(180^\circ - \alpha - \rho + \theta + \delta)} \quad (3-03)$$

maka :

$$P_a = \frac{W \sin(\rho - \theta)}{\sin(180^\circ - \alpha - \rho + \theta + \delta)} \quad (3-04)$$

Dari kedua persamaan (3-03) dan (3-04), dapat diperoleh pensubstitusiannya sebagai berikut:

$$P_a = \frac{\tau H^2}{\sin^2 \alpha} \left[\frac{\sin(\alpha + \rho)}{\sin(\rho - \beta)} \right] \frac{W \sin(\rho - \phi)}{\sin(180^\circ - \alpha - \rho - \phi + \delta)}$$

Dengan menganggap :

$$\frac{dP_a}{d\rho} = 0$$

Maka nilai maksimum dari gaya dinding aktif adalah:

$$P_a = \frac{\tau H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Apabila $\beta = \delta = 0$, dan $\alpha = 90^\circ$, maka untuk jenis dinding vertikal licin yang mempunyai backfill horisontal, persamaannya menjadi:

$$P_a = \frac{\tau H^2}{2} \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)}$$

atau

$$P_a = \frac{\tau H^2}{2} \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

atau dengan

$$P_a = \frac{\tau H^2}{2} K_a,$$

dengan harga K_a ,

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \emptyset)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\emptyset + \delta) \sin(\emptyset - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Untuk tanah pasif, berdasarkan pada gambar 3.6, diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$W = \frac{\tau H^2}{2} \sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)}$$

maka:

$$P_p = \frac{W \sin(\rho + \emptyset)}{\sin(180^\circ - \alpha - \rho - \emptyset + \delta)}$$

Sedangkan harga minimumnya dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\frac{dP_p}{d\rho} = 0$$

maka nilai P_p dapat diperoleh dengan persamaan:

$$P_p = \frac{\tau H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha - \emptyset)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\emptyset + \delta) \sin(\emptyset + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

atau dengan rumus singkat:

$$P_p = \frac{\tau H^2}{2} K_p$$

dengan nilai K_p :

$$K_p = \frac{\sin^2 (\alpha - \varnothing)}{\sin^2 \alpha \sin (\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin (\varnothing + \delta) \sin (\varnothing + \beta)}{\sin (\alpha + \delta) \sin (\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Tabel nilai K_p dan K_a dapat dilihat pada lampiran no. 1

3.4. Tekanan Tanah Rankine

Pada dasarnya teori tekanan menurut Coulomb dan Rankine adalah hampir sama, yaitu meninjau tanah dalam keadaan kesetimbangan plastis ("plastic equilibrium"). Perbedaan hanya terletak pada Rankine mengasumsikan bahwa tidak ada kohesi dan gesekan dinding. Pada gambar (3.7) menunjukkan teori Rankine mengenai sistem struktur tanah (a) dan segitiga gaya (b). Persamaannya adalah :

$$W = \frac{\tau H^2}{2} \frac{\cos \rho \cos \beta}{\sin (\rho - \beta)} \quad (3-05)$$

$$P_a = W \frac{\sin (\rho - \phi)}{\sin (90^\circ - \rho + \phi + \beta)} \quad (3-06)$$

Dari substitusi persamaan (3-05) dan (3-06), didapat :

$$P_a = \frac{\tau H^2}{2} \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

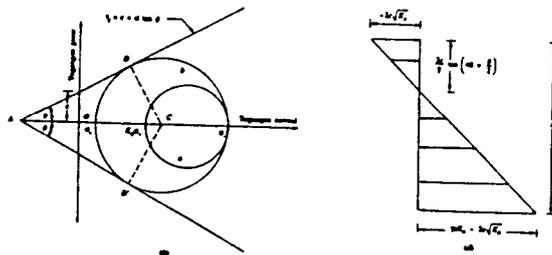
$$= \frac{\tau H^2}{2} K_a$$

dengan persamaan dari K_a adalah:

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

apabila tidak ada tegangan geser, dan permukaan tanah rata , maka persamaan menjadi :

$$P_a = \frac{\tau H^2}{2} \tan^2 (45^\circ - \phi / 2)$$



Gambar 3.7. Tekanan tanah aktif menurut Rankine

- bidang runtuh dalam tanah
- tekanan tanah

Tekanan tanah pasif Rankine adalah sebagai berikut ini (gambar 3.8)

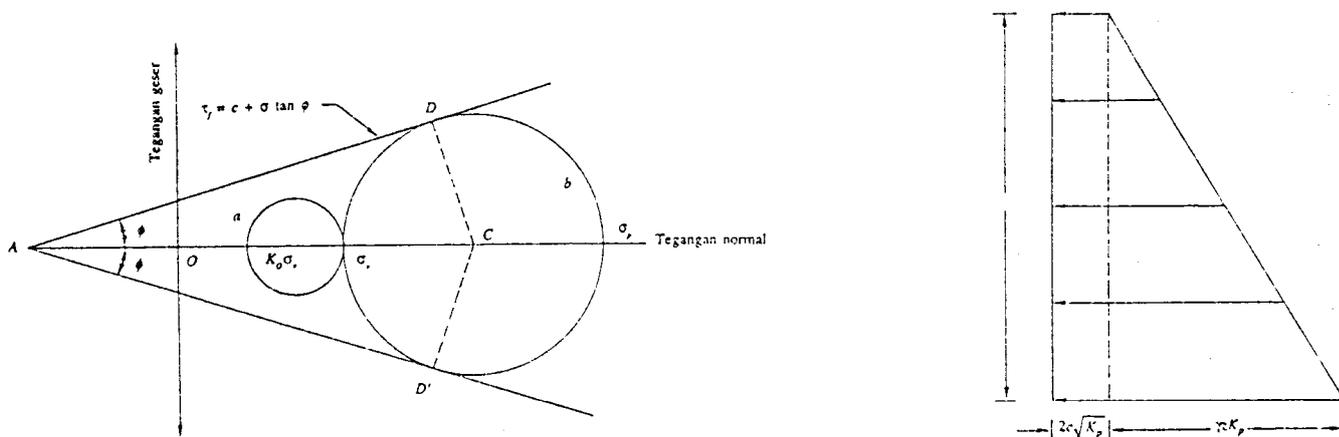
$$P_p = \frac{\tau H^2}{2} \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

$$= \frac{\tau H^2}{2} K_p$$

dengan persamaan K_p sebagai berikut ini:

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

Tabel nilai K_a dan K_p Rankine dapat dilihat pada lampiran no 1.



Gambar 3.8. Tekanan tanah pasif menurut Rankine

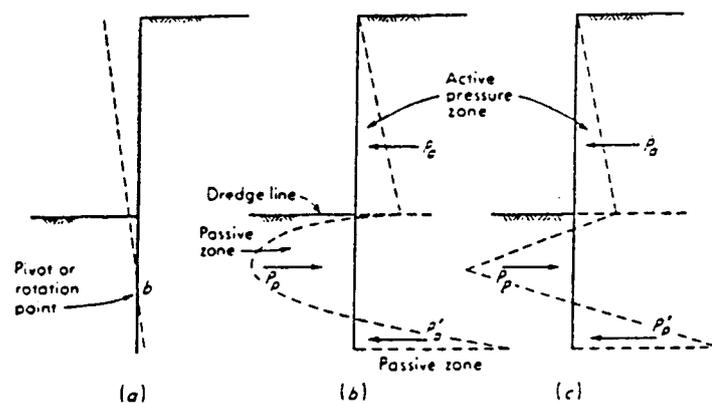
- a). variasi tekanan pasif
- b). distribusi bidang-bidang geser di dalam massa tanah

3.5. Gaya Vertikal

Pada dinding diafragma ini bekerja gaya vertikal, yaitu berat dari struktur itu sendiri dan reaksi dari pelat lantai dan balok yang berhubungan dengan dinding diafragma.

3.6. Analisa Gaya

Pada penggunaannya, pekerjaan dinding diafragma ini harus ditinjau terlebih dahulu gaya-gaya yang bekerja pada dindingnya. Pada perhitungannya dapat digunakan pendekatan dari teori Coulumb dan teori Rankine, seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. Analisa gaya

- anggapan dari garis elastis dinding
- distribusi tekanan tanah kualitatif
- diagram tekanan yang disederhanakan

3.6.1. Sheet Pile pada Tanah Butiran

Dari gambar 3.10, diperlihatkan bahwa pada dinding akan bekerja dua gaya yaitu tekanan tanah pasif dan tekanan tanah aktif.

Nilai a adalah :

$$a = \frac{Pa}{\tau' (K'p - K'a)} = \frac{Pa}{\tau' K'} = \frac{Pa}{C}$$

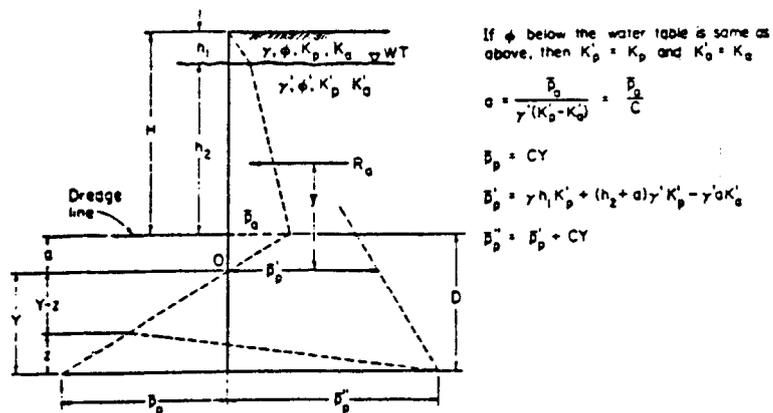
Jarak z dicari dengan $\Sigma FH = 0$ pada Y:

$$Ra + (Pp + Pp') (z/2) - Pp (Y/2) = 0$$

$$z = \frac{Pp Y - 2 Ra}{Pp + Pp}$$

dengan statis momen terhadap alasnya adalah :

$$Ra (Y + Y) + z/3 (Pp + Pp') z/2 - Pp (Y \cdot 2) \cdot (Y/3) = 0$$



Gambar 3.10 Diagram tekanan tanah pada tanah non kohesif

3.6.2. Sheet Pile dalam Tanah Kohesif ($\phi = 0$)

Dari gambar 3.11, dan persamaan :

$$\begin{aligned}\sigma_a &= \bar{q} \tan^2 (45^\circ - \phi / 2) - 2c \tan (45^\circ - \phi / 2) \\ &= \bar{q} K_a - 2c \sqrt{K_a}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_p &= \bar{q} \tan^2 (45^\circ + \phi / 2) + 2c \tan (45^\circ + \phi / 2) \\ &= \bar{q} K_p + 2c \sqrt{K_p}\end{aligned}$$

Apabila tekanan netto berada pada titik A, dan jika $\phi \neq 0$, digunakan $\tau_e h k_a$

atau $\tau_e h k_p$ dalam garis keruknya.

$$\sigma_p - \sigma_a = 2c - (q - 2c) = 4c - q$$

dan karena $K_a = K_p = 1$, maka pada titik B tekanannya adalah:

$$\sigma_p = q + \tau_e D + 2c \quad \text{ke kiri}$$

$$\sigma_a = \tau_e D - 2c \quad \text{ke kanan}$$

dari penjumlahan $(\sigma_p - \sigma_a)$, diperoleh:

$$q + \tau_e D + 2c - (\tau_e D - 2c) = 4c + q \quad \text{ke kiri}$$

jika $\sum F_h = 0$, untuk stabilitas dinding dan dengan menjumlahkan tekanan

diperoleh:

$$R_a + \frac{z}{2} (4c + 4c) - D(4c - q) = 0$$

maka

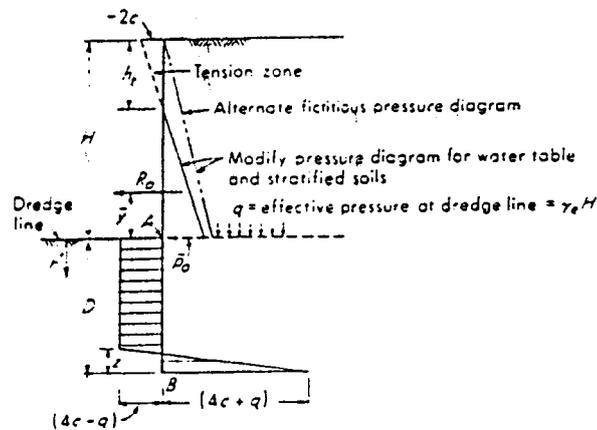
$$z = \frac{D(4c - q) - R_a}{4c}$$

jumlah momen terhadap alas harus nol, maka

$$R_a(\bar{Y} + D) - \frac{D^2}{2}(4c - q) + \frac{z^2}{3}(4c) = 0$$

atau

$$D^2(4c - q) - 2DR_a - \frac{R_a(12c\bar{Y} + R_a)}{2c + q} = 0$$

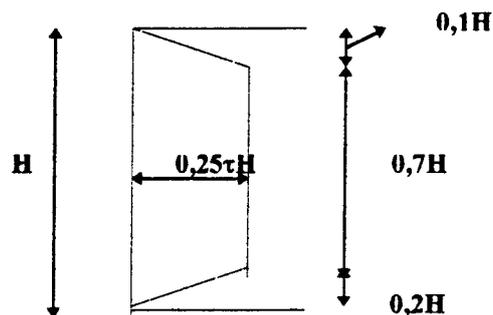


Gambar 3.11. Diagram gaya dinding pada tanah kohesif

3.6.3. Dinding dengan Menggunakan “Ground Anchor”

Metode “free earth support” menganggap bahwa dinding adalah kaku dan dapat berotasi pada permukaan batang “ground anchor”, dan keruntuhan yang terjadi akibat rotasi ada di sekitar batang “ground anchor”.

Perencanaan perhitungan “ground Anchor”, menggunakan diagram tekanan tanah lateral dari Tschebotarioff (1973), yaitu : (gambar 3.12)



Gambar 3.12. Diagram tekanan tanah lateral dari Tschebotarioff (1973)

Daya dukung dari “ground anchor” dihitung berdasarkan persamaan”

$$T = A_s \tau = \pi D L_a \tau$$

Maka panjang lekatan “ground anchor” adalah:

$$L_a = \frac{T}{\pi D \tau}$$

Panjang total “ground anchor”:

$$L = \frac{F_s \cdot \sigma_a \cdot v \cdot h}{\pi D \sigma_v \tan(2/3 \cdot \phi)}$$

3.7. Daya Dukung Vertikal

Gaya ultimate (P_u) yang dapat bekerja merupakan penjumlahan dari daya dukung ultimate dasar (P_b) dan daya dukung ultimate selubung (P_s), karena daya dukung ultimate dari selubung dan dasar bekerjanya tidak pada waktu yang bersamaan, maka keduanya dikalikan dengan faktor keamanan. Maka gaya yang bekerja adalah:

$$P_w = \frac{P_b}{F_b} + \frac{P_s}{F_s}$$

Dengan F_b dan F_s adalah faktor keamanan dari daya dukung dasar dan selubung. F_b dan F_s digunakan paling sedikit 2 dan dianjurkan 2,5. Untuk daya dasar yang kurang pasti, F_b digunakan 3. Jika F merupakan faktor keamanan yang menghubungkan P_u dan P_w , maka:

$$P_w = \frac{P_u}{F} \quad \text{dan} \quad P_u = P_b + P_s$$

dimana:

$$F = \frac{F_s F_b (1 + R)}{F_s + F_b R}$$

untuk:

$$R = \frac{P_s}{P_b}$$



3.7.1. Daya Dukung Selubung

Daya dukung selubung ini diberi simbol P_s .

Pada tanah kohesif :

$$P_s = \sum (S \Delta L \alpha S_u), \text{ dengan:}$$

S = keliling efektif

L = panjang panel

α = faktor reduksi

S_u = undrained shear strength

Harga ditentukan berdasarkan pada 3 penggolongan dari lempung, yaitu

"soft" dengan $\alpha=1$, "stiff" dengan $\alpha=0,45-0,6$, dan "hard".

Pada tanah non kohesif :

$$P_s = \sum S \Delta L \alpha \sigma'_v \tan \phi', \text{ dengan :}$$

S = keliling efektif

L = panjang panel

σ'_v = effective overburden stress

ϕ' = sudut geser dalam efektif

α = faktor reduksi

= 0,7 untuk kedalaman $< 7,6$ m, dan

= 0,5 untuk kedalaman $> 7,6$ m.

3.7.2. Daya Dukung Dasar

Daya dukung dasar ini diberi simbol P_b

Pada tanah kohesif:

$$P_b = A_b \cdot N_c \cdot s_u, \text{ dengan}$$

A_b = luas dasar

s_u = undrained shear strength

N_c = faktor daya dukung

Pada tanah non kohesif:

$P_b = A_b N_q \sigma'_{v_0}$, dengan:

N_q = faktor daya dukung

3.8. Tinjauan Keamanan

1. Terhadap stabilitas geser

$$SF = \frac{\text{gaya penahan}}{\text{gaya pendorong}} > 1,5$$

Gaya penahan = $(0,8 \cdot c \cdot l + w_{tot})$

Gaya pendorong = jumlah tekanan tanah lateral

2. Terhadap stabilitas guling

$$SF = \frac{\text{momen penahan}}{\text{momen pendorong}} > 2$$

Momen penahan = $W_{tot} (H - Z) \cdot x$

dengan : H = kedalaman panel

$$Z = 2 S_u / \tau$$

$$S_u = c'$$

x = jarak titik berat terhadap ujung dinding

Momen pendorong = $P (L - Z) \cdot x$

3. Terhadap daya dukung

$$SF = \frac{P_u}{P} > 3$$

Perhitungan penulangan dinding menggunakan rumus-rumus berdasarkan pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia'71.

BAB IV

ANALISA PERHITUNGAN

4.1. DATA - DATA TANAH

Pada suatu areal tanah direncanakan gedung dengan menggunakan dinding “diafragma” yang berfungsi sebagai dinding “basement”. Tinggi “basement” 1 adalah 3,0 meter, “basement” 2 dan 3 masing-masing 2,6 meter, dan garis keruk pada kedalaman 9 meter. Sistem pembangunan struktur utama dari bawah ke atas (bottom up), yaitu dengan menggali dahulu tanah sampai kedalaman yang diinginkan. Potongan melintang parit dapat dilihat pada gambar 4.1.

Data-data tanah didapat dari laboratorium Konsultan Pratama Widya (terlampir), dengan keadaan tanah sebagai berikut : (gambar 4.2)

- dari 0,00 sampai -8,00 m : silt, ML/MH, soft to medium, dengan:

$$\tau = 1,40 \text{ t/m}^3 ; c = 1,0 \text{ t/m}^2 ; c' = 0,7 \text{ t/m}^2 ; \phi = 30^\circ ; \phi' = 34^\circ$$

- dari -8,00 sampai -14,00 m : clay, CH, very soft to soft, dengan :

$$\tau = 1,22 \text{ t/m}^3 ; c' = 1,8 \text{ t/m}^2 ; \phi' = 26^\circ$$

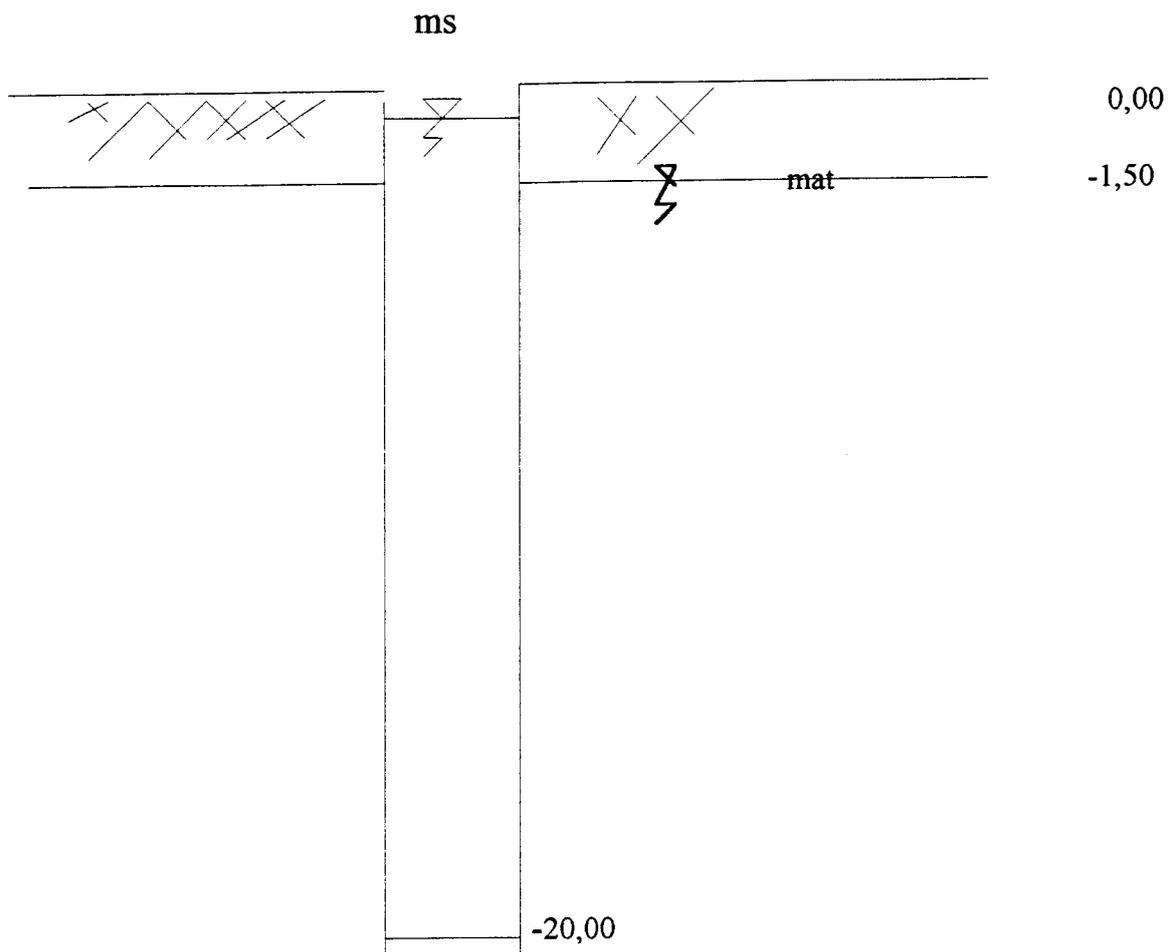
- dari -14,00 sampai ± 20 m : silt, MH, soft to hard , dengan :

$$\tau = 1,4 \text{ t/m}^3 ; c' = 1,9 \text{ t/m}^2 ; \phi' = 26^\circ$$

Harga q = 1 t/m

4.2. PEMBAHASAN

4.2.1. Stabilitas dari Parit



gambar 4.1. potongan melintang parit

$$\bar{\varnothing}' = \frac{34^\circ + 26^\circ}{2} = 30^\circ$$

$$\bar{\tau} = \frac{1,40 + 1,22}{2} = 1,31 \text{ t/m}^3$$

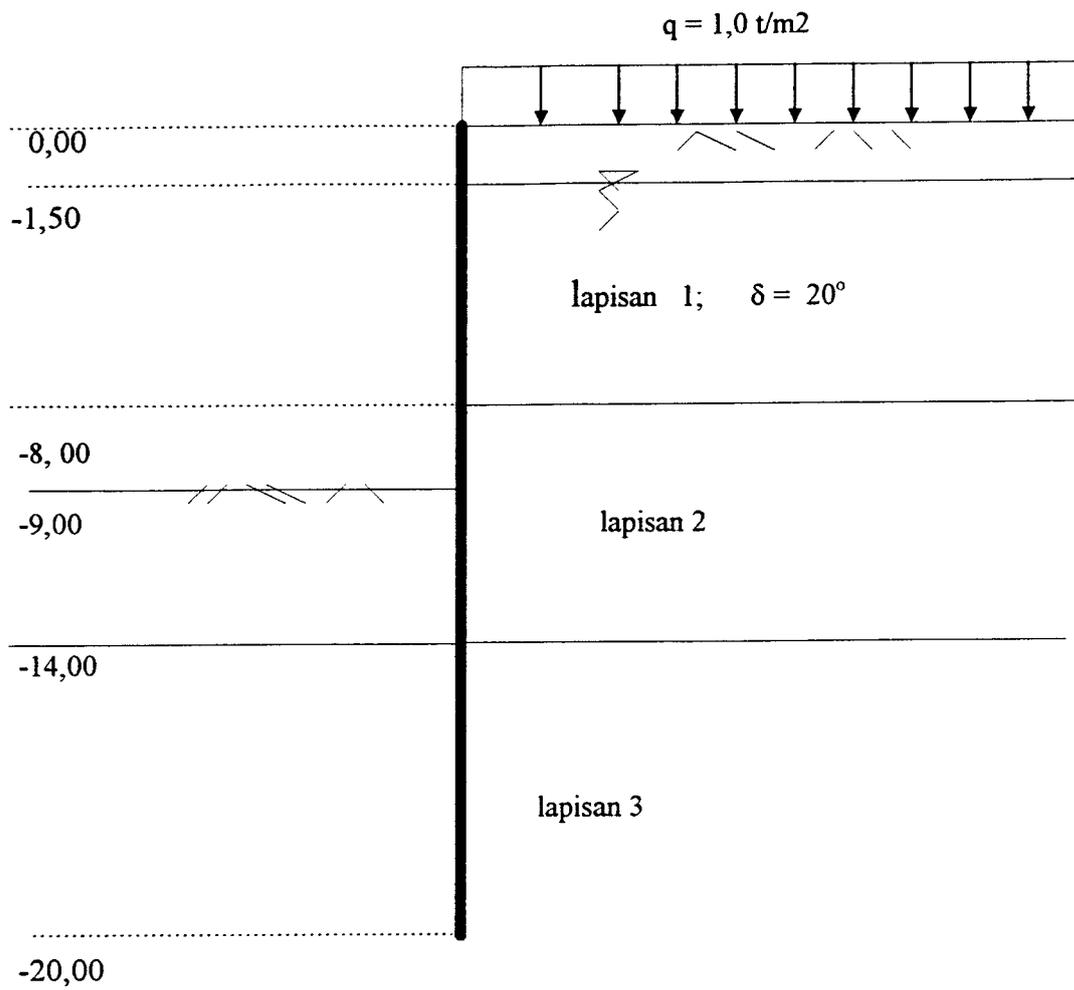
$$\tau_f = 1,3 \text{ t/m}^3$$

$$\tau' = 0,6 \text{ t/m}^3$$

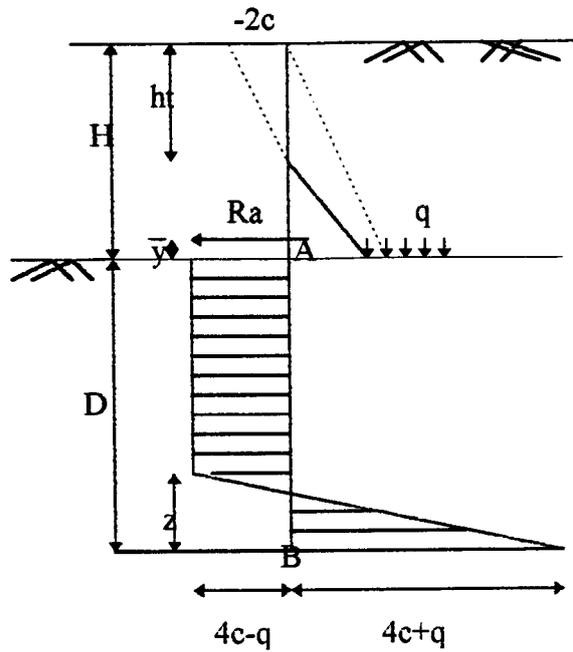
$$\tau'f = 0,3 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{FS} &= \frac{2 \sqrt{(\tau' \cdot \tau'f) \tan \varnothing}}{\tau' - \tau'f} \\ &= \frac{2 \sqrt{(0,6 \cdot 0,3) \tan 30^\circ}}{0,6 - 0,3} \\ &= 1,63 > 1,3 \quad \text{ok} \end{aligned}$$

4.2.2. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif



gambar 4.2. detail lapisan tanah



gambar 4.2b. "sheet Pile pada tanah kohesive"

Perhitungan pemancangan dinding diafragma dari garis keruk ke bawah, berdasarkan rumus halaman 42 dan 43.

$$K_a = K_a' = 0,333$$

$$K_p = K_p' = 4,857$$

Tekanan efektif pada garis keruk (q):

$$q = \gamma_e \cdot H$$

$$q = 1,5 \cdot 1,4 + 6,5 \cdot 1,4 + 1,22 = 12,42 \text{ t/m}^2$$

Tekanan lateral efektif (Ra):

$$R_a = 1,5 \cdot 1,4 \cdot (1,5/2) \cdot 0,3333 + 6,5 \cdot 1,4 \cdot 0,333 \cdot 6,5 + (1/2) \cdot 1,22 \cdot 1 \cdot 0,333$$

$$= 20,678 \text{ ton}$$

$$20,678 \bar{y} = 1,2 (0,663)^2 \cdot 1/3 + 0,457 (0,663 + 1,5/3) + 19,697 (1,413) +$$

$$0,524(7,163 + 6,5/3) = 33,412$$

$$\bar{y} = 33,412/20,678 = 1,616 \text{ m}$$

$$D^2 (4c - q) - 2D \cdot Ra - Ra \{ (12 \cdot \bar{c} \cdot \bar{y} + Ra) / (2c + q) \} = 0$$

$$4c - q = 4,8 \text{ t/m}^2$$

$$2Ra = 41,356 \text{ ton}$$

$$12 \cdot \bar{c} \cdot \bar{y} + Ra = 55,584 \text{ t/m}^2$$

$$2c + q = 16,02 \text{ t/m}^2$$

$$(55,584/16,02) = 3,469 \text{ t/m}^2$$

Substitusi:

$$4,8 D^2 - 41,356D - 20,678 \cdot 3,469 = 0$$

$$D^2 - 8,616D = 14,944$$

$$(D - 4,308)^2 = 14,944$$

$$D = 10,1 \text{ meter.}$$

Chek:

$$z = \{D(4c - q) - Ra\} / 4c$$

$$= \{(10,1 \cdot 4,8) - 20,678\} / 7,2 = 3,86 \text{ meter}$$

$$\Sigma F_H = 0$$

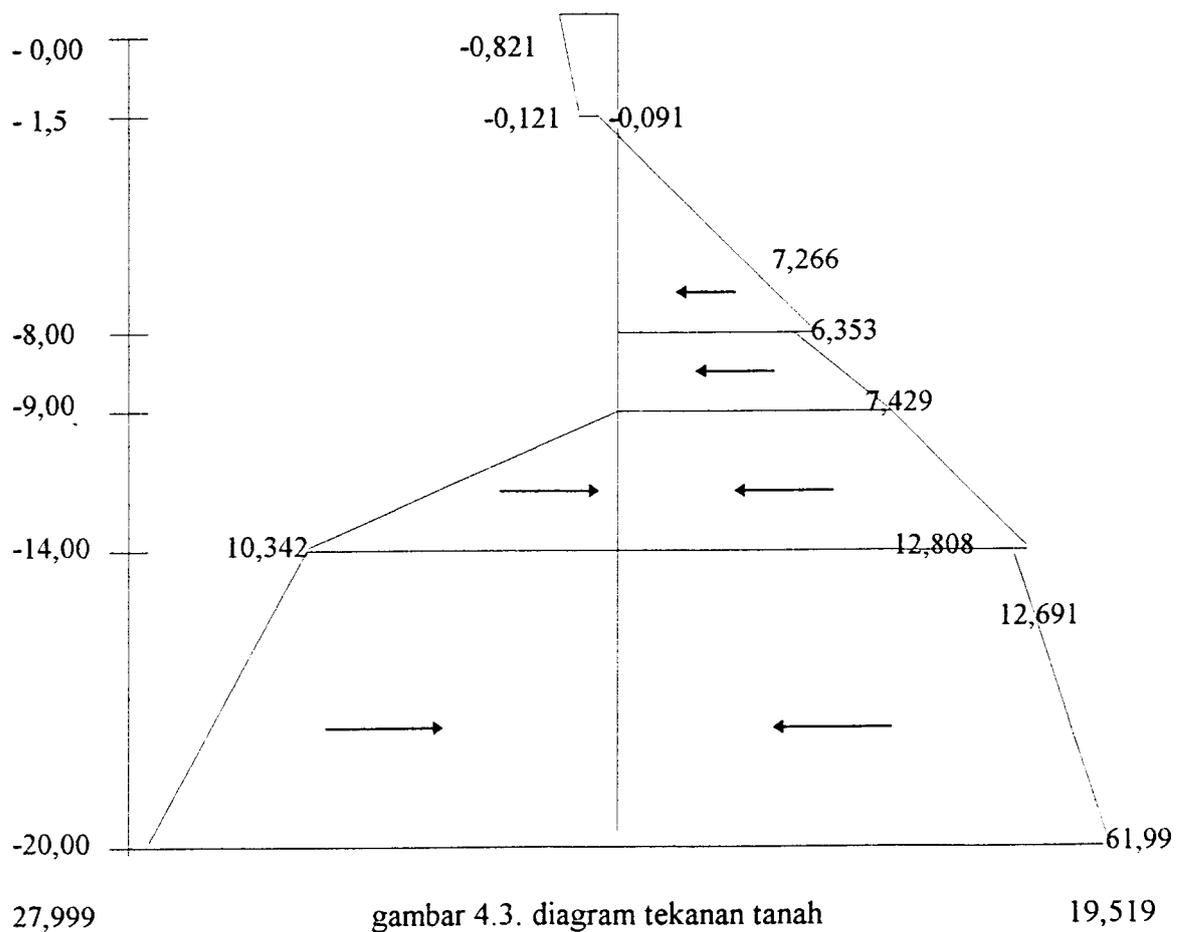
$$Ra + (z/2) (4c + 4c) - D (4c - q) = 0$$

$$20,678 + (3,86/2) \cdot (14,4) - 10,1 (4,8) = 0,012 \approx 0, \text{ Oke.}$$

Maka dalamnya pemancangan dari garis keruk adalah 10,1 meter, lebih kecil dari dalam pemancangan yang digunakan di proyek, yaitu 11,00 m. Untuk perhitungan selanjutnya digunakan nilai D yang dipergunakan di proyek.

Koefisien tekanan tanah aktif dan pasif berdasarkan metode Coulomb, didapat berdasarkan tabel K_p dan K_a Coulomb : (tabel K_a dan K_p Coulomb dapat dilihat pada lampiran no.1)

lapisan 1	$K_{a1} = 0,333$	$\sqrt{K_{a1}} = 0,577$
	$K_{a1} = 0,259$	$\sqrt{K_{a1}} = 0,509$
lapisan 2	$K_{a2} = 0,345$	$\sqrt{K_{a2}} = 0,587$
	$K_{p2} = 4,857$	$\sqrt{K_{p2}} = 2,209$
Lapisan 3	$K_{a3} = 0,345$	$\sqrt{K_{a3}} = 0,587$
	$K_{p3} = 4,857$	$\sqrt{K_{p3}} = 2,209$



gambar 4.3. diagram tekanan tanah

Kedalaman

Besarnya Tekanan

0 m

$$\begin{aligned}
 Pa &= q \cdot Ka_1 - 2 \cdot c_1 \cdot \sqrt{Ka_1} \\
 &= 1 \cdot 0,333 - 2 \cdot 1 \cdot 0,577 \\
 &= -0,821 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

1,5 m

$$\begin{aligned}
 Pa' &= (q + \tau_1 \cdot h_1) Ka_1 - 2 c_1 \sqrt{Ka_1} \\
 &= (1 + 1,4 \cdot 1,5) 0,333 - 2 \cdot 1 \cdot 0,577 \\
 &= -0,121 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa'' &= (q + \tau_1 \cdot h_1) Kai - 2 c_i \sqrt{Kai} \\
 &= (1 + 1,4 \cdot 1,5) 0,259 - 2 \cdot 0,7 \cdot 0,509 \\
 &= -0,091 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

8 m

$$\begin{aligned}
 Pa' &= (q + \tau_1 \cdot h_1 + \tau_1 \cdot h_2) Kai + \tau_w \cdot h_2 - 2 c_i \sqrt{Kai} \\
 &= (1 + 1,4 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 6,5) 0,259 + 1 \cdot 6,5 \\
 &\quad - 2 \cdot 0,7 \cdot 0,509 \\
 &= 7,266 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa'' &= (q + \tau_1 \cdot h_1 + \tau_i \cdot h_2) Ka_2 + \tau_w \cdot h_2 - 2 c_2 \sqrt{Ka_2} \\
 &= (1 + 1,4 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 6,5) 0,345 + 1 \cdot 6,5 \\
 &\quad - 2 \cdot 1,8 \cdot 0,587 \\
 &= 6,353 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

9 m

$$\begin{aligned}
 Pa' &= (q + \tau_1 \cdot h_1 + \tau_i \cdot h_2 + \tau_2 \cdot h_3) Ka_2 + \\
 &\quad \tau_w \cdot h_2 + \tau_w \cdot h_3 - 2 c_2 \sqrt{Ka_2} \\
 &= (1 + 1,4 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 6,5 + 0,22 \cdot 1) \cdot 0,345 \\
 &\quad + 1 \cdot 6,5 + 1 \cdot 1 - 2 \cdot 1,8 \cdot 0,587 \\
 &= 7,429 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

14 m

$$\begin{aligned}
 Pa' &= (q + \tau_1 \cdot h_1 + \tau_i \cdot h_2 + \tau_2 \cdot h_3) Ka_2 + \\
 &\quad \tau_w \cdot h_2 + \tau_w \cdot h_3 - 2 c_2 \sqrt{Ka_2} \\
 &= (1 + 1,4 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 6,5 + 0,22 \cdot 6) \cdot 0,345 + \\
 &\quad 1 \cdot 6,5 + 1 \cdot 6 - 2 \cdot 1,8 \cdot 0,587 \\
 &= 12,808 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa'' &= (q + \tau_1 \cdot h_1 + \tau_i \cdot h_2 + \tau_2 \cdot h_3) Ka_3 + \tau_w \cdot h_2 + \\
 &\quad \tau_w \cdot h_3 - 2 c_3 \sqrt{Ka_3} \\
 &= (1 + 1,4 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 6,5 + 0,22 \cdot 6) \cdot 0,345 \\
 &\quad + 1 \cdot 6,5 + 1 \cdot 6 - 2 \cdot 1,9 \cdot 0,587 \\
 &= 12,691 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pp &= \tau_2 \cdot h_4 \cdot Kp_3 + \tau_w \cdot h_4 \\
 &= 0,22 \cdot 5 \cdot 4,857 + 1 \cdot 5 \\
 &= 10,342 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

20 m

$$\begin{aligned}
 P_a &= (q + \tau_1 \cdot h_1 + \tau_i \cdot h_2 + \tau_2' \cdot h_3 + \tau_3' \cdot h_4) \\
 &\quad K_{a3} + \tau_w \cdot h_2 + \tau_w \cdot h_3 + \tau_w \cdot h_4 - \\
 &\quad 2 c_3' \sqrt{K_{a3}} \\
 &= (1 + 1,4 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 6,5 + 0,22 \cdot 6 + 0,4 \cdot 6) \\
 &\quad 0,345 + 1 \cdot 6,5 + 1 \cdot 6 + 1 \cdot 6 - 2 \cdot 1,9 \cdot 0,587 \\
 &= 19,519 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_p &= (\tau_2' \cdot h_4 + \tau_3' \cdot h_5) K_{p3} + \tau_w \cdot h_4 + \tau_w \cdot h_5 \\
 &= (0,22 \cdot 5 + 0,4 \cdot 6) 4,857 + 1 \cdot 5 + 1 \cdot 6 \\
 &= 27,999 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

$$0,121 : 7,266 = a : (6,5 - a)$$

$$a = 0,107 \text{ m}$$

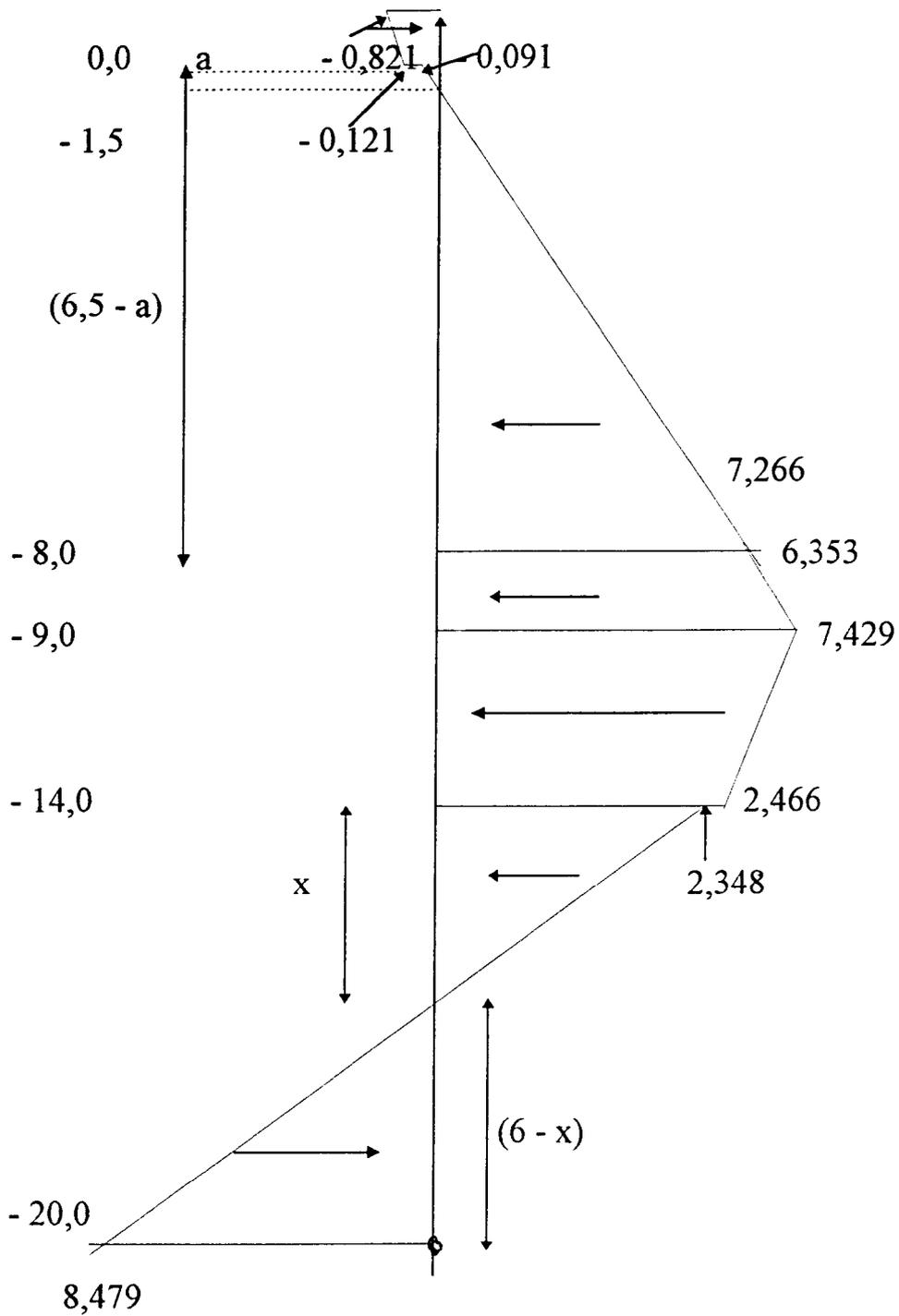
$$(6,5 - a) = 6,393 \text{ m}$$

$$8,480 : 2,348 = (6 - x) : x$$

$$x = 1,596 \text{ m}$$

$$(6 - x) = 4,403 \text{ m}$$

Diagram tekanan tanah dapat dilihat pada gambar 4.3, dan gambar 4.4. merupakan diagram gaya-gaya yang terjadi



gambar 4.4. diagram tekanan gaya

Dari gambar 4.4, diperoleh:

Jumlah tekanan aktif :

$$P_a = (6,393 \cdot 7,266 \cdot 0,5) + (6,353 + 7,429)1 \cdot 0,5 + (7,429 + 2,466) 5 \cdot 0,5 + 1,596$$

$$(-2,913) \cdot 0,5 = 52,533 \text{ ton}$$

Jumlah tekanan tanah pasif :

$$P_p = 4,403 \cdot 8,479 \cdot 0,5 = 18,666 \text{ ton}$$

4.2.3. Perhitungan Momen

1. Tanpa “Ground Anchor”

Perletakan dianggap “free earth support”, dengan nilai momen maksimum yang digunakan sebagai perhitungan. Perhitungan momen berdasarkan pada gambar 4.4.

$$M = (7,266 \cdot 6,393 \cdot 0,5)(1/3 \cdot 6,393 + 1) + (6,353 \cdot 1 \cdot 0,5) + (1,076 \cdot 1 \cdot 0,5) \cdot 1/3 \cdot 1$$

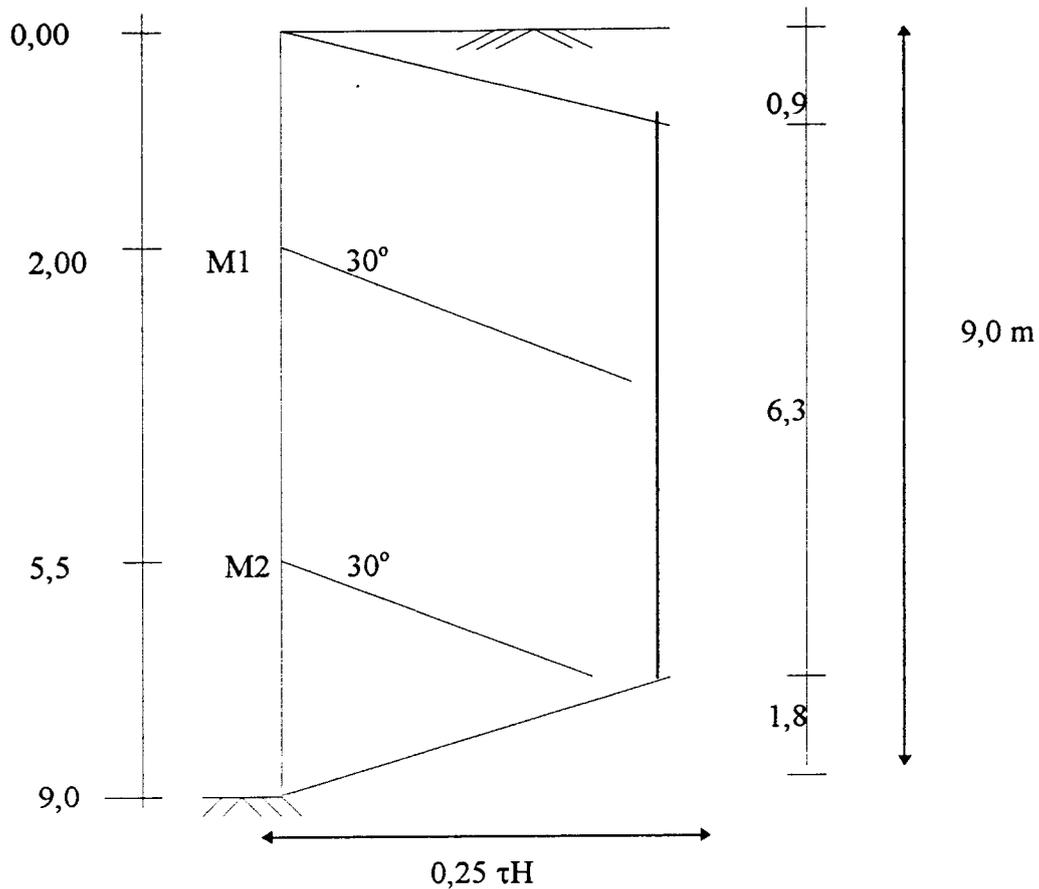
$$= 76,07587 \text{ tm}$$

$$= 7607587 \text{ kgcm}$$

2. Dengan “Ground Anchor”

Perhitungan momen dengan menggunakan “ground anchor” ini akan menghasilkan momen yang lebih kecil, karena momen yang ada /terjadi, didistribusikan terhadap “ground anchor” yang ada. Tetapi pada setiap dinding diaphragma yang ada, tidak semua dipasang “ground anchor”, karena di lapangan yang tidak memungkinkan pemasangannya. Rumus pemasangan yang dipergunakan adalah dari “Tschebotarioff (1973)”.

a) Perhitungan gaya yang dipikul "ground anchor"



Gambar 4.5 diagram perhitungan momen dengan "ground anchor"

Dari gambar 4.5. diperoleh:

$$0,25 \tau H = 0,25 \cdot 1,31 \cdot 9 = 2,95 \text{ ton}$$

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$T_2 \cos 30^\circ \cdot 3,5 = -(2,95 \cdot 0,9 \cdot 0,5) 1,7 + (2,95 \cdot 6,3) 2,05 + (2,95 \cdot 1,8 \cdot 0,5) 5,8$$

$$T_2 \cos 30^\circ = 14,640 \text{ ton}$$

$$T_2 = 16,905 \text{ ton}$$

$$\Sigma M_2 = 0$$

$$T_1 \cos 30^\circ \cdot 3,5 = -(2,95 \cdot 1,8 \cdot 0,5) 2,3 + (2,95 \cdot 6,3) 1,45 + (2,95 \cdot 0,9 \cdot 0,5) 5,2$$

$$T_1 \cos 30^\circ = 7,927 \text{ ton}$$

$$T_1 = 9,153 \text{ ton}$$

Gaya pratekan yang diperlukan (T_p)

Jarak horisontal "ground anchor" = 2 meter, maka :

$T_p = L \cdot f \cdot T$, dengan :

L = jarak horisontal

f = koefisien gesekan = 1,2

T = gaya yang dipikul "ground anchor"

$$T_{p1} = 2 \cdot 1,2 \cdot 9,153 = 21,968 \text{ ton}$$

$$T_{p2} = 2 \cdot 1,2 \cdot 16,905 = 40,572 \text{ ton}$$

Panjang lekatan yang diperlukan dengan ketentuan sebagai berikut ini:

$$D = 25 \text{ cm}$$

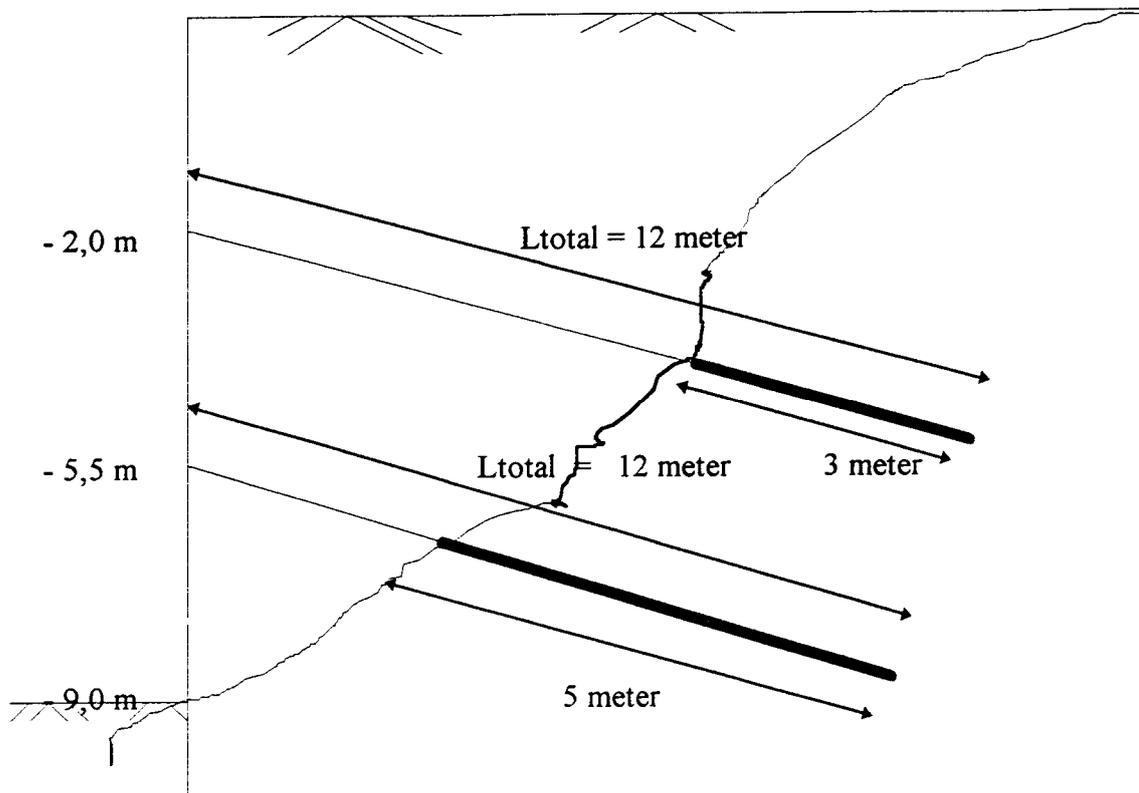
$\tau_1 = 1,25 \text{ kg/cm}^2$, maka panjang lekatannya adalah:

$$L_a = \frac{T}{\pi \cdot D \cdot \tau_1}$$

$$L_{a1} = 223,766 \text{ cm} \text{ digunakan } 3 \text{ m}$$

$$L_{a2} = 413,270 \text{ cm} \text{ digunakan } 5 \text{ m}$$

Panjang "ground anchor" yang diperlukan, dapat dilihat pada gambar 4.6.



gambar 4.6. panjang “ground anchor” yang diperlukan

Panjang total “ground Anchor”

$$L = \frac{FS \cdot \sigma_a \cdot v \cdot h}{\pi \cdot D \cdot \sigma_v \cdot \tan(2/3 \phi)}$$

dengan : $\sigma_a = (1,5 \cdot 1,4 \cdot 0,333) + (6,5 \cdot 1,4 \cdot 0,259) + (1 \cdot 1,22 \cdot 0,345) = 3,483 \text{ t/m}^2$

$h = \text{jarak horisontal antar “ground anchor”} = 2 \text{ meter}$

$v = \text{jarak vertikal antar "ground anchor"} = 3,5 \text{ meter}$

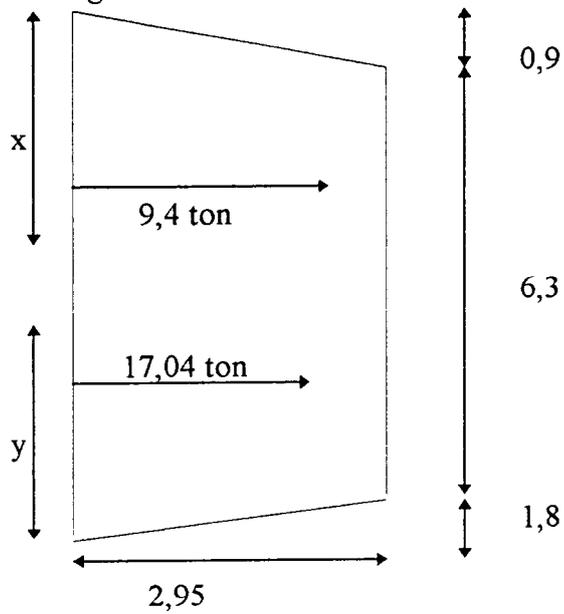
$$\sigma_v = (1,5 \cdot 1,4) + (6,5 \cdot 1,4) + (1 \cdot 1,22) = 12,42 \text{ t/m}^2$$

$$FS = 1,63$$

maka :

$L_{\text{total}} = 11,193 \text{ meter}$, diambil = 12 meter.

b). Perhitungan Momen



gambar 4.7. perhitungan momen pada "ground anchor"

Berdasarkan gambar 4.7, didapat:

$$0 \leq x \leq 0,9$$

$$M = - (x / 0,9 \cdot 2,95) \cdot x/2 \cdot 1/3 \cdot x$$

$$= -0,546 x^3$$

$$x = 0 \rightarrow M = 0$$

$$x = 0,9 \rightarrow M = -0,398$$

$$0 \leq x \leq 1,1$$

$$M = \{-(2,95 \cdot 0,9 \cdot 0,5) (0,6 + x)\} - \{2,95 \cdot x \cdot 1/2 \cdot x\}$$

$$= -0,796 - 1,327 x - 1,475 x^2$$

$$x = 0 \quad \rightarrow \quad M = -0,797$$

$$x = 0,55 \quad \rightarrow \quad M = -2,338$$

$$x = 1,1 \quad \rightarrow \quad M = -3,879$$

$$0 \leq x \leq 3,5$$

$$M = \{-(2,95 \cdot 0,9 \cdot 1/2) (1,7 + x)\} - \{2,95 \cdot 1,1 (0,55 + x)\} - \{2,95 \cdot x \cdot 1/2 \cdot x\}$$

$$+ \{7,927 \cdot x\}$$

$$= -1,475x^2 + 3,3545 x - 4,042$$

$$\frac{dmx}{dx} = -2,95 x + 3,354$$

$$x = 1,137 \text{ m}$$

$$x = 0 \quad \rightarrow \quad M = -4,042$$

$$x = 1,137 \quad \rightarrow \quad M = -2,135$$

$$x = 1,75 \quad \rightarrow \quad M = -2,690$$

$$x = 3,4 \quad \rightarrow \quad M = -10,370$$

$$0 \leq y \leq 1,8$$

$$M = -(y/1,8 \cdot 2,95) \cdot y/2 \cdot 1/3 \cdot y$$

$$= -0,273 y^3$$

$$y = 0 \quad \rightarrow \quad M = 0$$

$$y = 1,8 \quad \rightarrow \quad M = -0,491$$

$$0 \leq y \leq 1,7$$

$$M = \{-(2,95 \cdot 1,8 \cdot 1/2) (0,6 + y)\} - \{2,95 \cdot y \cdot 1/2 \cdot y\}$$

$$= -1,593 - 2,655y - 1,475y^2$$

$$y = 0 \rightarrow M = -1,593$$

$$y = 1,7 \rightarrow M = -10,370$$

Momen maximum yang terjadi adalah 10,370 ton meter.

4.2.4. Penulangan Dinding

Pada penulangan panel, ketentuan yang digunakan :

$$\text{Beton } K_{225} \rightarrow \bar{\sigma}_b = 75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Baja } U_{39} \rightarrow \sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 21$$

$$b = \text{lebar panel} = 4,8 \text{ meter} = 480 \text{ cm}$$

$$ht = \text{tebal panel} = 0,8 \text{ meter} = 80 \text{ cm}$$

$$d = 5 \text{ cm}$$

$$h = ht - d = 75 \text{ cm}$$

$$\text{Momen} = 10,37 \text{ tm} = 1037000 \text{ kgcm}$$

$$\xi = \frac{\bar{\sigma}_b}{\frac{\bar{\sigma}'_a}{n} + \bar{\sigma}'_b} = \frac{75}{\frac{2250}{21} + 75} = 0,4118$$

$$\alpha_o^2 = \frac{1}{0,5 \cdot \bar{\sigma}_b \cdot \xi (1 - \xi / 3)} = \frac{1}{0,5 \cdot 75 \cdot 0,4118 (1 - 0,4118/3)}$$

$$= 0,0751$$

$$\alpha_o = 0,2740$$

$$\omega_o = 0,5 \frac{\sigma'_b}{\bar{\sigma}'_a} \xi = 0,5 \frac{75}{2250} 0,4118 = 0,00686$$

$$\alpha = \frac{h}{\sqrt{M/b}}$$

$$\bar{\sigma}_b = \frac{1}{0,5 \xi (1 - \xi/3) \alpha^2}$$

$$\omega = 0,5 \xi (\sigma'_b / \bar{\sigma}_a)$$

$$A = \omega \cdot b \cdot h$$

a) Penulangan dinding diafragma tanpa "ground anchor"

$$\alpha = 0,6 > \alpha_o = \text{tulangan sebelah}$$

$$\sigma_b = 15,625 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = 0,0014$$

$$A = 50,35 \text{ cm}^2$$

Tulangan pokok

$$\text{Dipakai tulangan } \varnothing 25 \longrightarrow A_1 \varnothing = 4,910 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jarak antar tulangan (x)} \longrightarrow x \leq \frac{4,910 \cdot 100}{50,40} = 9,74 \text{ cm}$$

diambil 9,5 cm = 95 mm

Digunakan tulangan baja U₃₉ : $\varnothing 25 - 95 \text{ mm}$

Tulangan bagi

$$\text{Tulangan bagi} = 20 \% \times 50,40 = 10,08 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } \varnothing 10 \longrightarrow A_1 \varnothing = 0,785 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jarak antar tulangan (x) } \longrightarrow x = \frac{0,785 \cdot 100}{10,08} = 7,79 \text{ cm}$$

diambil 7,5 cm = 75 mm

Digunakan tulangan baja U39 : $\varnothing 10 - 75 \text{ mm}$

b) Penulangan dengan menggunakan “ground anchor”

$\alpha = 1,6 > \alpha_0 =$ tulangan sebelah

$$\sigma_b = 2,17 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega = 0,0002$$

$$A = 7,200 \text{ cm}^2$$

Tulangan Pokok

Digunakan diameter tulangan $\varnothing 19 \rightarrow A_1 \varnothing = 2,834 \text{ cm}^2$

$$x = \frac{2,84 \cdot 100}{7,200} = 39,4 \text{ cm}$$

Diambil jarak tulangan pokok 20 cm = 200 mm

Maka digunakan tulangan baja U39 $\varnothing 19 - 200$

Tulangan bagi

Digunakan diameter tulangan $\varnothing 6 \rightarrow A_1 \varnothing = 0,283 \text{ cm}^2$

$$20\% \times 7,149 = 1,44$$

$$x = \frac{0,283 \times 100}{1,44} = 19,65 \text{ cm}$$

diambil jarak 15 cm = 150 mm

Digunakan tulangan baja U39 Ø6 - 150

4.2.5. Daya Dukung Vertikal

$$P_s = \Sigma (S \cdot L \cdot \alpha \cdot s_u)$$

$$= (4,8 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1) + (4,8 \cdot 6,5 \cdot 0,5 \cdot 0,7) + (4,8 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 1,8) + 2(4,8 \cdot 6 \cdot 0,5 \cdot$$

$$1,9) + (4,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1)$$

$$= 80,28 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma'_v = (1,5 \cdot 1,4) + (6,5 \cdot 0,4) + (6 \cdot 0,22) + (6 \cdot 0,4)$$

$$= 8,42 \text{ t/m}^2$$

$$P_v = A_b \cdot N_c \cdot \sigma'_v$$

$$= 4,8 \cdot 0,8 \cdot 32 \cdot 8,42$$

$$= 1034,649 \text{ t/m}^2$$

$$P_w = \frac{P_b}{F_b} + \frac{P_s}{F_s}$$

$$= \frac{1034,649}{2,5} + \frac{80,28}{2,5} = 445,971 \text{ t/m}^2$$

$$F = \frac{F_b \cdot F_s (1 + R)}{F_s + F_b R}$$

$$R = \frac{8,42}{1034,649} = 0,08$$

$$= \frac{2,5 \cdot 2,5 \cdot (1 + 0,08)}{2,5 + 2,5 \cdot 0,08} = 2,5$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= P_w \cdot F \\
 &= 445,971 \cdot 2,5 \\
 &= 1114,929 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

4.2.6. Tinjauan Kestabilan

1. Terhadap stabilitas geser

$$\text{SF} = \frac{\text{ gaya penahan}}{\text{ gaya pendorong}} > 1,5$$

Gaya penahan : $(0,8c \cdot L + W_{\text{tot}})$, dengan L = kedalaman lapisan tanah yang ditinjau

$$W_{\text{tot}} = 1/2 \tau H^2 \tan(90 - \phi) + q$$

$$\begin{aligned}
 &[\{0,8 \cdot 1 \cdot 1,5\} + \{1/2 \cdot 1,4 \cdot 1,5^2 \tan(90 - 30) + 1\}] + [\{0,8 \cdot 0,7 \cdot 6,5\} + \{1/2 \cdot 1,4 \cdot 6,5^2 \tan(90 - \\
 &34) + 1\}] + [\{0,8 \cdot 1,8 \cdot 1\} + \{1/2 \cdot 1,22 \cdot 1^2 \tan(90 - 26) + 1\}] + [\{0,8 \cdot 1,8 \cdot 5\} + \{1/2 \cdot 1,22 \cdot 5^2 \tan(90 - \\
 &26) + 1\}] + [\{0,8 \cdot 1,9 \cdot 6\} + \{1/2 \cdot 1,4 \cdot 6^2 \tan(90 - 26) + 1\}] = 158,361 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

Gaya pendorong : jumlah tekanan tanah lateral

$$-0,821 - 0,121 - 0,091 + 7,266 + 6,353 + 7,429 + 12,808 + 12,691 + 19,519 = 65,033 \text{ t/m}$$

$$\text{SF} = 2,435 > 1,5 \text{ ok.}$$

2. Terhadap stabilitas guling

$$\text{SF} = \frac{\text{ momen penahan}}{\text{ momen pendorong}} > 2$$

Momen penahan : $W_{\text{tot}}(H - Z) \cdot x$, dengan : H = kedalaman total panel

$$z = 2 Su/\tau, Su = c$$

x = jarak titik berat terhadap ujung panel

$$\begin{aligned}
& [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 1,5^2 \tan(90 - 30) \} \{ 20 - (2,1/1,4) \} \{ 19,5 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 1,5^2 \tan(90 - 30) \} \{ 20 - (2,1/1,4) \} \{ 19,25 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 0,107^2 \tan(90-34) \} \{ 20 - (2,0,7/1,4) \} \{ 18,464 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 6,393^2 \tan(90-34) \} \{ 20 - (2,0,7/1,4) \} \{ 14,131 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,22 \cdot 1^2 \tan(90-26) \} \{ (20 - (2,1,8)/1,22) \} \{ 11,5 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,22 \cdot 1^2 \tan(90-26) \} \{ 20 - (2,1,8/1,22) \} \{ 11,333 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,22 \cdot 5^2 \tan(90-26) \} \{ 20 - (2,1,8/1,22) \} \{ 8,5 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,22 \cdot 5^2 \tan(90-26) \} \{ 7,667 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 6^2 \tan(90-26) \} \{ 20 - (2,1,9/4) \} \{ 3 \}] + [\{ \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 6^2 \tan(90-26) \} \{ 20 - (2,1,9/1,4) \} \{ 2 \}] = 26921,931 \text{ tm}
\end{aligned}$$

Momen Pendorong : P (H -z).x, dengan : P = gaya lateral

$$\begin{aligned}
& \{ (-0,821) \cdot (20 - 2,1/1,4) \cdot (19,5) \} + \{ (-0,121) \cdot (20 - 2,1/1,4) \cdot (19,25) \} + \{ (-0,091) \cdot (20 - 2,0,7/1,4) \cdot (18,464) \} + \{ (7,266) \cdot (20 - 2,0,7/1,4) \cdot (14,131) \} + \{ (6,353) \cdot (20 - 2,1,8/1,22) \cdot (11,5) \} + \{ (1,076) \cdot (20 - 2,1,8/1,22) \cdot (11,333) \} + \{ (4,963) \cdot (20 - 2,1,8/1,22) \cdot (9,333) \} + \{ (2,466) \cdot (20 - 2,1,9/1,4) \cdot (8,5) \} + \{ (2,348) \cdot (20 - 2,1,9/1,4) \cdot (5,468) \} \\
& = 4405,809 \text{ tm}
\end{aligned}$$

$$SF = 6,111 > 2 \text{ ok.}$$

3. Terhadap daya dukung

$$SF = \frac{P_u}{P} > 3$$

$$P_u = 1114,929 \text{ t/m}$$

$$P = 52,533 \text{ t/m}$$

$$SF = 21,223 > 3 \text{ ok.}$$

BAB V

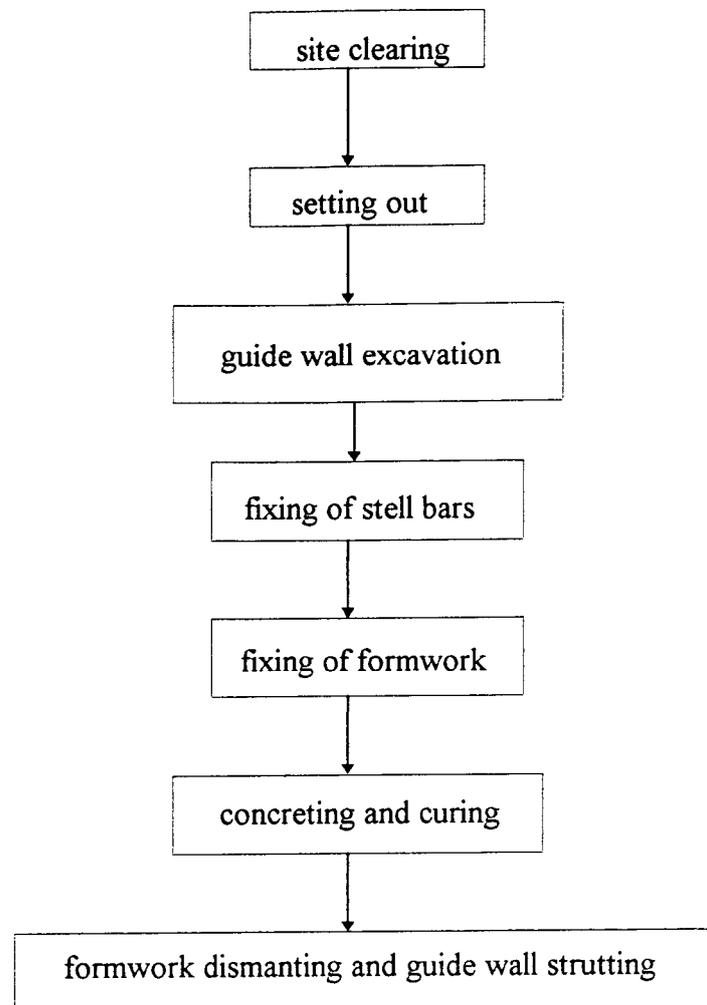
PELAKSANAAN PEKERJAAN

Pemilihan pelaksanaan pekerjaan “basement” dengan metode dinding diafragma pada proyek Menara Merdeka Jakarta adalah dengan pertimbangan sempitnya areal yang tersedia.

Secara garis besar, pelaksanaan pekerjaan dinding diafragma ini meliputi beberapa tahapan, dibawah ini akan dijelaskan satu persatu tahap-tahap pekerjaan tersebut.

5.1. PELAKSANAAN AWAL

Pelaksanaan awal dari pekerjaan dinding diafragma ini adalah pembuatan dinding pengarah atau “guide wall”, yang merupakan suatu struktur “temporary” di sekeliling lokasi yang berfungsi sebagai dinding pengarah pada saat penggalian dinding diafragma. Pelaksanaan pembuatan “guide wall” dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1. Bagan pelaksanaan pembuatan “guide wall”

5.1.1. SITE CLEARING

“Site Clearing” merupakan pekerjaan awal dari suatu proyek. Pada pekerjaan ini lokasi dibersihkan dari barang-barang bekas yang ada, perataan lokasi (gambar 5.2), dan penentuan as-as untuk penggalian. Pada perataan lokasi, tanah diratakan sesuai elevasi yang telah disepakati., hal ini untuk memudahkan pekerjaan pembuatan “access road” (gambar 5.3) bagi peralatan-peralatan yang akan digunakan.



Gambar 5.2. "Site clearing"



gambar 5.3. Pencoran "aces road"

5.1.2. Setting Out

"Setting out" merupakan pengukuran-pengukuran tanah yang diterapkan dari gambar ke alam.

5.1.3. Guide Wall Excavation

Penggalian “guide wall” dimulai setelah perataan lokasi selesai seluruhnya. “Guide wall” ini dibuat di sekeliling lokasi dengan ketentuan luas efektif pada sisi dalam. Yang dimaksud dengan luas efektif ini adalah luas bangunan yang direncanakan.

Toleransi yang digunakan dalam memperlebar dinding pengarah ini selalu mengarah ke bagian luar, hal ini untuk menghindari terambilnya luas efektif bangunan. Kedua sisi “guide wall” mempunyai ukuran kedalaman antara 1,5 meter sampai dengan 2,5 meter tergantung elevasi “cut of level” (col) dan tebal concrete bervariasi antara 0,075 meter sampai dengan 0,1 meter. Sedangkan panjang arah horisontal antara 1,5 meter sampai dengan 2 meter untuk sisi luar (“earth side”) dan 8 meter sampai dengan 10 meter untuk sisi galian (“excavated side”) yang nantinya akan dibuat untuk “access road” dengan tebal concrete antara 0,15 meter sampai dengan 0,2 meter dari permukaan tanah asli. Lebar dinding diafragma bervariasi antara 0,6 meter sampai dengan 1,0 meter disesuaikan dengan alat yang ada. Lebar dinding pengarah ini dibuat 0,5 meter lebih besar dari dinding diafragma yang akan dibuat untuk memudahkan pergerakan “grabber”.

Karena kedalaman dari dinding pengarah ini relatif dangkal, maka untuk menghemat biaya, penggalian dibuat secara “manual”. Penggalian dilakukan secara serentak diseluruh lokasi proyek. Setelah penggalian dinding pengarah ini selesai, tanah bekas galian dibuang ke tempat yang telah disetujui oleh semua pihak. Penggalian dinding pengarah ini dapat dilihat pada gambar 5.4.



Gambar 5.4. Penggalian dinding pengarah

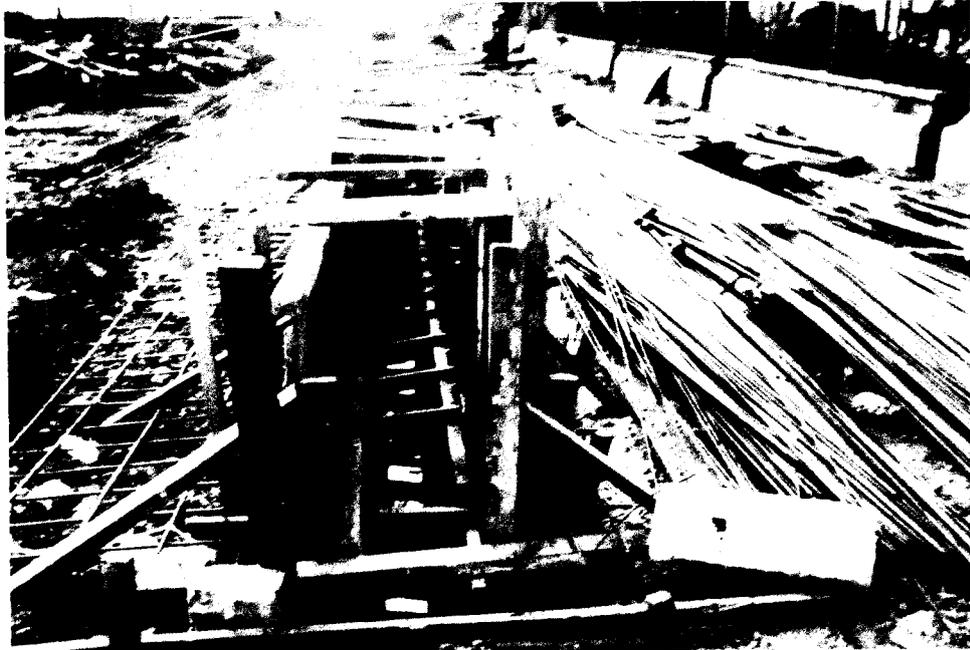
5.1.4. Fixing of Stel Bars

“Fabrikasi” tulangan dilakukan ketika penggalian sedang dilaksanakan, hal ini untuk menghemat waktu. Setelah tulangan siap, dinding pengarah diperiksa kembali, dan diyakini bahwa keadaan tanahnya stabil. Tulangan dipasang, dan pemeriksaan selalu dilakukan untuk menghindari pemasangan yang tidak tegak lurus dan tidak sejajar. Pemasangan tulangan dapat dilihat pada gambar 5.5.

gambar 5.5. Pemasangan tulangan dinding pengarah

5.1.5. Fixing of Formwork

Setelah pemasangan tulangan selesai, pemasangan “formwork” atau disebut juga dengan bekisting dilakukan dengan perhitungan bahwa as “guide wall” selalu berada di tengah-tengah, tetapi apabila terpaksa diperlebar, bagian yang dirubah selalu berada pada bagian luar. Pemasangan bekisting “guide wall” dapat dilihat pada gambar 5.6.



Gambar 5.6. Pemasangan bekisting dinding pengarah

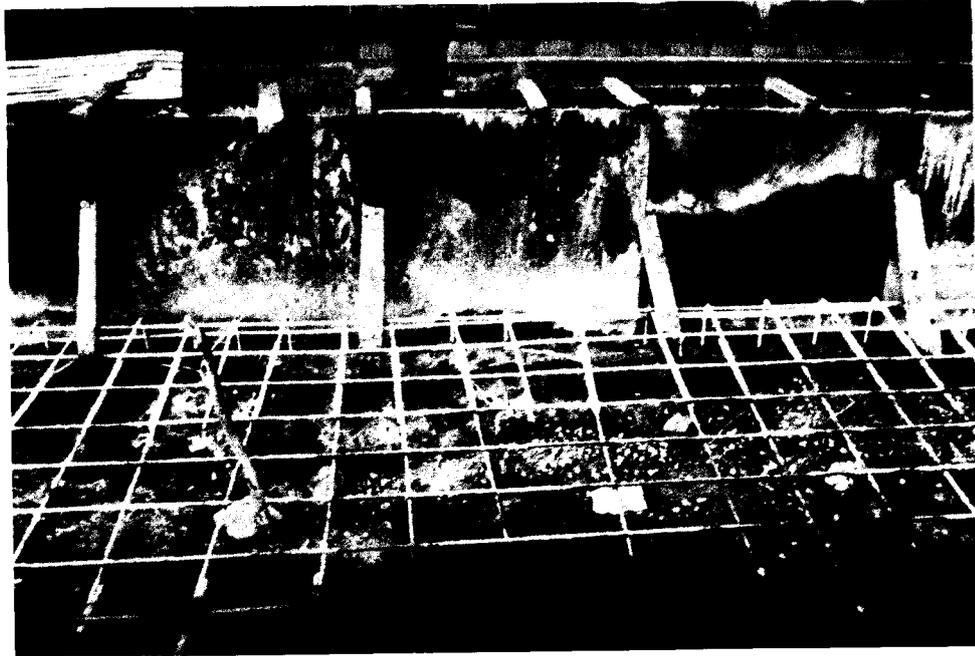
5.1.6. Concreting dan Curing

Pengecoran dinding pengarah ini dilakukan dengan menggunakan “bucket” dan dilakukan terus menerus supaya tidak terjadi pengeringan beton yang tidak merata.

5.1.7. Formwork Dismanting and Guide wall Strutting

Pembongkaran bekisting dilakukan apabila beton sudah cukup keras , biasanya setelah 1-2 hari, bekisting dapat dibuka. Pada bagian sisi “guide wall” ini dipadatkan kemudian dicor untuk digunakan sebagai lantai kerja. Pada bagian dalam “guide wall” dipasang stud-stud untuk mencegah terjadinya keruntuhan. Tulangan sisa yang menjolok ke bagian luar dibengkokkan menjadi tulangan horisontal yang kemudian digunakan

sebagai “plat form” (gambar 5.7) dari “guide wall”. Pembongkaran bekisting “guide wall” dapat dilihat pada gambar 5.8.



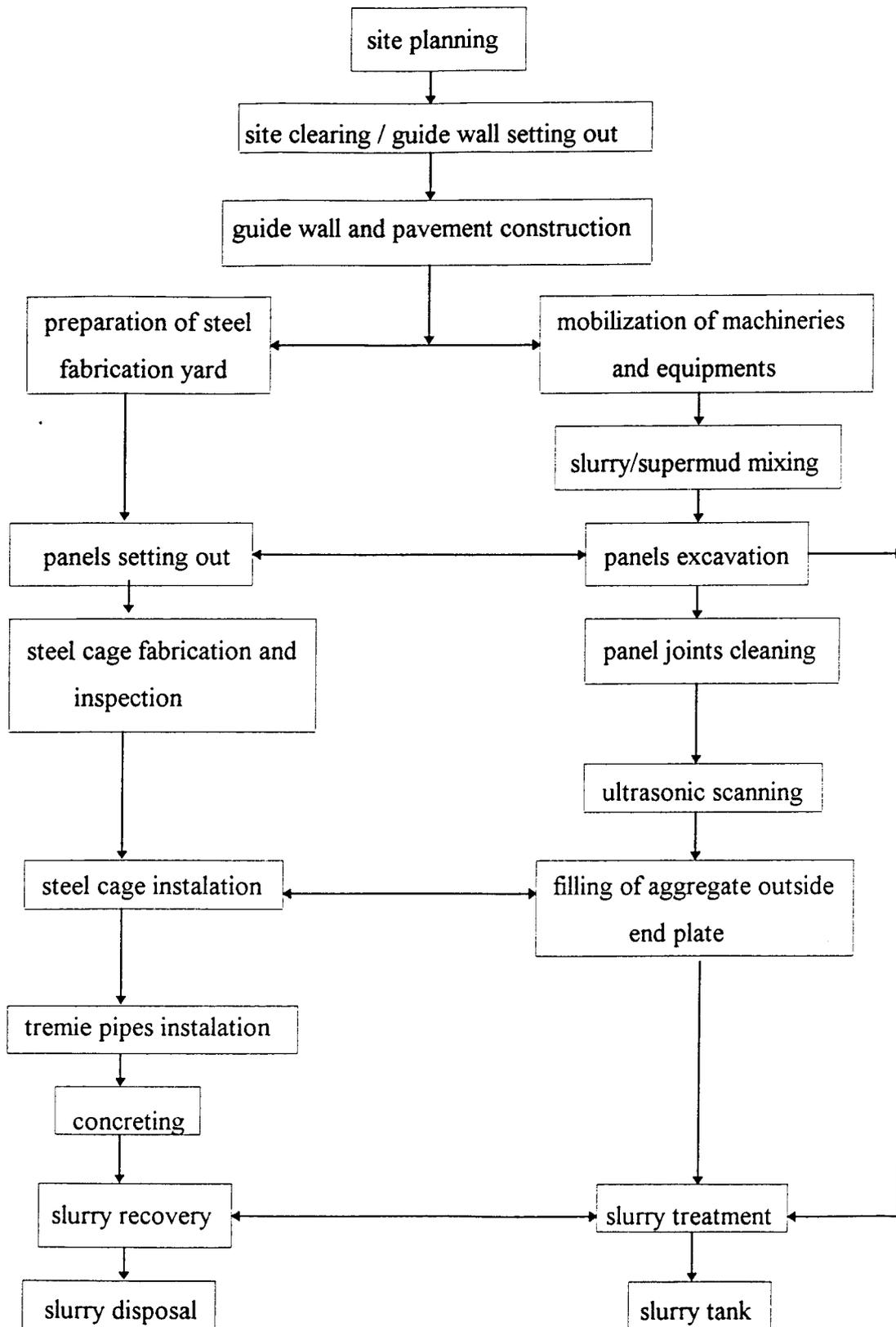
Gambar 5.7. “plat form guide wall”

Gambar 5.8. Hasil pembongkaran bekisting “guide wall”

5.2. PELAKSANAAN DINDING DIAFRAGMA

Pelaksanaan pekerjaan dinding diafragma merupakan pekerjaan utama dari proyek dinding diafragma. Setelah lokasi dan “guide wall” selesai dikerjakan, maka pekerjaan penggalian untuk dinding diafragma ini siap dimulai.

Gambar 5.9 menjelaskan tahap-tahap pekerjaan pembuatan dinding diafragma.



Gambar 5.9. Bagan pelaksanaan dinding diafragma

5.2.1. Preparation of Stel Fabrication Yard

Perakitan panel dibuat di lokasi sesuai dengan “shop drawing” yang telah disepakati. Panel dibuat diatas “bed”, yaitu suatu alas untuk fabrikasi tulangan panel tersebut. Dinding diafragma dibuat dengan dua macam tulangan yaitu tulangan “male” dan tulangan “female”. Tulangan “male” dan tulangan “female” dibuat bersama-sama, supaya pada bagian samping yang akan disambung tidak mengalami ketidaksesuaian ukuran.

Pada tulangan “female”, kedua bagian ujung panel dipasang “end-plate” (gambar 5.10), yang berfungsi sebagai bekisting dan pada bagian tengah “end plate” dipasang “plate” tambahan yang berfungsi sebagai “water stop joint”. Tebal “end plate” 4,5 mm. Pada tulangan “female” baik pada sisi “excavated side” maupun “earth side” dipasang “plastic sheet” dengan menjepitnya pada “end plate” hal ini untuk menghindari terjadinya keruntuhan parit, penerobosan adukan beton pada celah antara “end plate” dan sisi lubang galian, sehingga tulangan betul-betul berada pada keadaan bersih.

Pembesian panel-panel ini harus sedemikian rupa, sehingga merupakan rakitan tulangan yang kaku dan kuat. Hal ini disamping untuk menjaga kekakuan struktur, juga menjaga supaya pada waktu pengangkutan dan penurunan panel, panel tersebut tidak berubah bentuk dan susunannya.

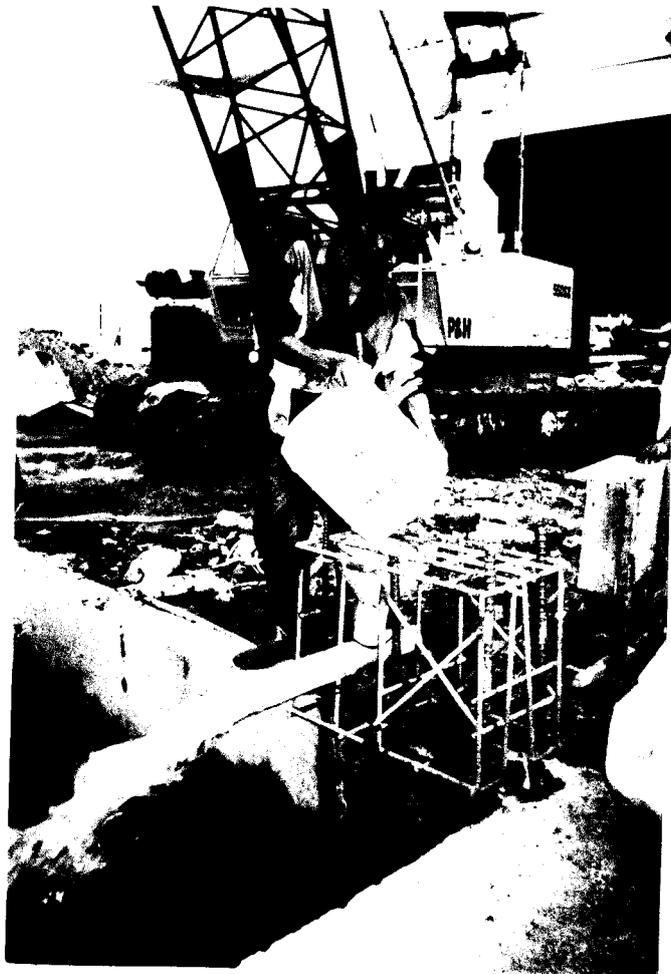
Pada panel-panel, dengan mengacu pada kedalaman “basement” dipasang “starter bar” (gambar 5.11), yang berguna untuk pengikatan tulangan balok pada lantai “basement” yang direncanakan. Pemasangan “starter bar” ini selalu dilindungi oleh “plywood” dengan tebal 3 mm yang berguna untuk melindungi “starter bar” supaya pada waktu pengecoran tidak ikut dicor.



Gambar 5.10. End plate

5.2.3. Slurry Mixing

Pada proyek Menara Merdeka cairan penstabil yang dipakai adalah “supermud” sejenis “polymer” penstabil untuk pekerjaan tanah. Sebelum digunakan cairan “supermud” dicampur air dengan perbandingan “supermud” : air = 1 : 800. Nilai ph yang diperbolehkan adalah 8 - 10 dan nilai viskositas sebesar 32 - 40 harus dipenuhi. Bila hasil tes menunjukkan nilai kurang dari 32 detik maka campuran ditambah dengan “supermud”, sedangkan bila lebih dari 40 detik maka campuran perlu diencerkan dengan air. Larutan penstabil dan pentesan larutan penstabil dapat dilihat pada gambar 5.12 dan gambar 5.13.



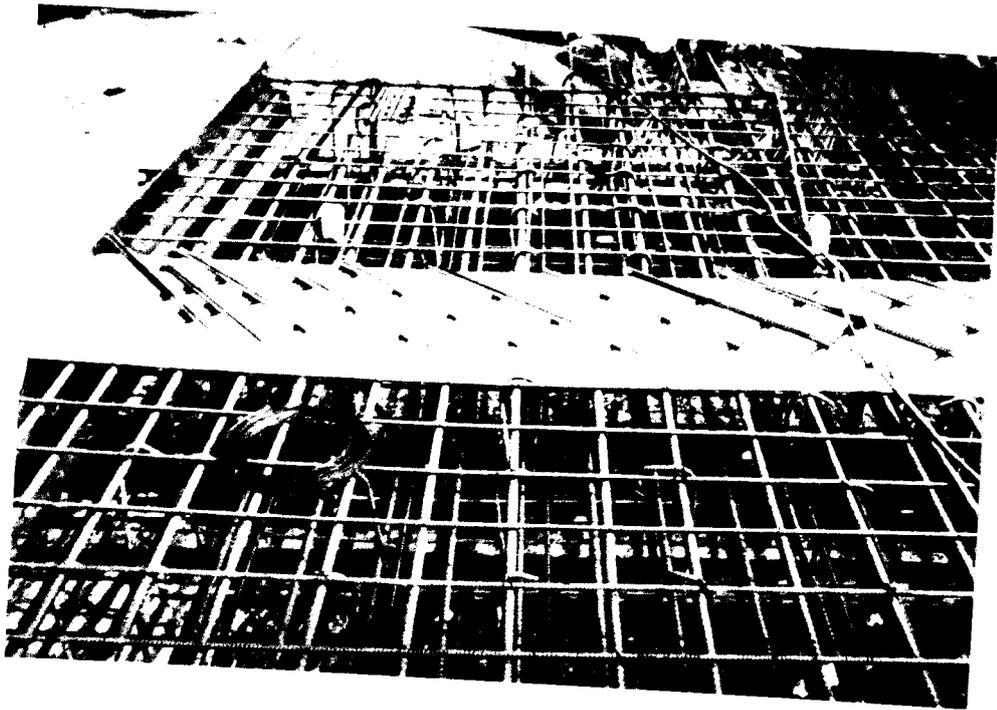
Gambar 5.12. Larutan penstabil



Gambar 5.13. Tes viskositas

5.2.4. Panel Excavation

Penggalian panel dilakukan secara bertahap, yaitu untuk bagian “female” terlebih dahulu. Hal ini dilakukan karena pada bagian “female” dilakukan pengerukan/grab sebanyak tiga kali angkat. Sedangkan untuk bagian “male” hanya dilakukan sekali angkat. Prinsip ini berlaku apabila pada dinding diafragma dibuat “barret pile”. Apabila bagian “female” yang mengapit bagian “male” dikeruk dan selesai dicor, maka baru



Gambar 5.11. starter bar

5.2.2. Mobilization of Machineries

Merupakan mobilisasi dan persiapan alat-alat yang akan digunakan untuk pekerjaan dinding diafragma. Alat yang digunakan adalah “grabber masago” , “excavator”, “water pump”, “ultrasonic testing machine” untuk penggalian, “bar cutter”, “bar bender”, “welding set” untuk pabriksi “steel cage”, “crawler crane” untuk penempatan “steel cage” , sedangkan untuk pembetonan dipakai “tremie”, truk “mixer” dan “crawler crane”.



Gambar 5.14. Penggalian panel

5.2.5. Steel Cage Instalation

Sebelum “male” dimasukkan pada galian sisi luar “female” disampingnya dibersihkan dulu dengan panel “joint cleaner”. Pemasangan tulangan dapat dilakukan setelah sebelumnya telah dipenuhi syarat-syarat “verticality” lubang panel maupun usaha-usaha yang harus dilakukan terhadap adanya keruntuhan sisi lubang galian (bila ada). Pengangkatan tulangan ke lubang galian dengan menggunakan “crane”. Pada saat penyambungan, panel pertama yang diturunkan tidak langsung menyentuh dasar galian, tetapi ditahan terlebih dahulu dengan “crane” untuk mengerjakan penyambungan dengan las (gambar 5.15), setelah penyambungan selesai, panel baru diturunkan dan harus diperiksa dengan teliti, bahwa panel telah tegak vertikal pada galiannya. Apabila tulangan tidak vertikal, maka kemiringan akan terjadi dan akan menyebabkan ketidakstabilan struktur serta pemborosan beton, karena dengan kemiringan tersebut, akan ada kebocoran “concrete” pada saat pengecoran menuju lubang galian di

sebelahnya. Pemasangan tulangan tidak diperbolehkan menyentuh dasar galian dengan ketentuan jarak ujung tulangan terhadap dasar galian adalah 20 cm sampai 40 cm. Pemasangan panel dapat dilihat pada gambar 5.16.



Gambar 5.15. Pengelasan saat penyambungan panel



Gambar 5.16. Pemasangan panel

5.2.6. Concreting

Pengecoran atau “concreting” dilakukan dengan menggunakan pipa tremi (gambar 5.17), dan tanpa menggunakan “vibrator” cukup dilakukan dengan metode gravitasi (berat sendiri dari adukan beton dengan slump 18 ± 2). Pengecoran dengan menggunakan pipa tremi ini mempunyai ketentuan bahwa jarak antara pipa tremi adalah maksimum 3 meter, dan jarak pipa tremi dari tepi panel maksimum 1,2 meter.

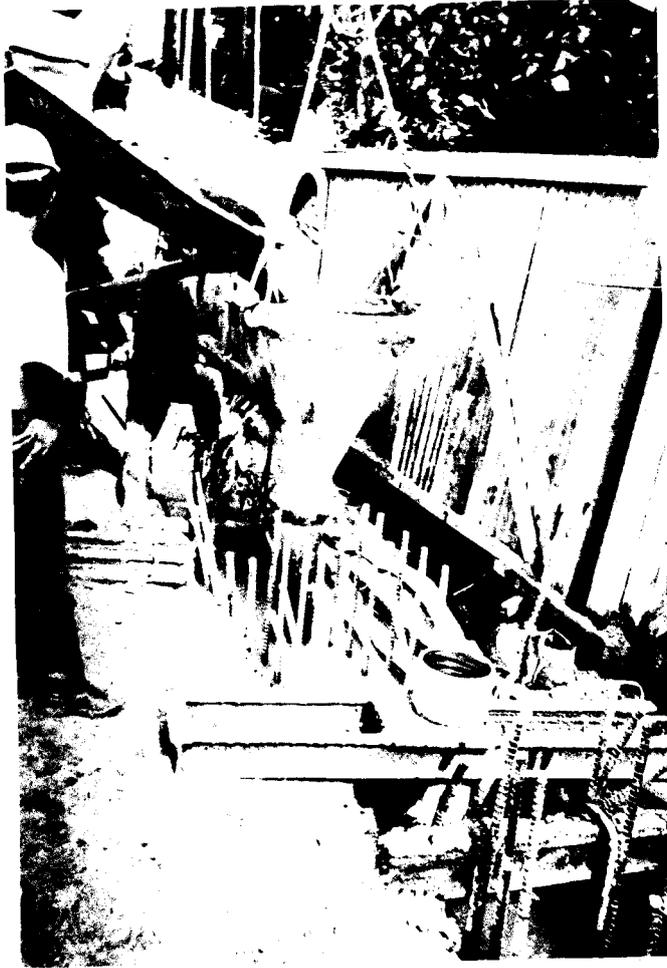
Pada saat pengecoran berlangsung, ujung pipa tremi dibenamkan kedalam beton dengan ukuran minimal 1 meter, hal ini untuk menghindari terjadinya pengerasan beton sebelum beton yang selanjutnya masuk. Larutan penstabil terdorong keluar pada saat pengecoran berlangsung. Beton masuk melalui pipa tremi, mendorong larutan penstabil

ke luar, dan masuk menuju bak penampungan untuk selanjutnya bila mungkin digunakan kembali. Tinggi permukaan larutan penstabil ini harus selalu berada kurang lebih 25 cm dari muka "guide wall", hal ini untuk tetap menjaga kestabilan parit galian.

Pekerjaan pengecoran ini berlangsung kurang lebih 6 jam untuk setiap panel, dan berjalan tanpa berhenti. Pengecoran dapat dilihat pada gambar (5.18).



Gambar 5.17. Pemasangan pipa tremie



Gambar 5.18. Pencoran

5.3. PEKERJAAN AKHIR

Pekerjaan akhir dari proyek dinding diafragma adalah penggalian seluruh lokasi pada bagian dalam dinding diafragma. Penggalian dilakukan sesuai dengan elevasi yang telah ditentukan. "Guide wall" dibongkar bersamaan dengan penggalian lokasi. Untuk bagian dinding diafragma yang tidak rata, diperbaiki atau diratakan bersamaan dengan pembangunan struktur selanjutnya. Gambar 5.19. adalah hasil akhir dari pekerjaan dinding diafragma sebelum penggalian lokasi dan gambar 5.20 dinding diafragma setelah penggalian lokasi.

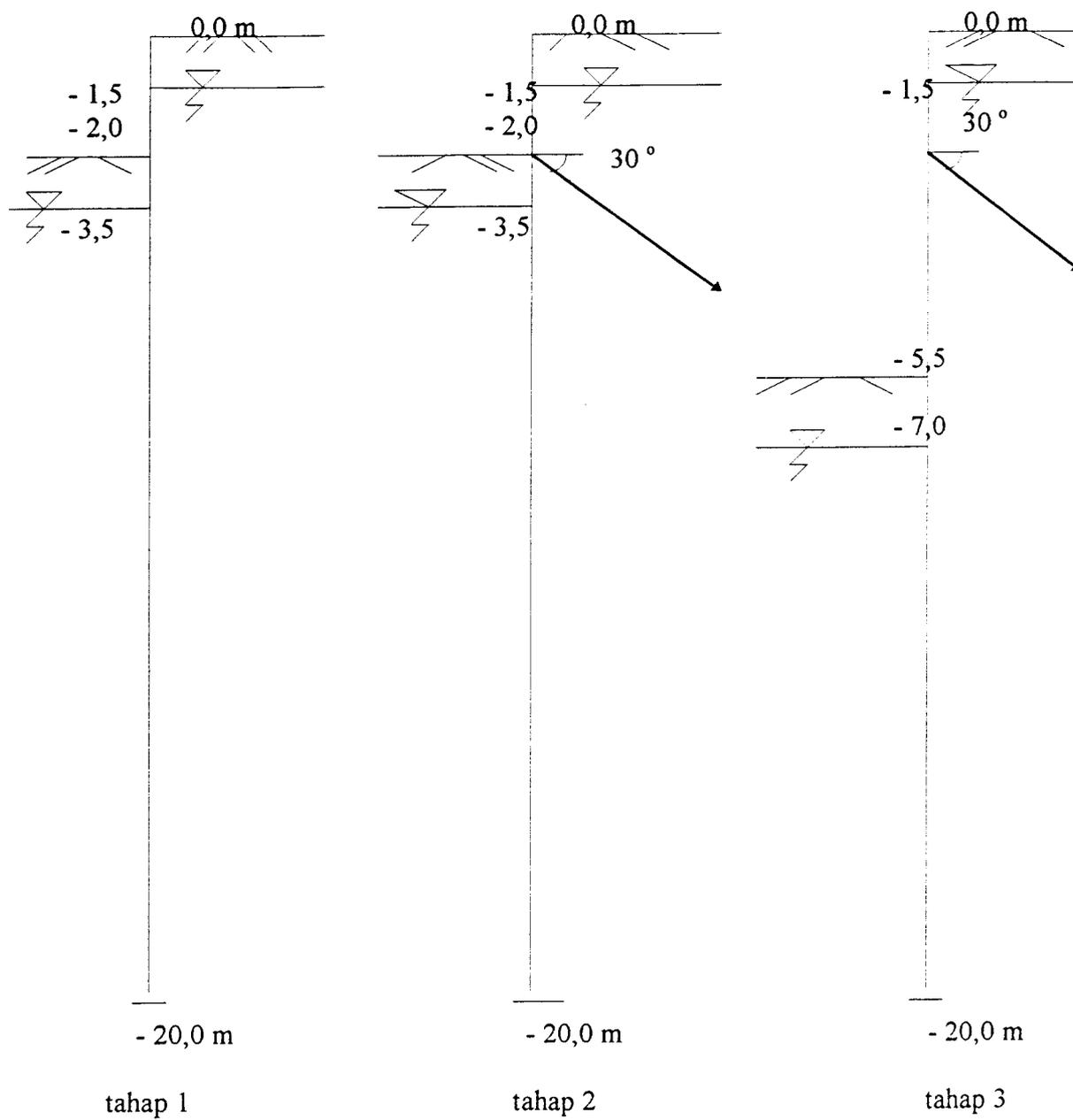


Gambar 5.19. Dinding diafragma sebelum penggalian

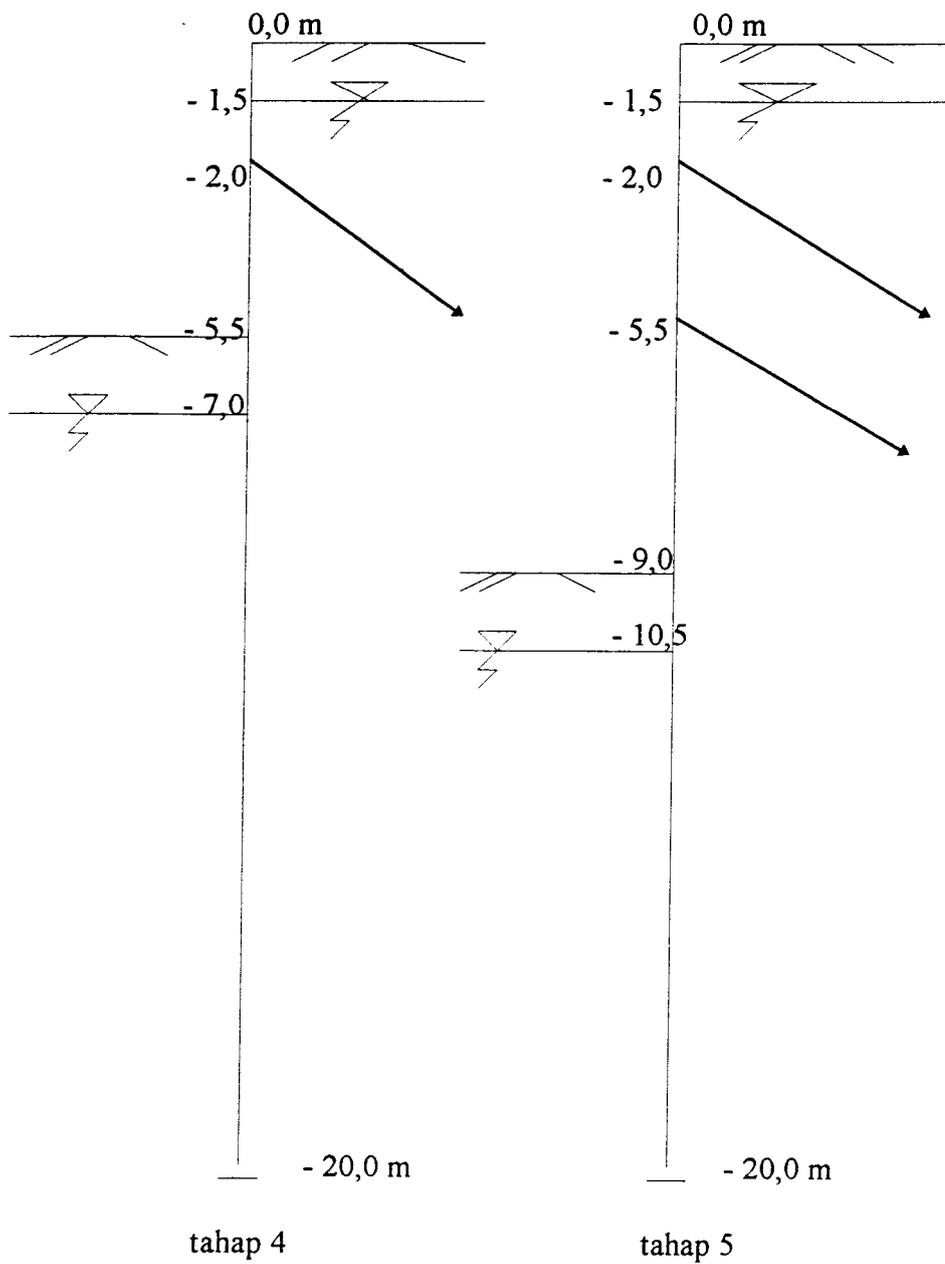


Gambar 5.20. Dinding diafragma setelah penggalian

Untuk pemasangan “ground anchor” dilaksanakan dalam 5 tahap pelaksanaan, seperti terlihat pada gambar 5.21, sesuai dengan hasil akhir perhitungan dari bab 4, yaitu :



Gambar 5.21. Tahapan pemasangan "ground anchor"



Gambar 5.21. lanjutan

Tahap 1 : Tanah digali sampai kedalaman 2 meter di bawah permukaan tanah asli, air tanah dipompa sampai permukaan turun mencapai kedalaman 3,5 meter di bawah permukaan tanah asli.

Tahap 2 : “Anchor ground” dipasang pada dasar galian dengan sudut kemiringan 30° dan jarak horisontal antar ankur 2 meter. Setelah “grouting” pada ujung

angkur mencapai umur yang cukup maka diberi gaya prategang sebesar 21,968 ton

Tahap 3 : Penggalan tanah dilanjutkan sampai kedalaman 5,5 meter di bawah permukaan tanah asli dengan muka air tanah dipompa sampai kedalaman 7 meter di bawah permukaan tanah asli.

Tahap 4 : Angkur prategang dipasang pada dasar galian dengan jarak horisontal 2 meter. Setelah “grouting” pada ujung ankur mencapai umur yang cukup, maka diberi gaya prategang sebesar 40,572 ton.

Tahap 5 : Penggalan dilanjutkan sampai mencapai kedalaman 9 meter di bawah permukaan tanah asli dan permukaan air tanah dipompa sampai kedalaman 10,5 meter di bawah permukaan tanah asli.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. KESIMPULAN

Dari penjelasan di depan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut ini.

01. Dinding Diafragma merupakan salah satu alternatif yang baik untuk suatu struktur bawah dari sebuah bangunan, sebagai penahan dinding dari keruntuhan tanah
02. Dinding Diafragma bagus digunakan pada daerah/lokasi yang akan dibangun dengan sisi-sisi bangunan padat
03. Dinding Diafragma merupakan pekerjaan struktur bawah yang cukup ekonomis, karena dapat langsung digunakan sebagai dinding "basement"
04. Cocok untuk segala macam jenis tanah
05. Pekerjaan mudah dan memerlukan waktu relatif pendek

6.2. SARAN

Setelah dikaji pelaksanaan pembuatan dinding diafragma ini, ditinjau dari manfaat dan keuntungannya, struktur bawah ini sangat menguntungkan sekali bagi kemajuan proyek-proyek di Indonesia, khususnya di daerah yang telah padat, maka sangatlah bermanfaat apabila pelaksanaannya lebih dikembangkan sehingga struktur ini akan lebih mengalami kemajuan.

PENUTUP

Dengan mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Allah swt, kami telah menyelesaikan tugas akhir ini tanpa halangan yang berarti.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini kami telah mengupayakan secara maksimal segala kemampuan yang ada, dan kami menyadari dengan segala keterbatasan dan kekurangan maka tugas akhir ini masih jauh dari sempurna.

Akhir kata kami mengharapkan tulisan ini dapat bermanfaat bagi kami dan pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Braja.M.Das, 1994, MEKANIKA TANAH, jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Gouw Tjie-Liong, 1995, DINDING DIAFRAGMA, ASPEK PELAKSANAAN DAN PERENCANAANNYA, Seminar HATTI.
- Guy Sanglerat, Gilbert Olivari, Bernard Cambou, 1989, SOAL-SOAL PRAKTIS MEKANIKA TANAH DAN TEKNIK PONDASI, Erlangga, Jakarta.
- Harry Christady Hardiyatmo, 1994, MEKANIKA TANAH, jilid 2, Gramedia, Jakarta.
- I. Hajnal, J. Marton, Z. Regele, 1984, CONSTRUCTION OF DIAPHRAGM WALLS, John Willey & Sons, Singapore.
- Joseph. E. Bowles, 1986, SIFAT-SIFAT FISIS DAN GEOTEKNIS TANAH, edisi ke-2, Erlangga, Jakarta.
- M. Fuchsberger, Dipl Ing, 1968, THE CONSTRUCTION OF DIAPHRAGM WALLS.
- R.F. Craig, 1989, MEKANIKA TANAH, edisi ke-4, Erlangga, Jakarta.
- Sunggono. Kh, 1984, BUKU TEKNIK SIPIL, Nova, Bandung.
- Wiratman Wangsadinata, 1990, PENGGUNAAN BENTONITE DALAM STRUKTUR BAWAH GEDUNG TINGGI, KONSTRUKSI, Januari, hal 37 s/d 40.
- Wiratman Wangsadinata, 1990, PERENCANAAN DINDING DIAFRAGMA, KONSTRUKSI, Pebruari, hal.80 s/d 82.
- Wiratman Wangsadinata, 1990, BERBAGAI ANALISIS PELENGKAP, KONSTRUKSI, Maret, hal. 79 s/d 82.
- _____ , 1971, PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA, Yayasan Penerbitan PU, Jakarta.
- _____ , 1995, METHOD STATEMENT OF DIAPHRAGM WALLS, Proyek Menara Merdeka, PT. ACSET INDONUSA, Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 01

ALPHA = 90.		BETA = 0.							
δ	φ	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0.390	0.361	0.333	0.307	0.283	0.260	0.238	0.217	
16	0.349	0.324	0.300	0.278	0.257	0.237	0.218	0.201	
17	0.348	0.323	0.299	0.277	0.256	0.237	0.218	0.200	
20	0.345	0.320	0.297	0.276	0.255	0.235	0.217	0.199	
22	0.343	0.319	0.296	0.275	0.254	0.235	0.217	0.199	

ALPHA = 90.		BETA = 5.							
δ	φ	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0.414	0.382	0.352	0.323	0.297	0.272	0.249	0.227	
16	0.373	0.345	0.319	0.295	0.272	0.250	0.229	0.210	
17	0.372	0.344	0.318	0.294	0.271	0.249	0.229	0.210	
20	0.370	0.342	0.316	0.292	0.270	0.248	0.228	0.209	
22	0.369	0.341	0.316	0.292	0.269	0.248	0.228	0.209	

ALPHA = 90.		BETA = 10.							
δ	φ	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0.443	0.407	0.374	0.343	0.314	0.286	0.261	0.238	
16	0.404	0.372	0.342	0.315	0.289	0.265	0.242	0.221	
17	0.404	0.371	0.342	0.314	0.288	0.264	0.242	0.221	
20	0.402	0.370	0.340	0.313	0.287	0.263	0.241	0.220	
22	0.401	0.369	0.340	0.312	0.287	0.263	0.241	0.220	

Daftar harga Ka

ALPHA = 90.		BETA = 0.							
δ	φ	26	28	30	32	34	36	38	40
0	2.561	2.770	3.000	3.255	3.537	3.852	4.204	4.599	
16	4.195	4.652	5.174	5.775	6.469	7.279	8.230	9.356	
17	4.344	4.830	5.385	6.025	6.767	7.636	8.662	9.882	
20	4.857	5.438	6.105	6.886	7.804	8.892	10.194	11.771	
22	5.253	5.910	6.675	7.574	8.641	9.919	11.466	13.364	

ALPHA = 90.		BETA = 5.							
δ	φ	26	28	30	32	34	36	38	40
0	2.943	3.203	3.492	3.815	4.177	4.585	5.046	5.572	
16	5.250	5.878	6.609	7.484	8.474	9.678	11.128	12.894	
17	5.475	6.146	6.929	7.850	8.942	10.251	11.836	13.781	
20	6.249	7.074	8.049	9.212	10.613	12.321	14.433	17.083	
22	6.864	7.820	8.960	10.334	12.011	14.083	16.685	20.011	

ALPHA = 90.		BETA = 10.							
δ	φ	26	28	30	32	34	36	38	40
0	3.385	3.713	4.080	4.496	4.968	5.507	6.125	6.841	
16	6.652	7.545	8.605	9.876	11.417	13.309	15.665	18.647	
17	6.992	7.956	9.105	10.492	12.183	14.274	16.899	20.254	
20	8.186	9.414	10.903	12.733	15.014	17.903	21.638	26.569	
22	9.164	10.625	12.421	14.659	17.497	21.164	26.013	32.602	

Daftar harga Kp

Lampiran 02

PARAMETER TANAH

Lithologi	Kedalaman (m, MT)	Parameter Tanah
[Hatched Pattern]	0.00 - 1.00 m MT	Soft - Medium CLAY, CH N value : 2 - 8 J (Um3) : 1.55 - 1.75 GWL : - 1.8 - 2.0 m MT qc(kg/cm2) : 8 - 12 C' (Um2) : 2.6 - 3.7 C (σ) : 22 - 35 k (cm/det) : 0.98×10^{-4} LL (%) : 80 - 100 PL (%) : 35 - 45 Wn (%) : 50 - 75 Li (%) : 43 - 67 Cv (cm2/det) : 2.5×10^{-3} OCR : 1 - 1.1
	1.00 - 1.80 m MT	Medium Dense SILTY SAND, SM dengan lensa very stiff CLAY, CH SAND N value : 7 - 24 (bagian atas) : 23 - 50 (bagian bawah) J (Um3) : 1.7 - 1.9 qc(kg/cm2) : 20 - 40 (bagian atas) : 80 - 150 (bagian bawah) k (cm/det) : 2.4×10^{-2}
	1.80 - 4.00 m MT	CLAY N value : 12 - 18 setempat-setempat 30 J (Um2) : 1.5 - 1.7 qc(kg/cm2) : 20 - 40 k (cm/det) : 2.56×10^{-4}
	4.00 - 10.00 m MT	very stiff CLAY, CH N value : 23 - 29 C (Um2) : 10 - 16 J (Um3) : 1.6 - 1.8 LL (%) : 60 - 75 PL (%) : 25 - 30 Li (%) : 30 - 35 Wn (%) : 50 - 75 OCR : 1.10 - 1.3 Cr : 0.035 - 0.04 1 + eo : 0.28 - 0.32 Cc : 0.25 - 0.32 1 + eo
	10.00 - 12.00 m MT	Medium - Dense SILTY SAND, SM N value : 34 - 40 J (Um3) : 1.6 - 1.9
	12.00 - 31.00 m MT	Very stiff - hard CLAY, CH N value : 22 - 35 kecuali BH5 : 19 - 26 J (Um3) : 1.7 - 1.9 C (Um2) : 12 - 14.5 LL (%) : 42.5 PL (%) : 20 - 30 Li (%) : 20 - 50 Wn (%) : 40 - 50 OCR : 1 Cr : 0.032 - 0.054 1 + eo : 0.25 - 0.43 Cc : 0.25 - 0.43 1 + eo

PROJECT :



P.T. Pratama
ENGINEERING SERVICES

Lampiran 03

