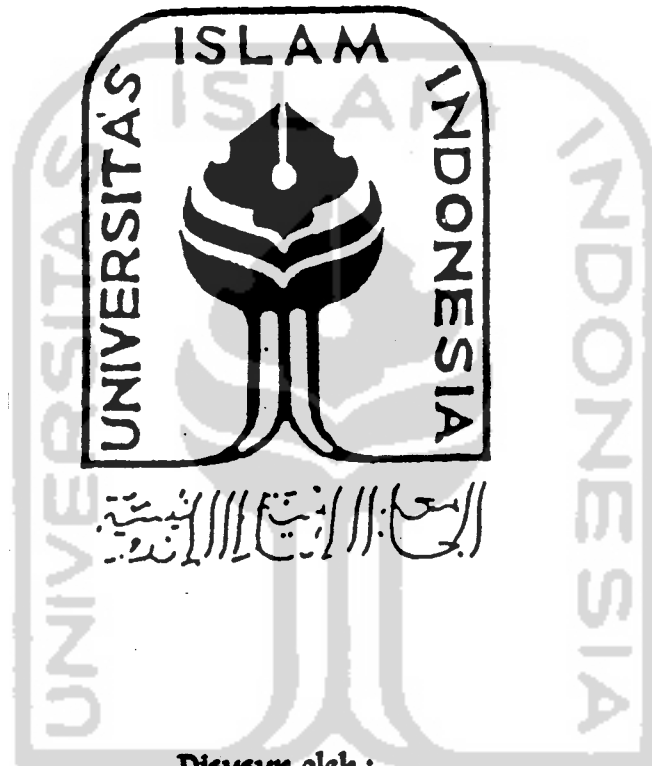


TUGAS AKHIR
ANALISA STRUKTUR PELAT SILO



Disusun oleh :

SUGENG DARJATI

No. Mhs : 91 310 057

NIRM : 910051013114120055

EKA SEPTIANINGSIH

No. Mhs : 91 310 048

NIRM : 910051013114120046

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
1996

TUGAS AKHIR

ANALISA STRUKTUR PELAT SILO

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



Disusun oleh :

**Nama : SUGENG DAROJATI
No. Mhs : 91 310 057
NIRM : 910051013114120055**

**Nama : EKA SEPTIANINGSIH
No. Mhs : 91 310 048
NIRM : 910051013114120046**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1996**

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
ANALISA STRUKTUR PELAT SILO



Disusun oleh :

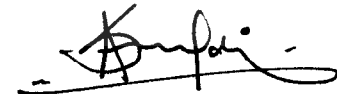
SUGENG DAROJATI
No. Mhs : 91 310 057
NIRM : 910051013114120055

EKA SEPTIANINGSIH
No. Mhs : 91 310 048
NIRM : 910051013114120046

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. M. SAMSUDIN

Dosen Pembimbing I



Tanggal : 11-11-96

Ir. ILMAN NOOR, MSCE

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 8-11-96

PRAKATA
Bismillahirrahmannirrahim

Assalamu 'alaikum wr.wb,

Puji serta rasa syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT dan salawat kepada nabi Muhammad SAW, karena atas segala kuasa, rahmat dan hidayah-Nya, penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Sesuai dengan kurikulum pendidikan program sarjana pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam Tugas Akhir ini membahas tentang Analisa struktur Pelat Silo.

Dalam menyusun laporan ini, penyusun mendapat bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Ir. H. SUSASTRAWAN, MS, sebagai Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. BAMBANG SULISTIONO, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Bapak Ir. H. M. SAMSUDIN, sebagai Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan dorongan, motivasi serta pengarahan.
4. Bapak Ir. ILMAN NOOR, MSCE, sebagai Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan sejak awal hingga selesainya Tugas Akhir ini.

5. Kedua orang tua kami tercinta, kakak-kakak dan adik-adik tersayang, yang telah memberikan dorongan, motivasi dan do'a restu hingga Tugas Akhir ini selesai.
6. "Patner" tersayang, yang telah bekerja sama dengan harmonis hingga laporan ini selesai.
7. Saudara Bakti Setiyadi, Burhannudin Khuyulbi, Yani Arciani (Aning), Ir. Widiyanto Nugraha, Mas Yanto, Oji, Andre, Eman, Ipit (Ibu kost) dan Mbak Wulan atas bantuan serta partisipasi yang telah diberikan.
8. "Keluarga Besar" Welang 70 A dan "Keluarga Besar" Noor Baity di Yogyakarta, atas partisipasinya.
9. Semua pihak yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan waktu, pengetahuan dan kemampuan penyusun, oleh karena itu penyusun dengan rendah hati menerima saran-saran dan kritik-kritik yang bersifat membangun demi penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata harapan penyusun semoga Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat baik bagi penyusun maupun pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, Oktober 1996

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
NOTASI	ix
ABSTRAKSI	x
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Manfaat	2
1.4. Keaslian Studi	2
1.5. Batasan Masalah	3

BAB II. ANALISA TEGANGAN

2.1. Karakteristik Fisik Bahan	4
2.2. Tekanan Statik Vertikal	4
2.3. Tekanan Statik Bahan Pengisi	5
2.3.1. Metode Janssen	5
2.4. Perencanaan Dinding Silo	8
2.4.1. Tebal Dinding	8
2.4.2. Penulangan Dinding Silo	9
2.5. Dasar Silo	9

BAB III. ANALISA STRUKTUR

3.1. Pengertian	10
3.2. Tinjauan Umum Struktur Cangkang	10
3.3. Analisa Perhitungan	12
3.4. Struktur Cangkang Yang Terbentuk Atas Lengkung Yang Diputar, Beban Simetris Terhadap Sumbu Putar	15
3.5. Struktur Cangkang Sebagai Dinding	21
3.5.1. Beban Sentris Pada Cylindrical Shell	21
3.5.2. Akibat Berat Sendiri Cylindrical Shell	21
3.5.3. Akibat Tekanan Vertikal Material	22
3.5.4. Akibat Tekanan Horisontal Material	22

3.5.5. Akibat Tekanan Angin	24
3.5.6. Akibat Tekanan Gempa	24
3.6. Conical Shell	25
3.6.1. Conical Dengan Perletakan Di Atas	27
3.6.2. Berat Sendiri Conical Shell	29
3.7. Ring Balok	31
 BAB IV. CONTOH PERHITUNGAN	
4.1. Penampang Silo I	33
4.2. Penampang Silo II	45
 BAB V. PEMBAHASAN	
5.1. Analisa Struktur.....	56
5.2. Analisa Hasil hitungan	56
 BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan	61
6.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....	.xi
 LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Keterangan Gambar	Halaman
2.1	Perhitungan gaya metode Janssen	5
3.1	Garis meredian dan lintang	11
3.2	Gaya-gaya yang bekerja menurut teori struktur cangkang	11
3.3	Cangkang silindris	12
3.4	“Conical shell”	12
3.5	Irisan elemen kubah	13
3.6	Irisan elemen kubah	14
3.7	Gaya-gaya membran	16
3.8	Gaya-gaya membran	16
3.9	Komponen gaya yang bekerja pada bidang tegak lurus terhadap bidang atas dan bawah	18
3.10	Keseimbangan gaya arah Z	19
3.11	Elemen gaya arah meredian	19
3.12	Keseimbangan cangkang	20
3.13	Struktur cangkang sebagai dinding	21
3.14	Gaya akibat angin	24
3.15	“Conical shell”	25
3.16	Penjelasan dari conical shell	26
3.17	Conical dengan perletakan di atas	27
3.18	Gaya akibat material	28
3.19	“Conical shell”	29
3.20	Ring balok	32

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Keterangan	Lembar
2.1	Beberapa bahan pengisi pada silo	4
4.1	Harga Pv dan Ph	35
4.2	Gaya-gaya akibat gempa dan angin	38
4.3	Gaya yang bekerja pada dinding silo	38
4.4	Luas dan tulangan	40
4.5	Harga Pv dan Ph	47
4.6	Gaya-gaya akibat gempa dan angin	50
4.7	Gaya-gaya yang bekerja pada silo	50
4.8	Luas dan tulangan	52

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Keterangan	Lembar
1	Gambar silo	1
2	Gambar potongan A-A	2
3	Gambar potongan B-B	3
4	Gambar silo II	4
5	Gambar potongan C-C	5
6	Gambar potongan D-D	6
7	Foto proyek pembangunan silo PT.SEMEN NUSANTARA CILACAP	7

NOTASI

H	= Tinggi silo.
D	= Diameter silo.
P	= Tekanan statik vertikal disetiap titik dalam "zone hopper".
P_v	= Tekanan statik vertikal dibagian tertinggi "hopper".
P_h	= Tekanan statik horisontal.
γ	= Berat volume bahan.
h_l	= Jarak tertinggi "hopper" sampai titik yang ditinjau.
qα	= Tekanan normal pada dinding "hopper".
β	= Sudut "hopper".
α	= Setengah sudut puncak "hopper".
φ'	= Sudut geser antara bahan dan dinding.
A	= Luas penampang silo.
U	= Keliling penampang silo.
μ'	= Koefisien gesek bahan dan dinding.
R	= Jari-jari hidrolis.
w	= Berat volume bahan.
P	= Tekanan yang terjadi pada silo.
σ'_b	= Tegangan desak beton.
ΣNφ	= Jumlah gaya normal arah meredian.
ΣNθ	= Jumlah gaya normal arah lintang.
t_s	= Tebal dinding silo.
r₁	= Jari-jari penampang silo luar.
r₂	= Jari-jari penampang silo dalam.
A_s	= Luas tulangan.
σ_{ijin baja}	= Tegangan ijin baja tulangan.
N_x	= Gaya aksial persatuan panjang pada bidang tengah dengan arah sejajar sumbu x, gaya ini bertanda positif bila berupa gaya tarik.
N_y	= Gaya aksial persatuan panjang pada bidang tengah dengan arah sejajar sumbu y, gaya bertanda positif bila berupa gaya tarik.
x,y,z	= Komponen-komponen intensitas beban luar pada cangkang masing-masing tegak lurus terhadap sumbu-sumbu x,y,z.
Nφ, Nθ	= Gaya-gaya selaput tipis persatuan panjang.

ABSTRAKSI

Peningkatan produksi semen dapat dilakukan dengan jalan mengembangkan pabrik semen atau membangun pabrik semen yang baru. Salah satu bagian bangunan semen yang berperan dalam peningkatan produksi semen adalah bangunan silo. Silo adalah suatu struktur yang berfungsi untuk menyimpan material berupa butiran, seperti : tepung gandum, biji kedelai, beras, semen.

Silo dapat dianalisis dengan menggunakan analisa struktur cangkang dengan teori membran. Dalam Tugas Akhir ini dibahas tentang struktur cangkang yang berfungsi sebagai struktur dinding, dipengaruhi oleh gaya luar, yaitu : angin dan gempa.

Hasil analisa dengan dua contoh penampang silo menunjukkan bahwa gaya akibat gempa lebih besar dibandingkan gaya angin sehingga gaya gempa lebih berpengaruh terhadap silo tersebut.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pembangunan nasional yang sudah berjalan sejak lebih dari dua dasa warsa yang lalu secara pasti akan terus dijalankan pemerintah untuk mencapai kesejahteraan sosial yang dicita-citakan oleh bangsa Indonesia. Pembangunan sekarang ini dititikberatkan pada bidang industri, pembangunan fisik sebagai penunjang kesuksesan pembangunan dibidang lain merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam upaya mewujudkan masyarakat adil dan makmur.

Seiring dengan pelaksanaan pembangunan di Indonesia, maka akan timbul permasalahan yang semakin banyak dan kompleks, diantaranya adalah kebutuhan akan bahan bangunan. Semen merupakan bahan bangunan yang banyak dibutuhkan dalam pembangunan fisik. Untuk menghindari terjadinya kelangkaan semen dipasaran seperti yang pernah terjadi baru-baru ini maka produksi semen harus dapat ditingkatkan. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengembangkan atau membangun pabrik semen. Kehadiran pabrik semen diharapkan dapat memenuhi kebutuhan semen dalam negeri dan bila memungkinkan dapat diekspor keluar negeri.

Silo merupakan bagian dari bangunan pabrik semen yang berfungsi untuk menampung semen sebelum dibungkus. Secara umum silo adalah suatu struktur bangunan yang

digunakan untuk menampung material berupa butiran seperti beras, tepung gandum, biji kedelai dan semen.

1.2. Tujuan

Dengan meninjau elemen kecil dari cangkang yang dibuat oleh dua pasang bidang yang masing-masing tegak lurus pada bidang tengah maka akan mengetahui tekanan statik bahan pengisi dan gaya-gaya yang bekerja pada silo akibat berat sendiri, akibat bahan pengisi, akibat tekanan vertikal material, akibat tekanan horisontal material, akibat tekanan angin, akibat gaya gempa serta gaya pada ring dengan menggunakan metode Janssen.

1.3. Manfaat

Penjelasan dasar dari analisa struktur pelat silo membantu dalam memahami tentang silo baik bentuk penampangnya, bagian-bagian silo dan karakteristik bahan yang disimpan dalam silo. Selain itu diharapkan dapat merencanakan atau melakukan perhitungan perencanaan pembuatan silo.

1.4. Keaslian Studi

Sepanjang yang pernah diamati belum ada mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, khususnya jenjang strata I yang menganalisa struktur pelat silo.

1.5. Batasan Masalah

Mengingat belum dikenalnya secara umum mengenai pelat silo dan dengan maksud agar masalah yang diteliti lebih terarah maka permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Pelat silo yang dianalisa berbentuk lingkaran.
2. Analisa Strukturnya menggunakan analisa struktur cangkang dengan teori membran.
3. Analisa perhitungan gaya-gaya yang terjadi diambil elemen kecil dari cangkang.
4. Metode atau rumus yang digunakan adalah Janssen.
5. Pembebanan pelat yang ditinjau adalah beban mati struktural, beban angin , beban gempa dan gaya-gaya yang berasal dari bahan yang disimpan dalam silo.
6. Atap silo, "Outlet", perubahan gaya-gaya akibat pengisian, pengosongan dan tegangan termal akibat suhu bahan yang disimpan di dalam silo tidak dibahas.
7. Ukuran silo contoh perhitungan : silo I dengan diameter 20 m, tinggi 34 m dan silo II dengan diameter 4 m, tinggi 50 m.

BAB II

ANALISA TEGANGAN

2.1. Karakteristik fisik Bahan

Perhitungan struktur suatu reservoir air dengan penampang melintang tertentu pada prinsipnya sama dengan perhitungan struktur untuk reservoir serupa yang diisi dengan minyak. Hal yang sama berlaku pula untuk silo yang dipergunakan untuk menyimpan berbagai jenis bahan kering berbutir yang satu sama lain sangat berbeda sifat atau karakteristiknya. Berhubung dengan itu maka lebih logis jika silo dikelompokkan berdasarkan bentuk penampang melintangnya dari pada menurut jenis bahan yang disimpan didalamnya^[9-6]. Dibawah ini terdapat jenis material atau bahan yang biasa disimpan di dalam silo (tabel 2.1), yaitu :

Tabel 2.1. Karakteristik bahan yang biasa disimpan di silo ^[5-232 dan 9-8]

Material	Berat kg/m ³	Sudut geser ϕ °	μ Koef. gesek bahan dengan bahan.	μ' Koef. gesek bahan dengan dinding	k Perbandingan tekanan late- ral terhadap tek. vertikal
Semen (PC)	1440	25°	0,316	0,466	0,41
Coal (batubara)	800	35°	0,7	0,5	0,27
Sand (pasir)	1600	35°	0,674	0,7	0,27
Wheat (gandum)	850	25°	0,466	0,444	0,41

2.2. Tekanan Statik Vertikal

Tekanan statik vertikal (P_v) dibagian tertinggi dari hopper dapat dihitung dengan rumus Janssen. Tekanan statik vertikal P disetiap titik dalam “zone hopper” dapat dihitung dengan rumus^[9-21] :

$$P = P_v + \gamma_{\text{semen}} \cdot h_1$$

dimana :

γ adalah berat volume bahan

h_1 adalah jarak dari titik tertinggi hopper sampai titik yang ditinjau

Tekanan normal pada dinding "hopper" dapat ditentukan dengan menggunakan rumus Walker, untuk tekanan pengisian awal dibagian "hopper" cenderung memusat.

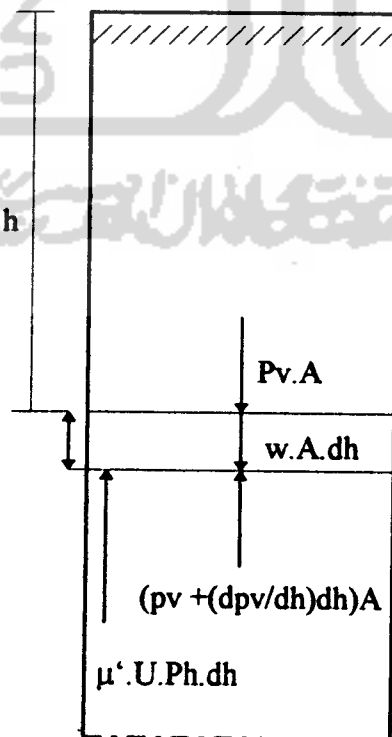
$$q\alpha = \frac{\sin 2\alpha \cdot \cos \phi'}{\sin (\phi' + 2\alpha) + \sin \phi'} \cdot P \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : α = setengah sudut puncak "hopper"

ϕ' = sudut geser antara bahan dan dinding

2.3. Tekanan Statik Bahan Pengisi

2.3.1. Metode Janssen^[5-228]



Gambar 2.1 Penjabaran gaya dengan metode Janssen

Keterangan gambar :

U = keliling penampang silo

A = luas penampang silo

$R = A/U =$ jari-jari hidrolis

$P_v =$ tekanan statik vertikal

$P_h =$ tekanan statik horisontal

$\mu' =$ koefisien gesek antara bahan dan dinding = tangen ϕ'

Syarat kesetimbangan : $\Sigma V = 0$

$$P_v.A + w.A.dh = \left(P_v + \left(\frac{dp_v}{dh} \right) dh \right) A + \mu'.Ph.U.dh$$

$$P_v.A + w.A.dh = P_v.A + \left(\frac{dp_v}{dh} \right) A dh + \mu'.Ph.U.dh$$

$$w.A.dh = A \left(\frac{dp_v}{dh} \right) dh + \mu'.Ph.U.dh$$

$$w.A.dh - A \left(\frac{dp_v}{dh} \right) dh - \mu'.Ph.U.dh = 0 \dots\dots\dots (2.2a)$$

Persamaan (2.2.a) dikali $\frac{1}{(A.dh)}$

$$w - \left(\frac{dp_v}{dh} \right) - \mu'.Ph \left(\frac{U}{A} \right) = 0 \dots\dots\dots (2.2b)$$

substitusi persamaan (2.2.b) dengan $Ph = k.P_v$

$$w - \left(\frac{dp_v}{dh} \right) - \mu'.k.P_v \left(\frac{U}{A} \right) = 0$$

padahal : $R = A/U$

$$w - \left(\frac{dp_v}{dh} \right) - \mu'.k.P_v \left(\frac{1}{R} \right) = 0$$

$$\frac{dp_v}{dh} = w - \mu'.k.P_v \left(\frac{1}{R} \right)$$

$$dpv = (w - \mu' \cdot k \cdot Pv \cdot \frac{1}{R}) dh$$

$$dh = \frac{dpv}{(w - \mu' \cdot k \cdot Pv \cdot (1/R))}$$

dengan integrasi maka :

$$\ln (w - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} Pv) = - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} h + c$$

untuk : $h = 0, Pv = 0$

$$\Rightarrow c = \ln w$$

$$\ln (w - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} Pv) = - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} h + \ln w$$

$$\ln (w - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} Pv) - \ln w = - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} h$$

$$\ln \left(\frac{w - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} Pv}{w} \right) = - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} h$$

$$\left(\frac{w - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} Pv}{w} \right) = e^{-\frac{(\mu' \cdot k)}{R} h}$$

$$w - \frac{(\mu' \cdot k)}{R} Pv = w \cdot e^{-\frac{(\mu' \cdot k)}{R} h}$$

$$\frac{(\mu' \cdot k)}{R} Pv = w - w \cdot e^{-\frac{(\mu' \cdot k)}{R} h}$$

$$Pv = \frac{w \cdot R}{\mu' \cdot k} - \frac{w \cdot R}{\mu' \cdot k} e^{-\frac{(\mu' \cdot k)}{R} h}$$

$$Pv = \frac{w \cdot R}{\mu' \cdot k} (1 - e^{-\frac{(\mu' \cdot k)}{R} h}) \dots \dots (2.3.a)$$

padahal : $Ph = k \cdot Pv$

$$Ph = \frac{w \cdot R}{\mu' \cdot k} (1 - e^{-\frac{(\mu' \cdot k)}{R} h}) \dots \dots (2.3.b)$$

Dengan demikian rumus tekanan berlaku untuk semua bentuk silo, karena R adalah jari-jari hidrolis untuk silo bujur sangkar, maka :

Untuk silo bulat :

$$R = \frac{(0,25 \cdot \pi \cdot D^2)}{\pi \cdot D}$$

$$= D/4$$

Dan nilai konstanta k dapat dihitung, dengan rumus :

$$k = \frac{P_h}{P_v} \dots \dots \dots (2.4)$$

2.4. Perencanaan Dinding Silo

2.4.1. Tebal Dinding

Tebal dinding ditentukan atau direncanakan berdasarkan beban vertikal dari gaya-gaya yang bekerja, yaitu dengan menggunakan jumlah gaya yang terbesar tetapi dapat juga direncanakan setiap pias berdasarkan tinjauan yang dipakai. Rumus yang dipakai untuk menentukan tebal dinding adalah :

$$\sigma'_b = \frac{P}{A} = \frac{\Sigma N \phi \cdot \text{keliling O}}{\text{luas O}} = \frac{\Sigma N \phi \cdot (2 \cdot \pi (r_2 + 0,5 \cdot t_s))}{\pi (r_1^2 - r_2^2)}$$

$$r_1 = r_2 + t_s$$

$$r_1^2 - r_2^2 = (r_2 + t_s)^2 - r_2^2 = (r_2^2 + 2 \cdot r_2 \cdot t_s + t_s^2) - r_2^2$$

$$= 2 \cdot r_2 \cdot t_s + t_s^2$$

$$\frac{\sigma'_b}{2 \Sigma N \phi} = \frac{\pi \cdot (r_2 + 0,5 \cdot t_s)}{\pi (2 r_2 \cdot t_s + t_s^2)} = \frac{(r_2 + 0,5 \cdot t_s)}{(2 \cdot r_2 \cdot t_s + t_s^2)}$$

$$2 \cdot \Sigma N \phi (r_2 + 0,5 \cdot t_s) = \sigma'_b (2 \cdot r_2 \cdot t_s + t_s^2)$$

$$2.\Sigma N\phi.r_2 + \Sigma N\phi.t_s = (2.\sigma'_b.r_2.t_s) + (\sigma'_b.t_s^2)$$

$$\sigma'_b.t_s^2 + (2.\sigma'_b.r_2 - \Sigma N\phi) t_s - 2.\Sigma N\phi.r_2 = 0 \dots\dots\dots(2.4.1)$$

Keterangan :

σ'_b = tegangan desak beton yang terjadi (kg/cm²)

$\Sigma N\phi$ = jumlah gaya arah meredian terbesar (kg/cm')

r_1 = jari-jari penampang silo luar (cm)

r_2 = jari-jari penampang silo dalam (cm)

t_s = tebal dinding silo (cm)

2.4.2. Penulangan Dinding Silo

Penulangan dinding silo direncanakan hanya menahan gaya tarik saja, karena semua gaya tekan telah dapat ditahan oleh beton, sedangkan tulangan susut ^[PBI-71-9.2.3] yaitu menggunakan luas minimum sebesar 0,25% luas beton. Luas tulangan tarik pada silo dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut :

$$A_s = \frac{\Sigma N\theta}{\sigma_{ijin \text{ baja}}}$$

keterangan :

A_s = luas tulangan tarik (cm²/m')

$\Sigma N\theta$ = jumlah gaya arah melintang (kg/m')

$\sigma_{ijin \text{ baja}}$ = tegangan ijin baja tulangan (kg/cm²)

2.5. Dasar Silo

Fungsi utama dari dasar silo adalah untuk memikul beban yang berasal dari bahan yang disimpan. Bahan yang disimpan dihitung menggunakan rumus Janssen, dan dasar silo yang digunakan berbentuk kerucut.

BAB III

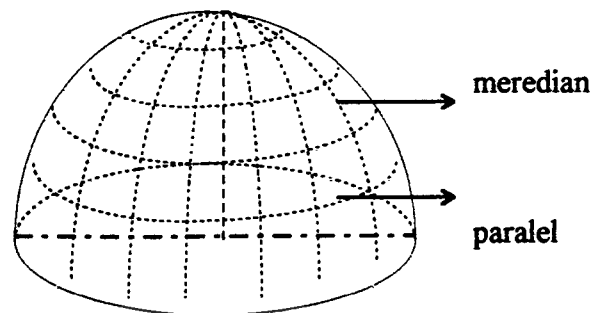
ANALISA STRUKTUR

3.1. Pengertian

Analisa adalah suatu penyelidikan terhadap suatu peristiwa untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya atau proses akal yang memecahkan masalah kedalam bagian-bagiannya menurut metode yang konsisten untuk mencapai pengertian tentang prinsip-prinsip dasarnya. Sedangkan struktur adalah cara bagaimana sesuatu disusun atau dibangun. Jadi Analisa Struktur Pelat Silo Adalah suatu penyelidikan terhadap struktur cangkang untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada pelat silo.

3.2. Tinjauan Umum Struktur Cangkang

Struktur cangkang adalah suatu struktur pelat yang melengkung kesatu arah dengan ketebalan (h) relatif kecil bila dibandingkan terhadap dimensi lainnya (jari-jari). Gaya-gaya yang didukung struktur cangkang disalurkan merata melalui permukaan bidang sebagai gaya-gaya membran yang diserap oleh struktur bentuknya. Kurva yang mengelilingi sebuah sumbu yang terletak pada bidang kelengkungannya dinamakan meredian, dan bidangnya adalah bidang meredian. Sedang perpotongan dari permukaan dengan bidang normal ke sumbu rotasi disebut lingkaran lintang (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Garis meredian dan paralel/lintang

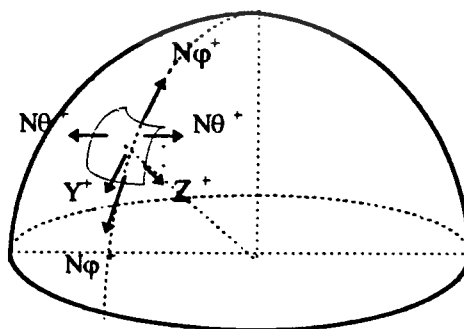
Untuk menganalisa struktur pada dinding silo dan “hopper” silo kita akan menggunakan Teori Struktur Cangkang, gaya-gaya yang bekerja :

N_ϕ = gaya dalam aksial persatuan panjang dalam arah tangen meredian yang bertanda positif bila menyatakan gaya tarik.

N_θ = gaya dalam aksial persatuan panjang dalam arah tangen lintang yang bertanda positif bila menyatakan gaya tarik.

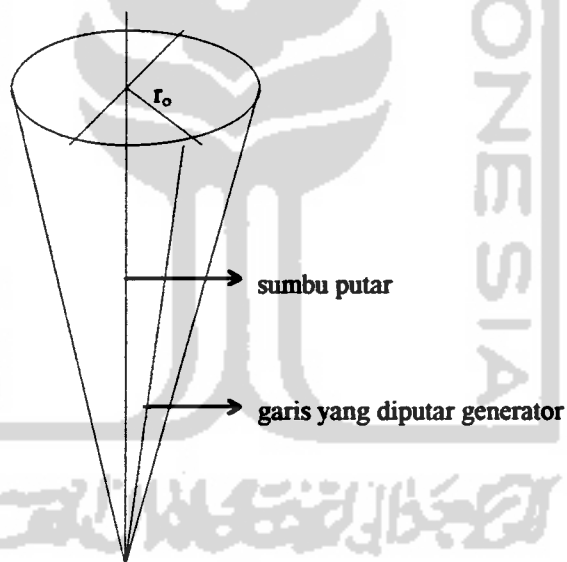
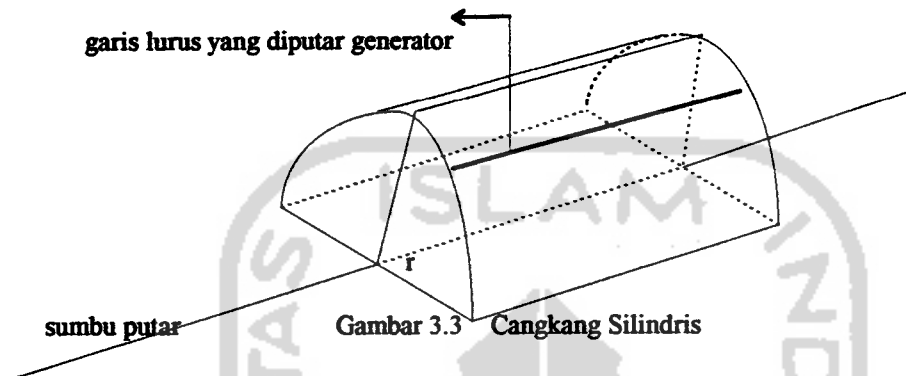
Y = komponen beban luar dalam arah tangen meredian yang bertanda positif bila mengarah kebawah.

Z = komponen beban luar searah dengan jari-jari (r) dan bertanda positif bila mengarah kepusat.



Gambar 3.2 Gaya-gaya yang bekerja menurut Teori Struktur Cangkang

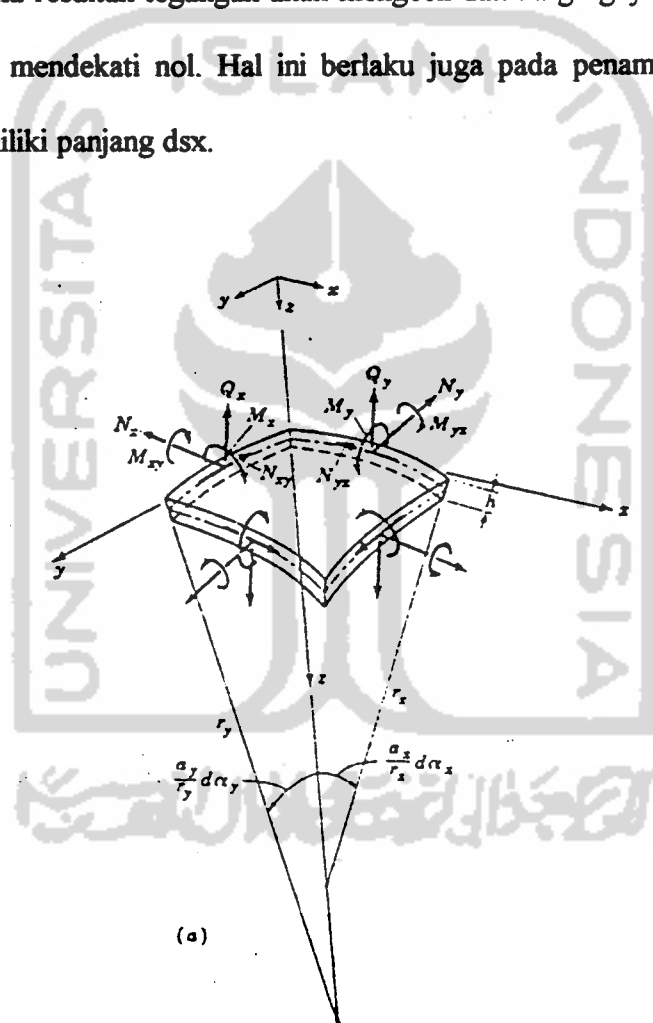
Sedangkan bidang yang membagi tebal cangkang menjadi dua bagian yang sama besar dinamakan Bidang Tengah. Di bawah ini terdapat gambar beberapa bentuk tipe struktur cangkang, yaitu :



3.3. Analisa Perhitungan

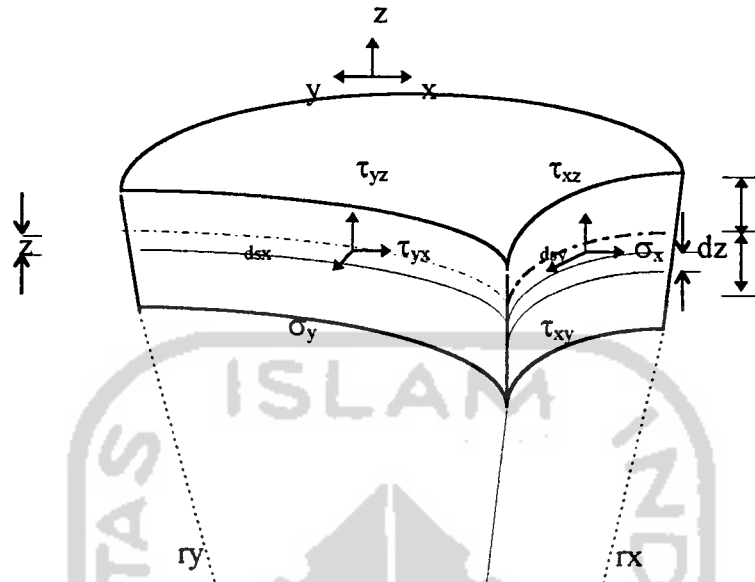
Untuk menentukan resultante tegangan yang terjadi pada konstruksi cangkang kubah, diambil suatu irisan elemen kecil dari kubah dengan dua pasang bidang yang tegak lurus bidang tengah yaitu suatu bidang yang melewati pertengahan kedua permukaan struktur cangkang kubah (Gambar 3.5). Setelah itu ditentukan suatu sistim koordinat yang nantinya akan mempengaruhi perjanjian tanda. Diasumsikan tata

koordinat yang dipakai yaitu $X - Y$ yang menyinggung bidang tengah (Gambar 3.6). Sehingga garis X konstan akan berpotongan dengan garis Y konstan. Sisi depan dari elemen akan berpenampang lintang pada lokasi X konstan dengan luas ds_y , tentu saja tegangan yang bekerja pada bidang tersebut tergantung dari panjang ds_y . Apabila ds_y mendekati nol maka resultan tegangan akan mengecil dan harga gaya dibagi panjang akan berupa limit mendekati nol. Hal ini berlaku juga pada penampang lintang Y konstan yang memiliki panjang ds_x .



Gambar 3.5 Irisan elemen kubah ^[1-8]

Secara umum resultante tegangan yang terjadi pada suatu elemen bidang berjarak z dari bidang tengah dapat dinyatakan dengan integral dari tegangan yang terjadi.



Gambar 3.6 Irisan elemen kubah [7-342]

Dari gambar 3.6 diatas dapat dimengerti bahwa panjang elemen deferensial berjarak z dari bidang tengah adalah :

$$\frac{ds_y (r_y - z)}{r_y}$$

sehingga resultan gaya akan menjadi :

$$dN_x \cdot ds_y = \sigma_x \cdot ds_y \left(\frac{r_y - z}{r_y} \right) dz$$

$$N_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_x \left(\frac{r_y - z}{r_y} \right) dz$$

$$N_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_x (1 - (z/r_y)) dz$$

Dengan cara yang sama akan diperoleh :

$N_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_y (1 - (z/r_x)) dz$	$M_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_x \cdot z (1 - (z/r_y)) dz$
$N_{xy} = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{xy} (1 - (z/r_y)) dz$	$M_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma_y \cdot z (1 - (z/r_x)) dz$
$N_{yx} = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{yx} (1 - (z/r_x)) dz$	$M_{xy} = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{xy} \cdot z (1 - (z/r_y)) dz$
$Q_x = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{xz} (1 - (z/r_y)) dz$	$M_{yz} = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{yx} \cdot z (1 - (z/r_x)) dz$
$Q_y = \int_{-h/2}^{+h/2} \tau_{yz} (1 - (z/r_x)) dz$	

Pada struktur cangkang yang tipis h dan z sangat kecil bila dibandingkan dengan jari-jari r_x dan r_y , oleh sebab itu perbedaan gaya geser tidak terlalu menyolok, dan pada umumnya dapat diabaikan.

Untuk struktur getas, maka variabel :

$$\begin{array}{ll} M_x = 0 & M_{yx} = 0 \\ M_y = 0 & Q_x = 0 \\ M_{xy} = 0 & Q_y = 0 \end{array}$$

Dimana :

N_x = Gaya aksial persatuan panjang pada bidang tengah dengan arah sejajar sumbu x , gaya ini bertanda positif bila berupa gaya tarik.

N_y = Gaya aksial persatuan panjang pada bidang tengah dengan arah sejajar sumbu y , gaya inipun positif bila berupa gaya tarik.

N_{xy} = Gaya geser persatuan panjang pada bidang tengah dengan arah garis singgung terhadap ds_y (bidang tengah), bertanda positif bila searah dengan sumbu y .

N_{yx} = Gaya geser persatuan panjang pada bidang tengah dengan arah garis singgung terhadap ds_x (bidang tengah), gaya bertanda positif bila searah dengan x .

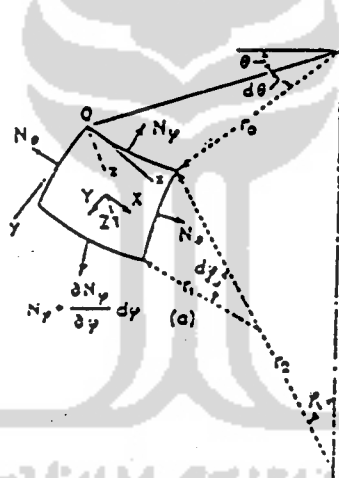
Q_x = Gaya geser persatuan panjang pada bidang tengah dengan arah tegak lurus bidang tersebut, terjadi pada irisan x konstan.

Q_y = Gaya geser persatuan panjang pada bidang tengah dengan arah tegak lurus bidang tersebut, terjadi pada irisan y konstan.

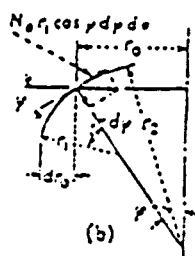
3.4. Struktur Cangkang Yang terbentuk Atas Lengkungan Yang Diputar, Beban Sentris Terhadap sumbu Putar

Suatu elemen cangkang dipotong oleh dua buah meredian yang berdekatan dan dua buah lingkaran lintang. Letak suatu meredian ditentukan oleh sudut θ , yang

diukur dari suatu bidang meredian yang bertindak sebagai tolak ukur dan letak suatu lingkaran sejajar ditentukan oleh sudut φ , yang dibuat tegak lurus terhadap permukaan dan sumbu rotasi. Bidang meredian dan bidang yang tegak lurus terhadap meredian itu merupakan bidang-bidang utama pada suatu titik dari permukaan rotasi, dan jari-jari kelengkungan yang bertalian dengan hal ini masing-masing ditandai r_1 dan r_2 . Jari-jari lingkaran yang sejajar ditandai dengan r_0 sedemikian rupa sehingga panjang sisi-sisi elemen yang bertemu di O adalah $r_1 d\varphi$ dan $r_0 d\theta = r_2 \sin \varphi d\theta$, oleh karena itu luas permukaan elemen ini adalah $r_1 r_2 \sin \varphi d\varphi d\theta$.



Gambar 3.7 Gaya-gaya membran



Gambar 3.8 Gaya-gaya membran

Beban sentris adalah beban yang bekerja terhadap struktur cangkang dan sejajar dengan bidang meredian. Pada kasus beban simetris, diuraikan atas dua buah komponen yaitu : komponen Y dan Z yang sejajar terhadap sumbu-sumbu koordinat. Dengan mengalikan komponen-komponen ini dengan luas $r_1 r_2 \sin \varphi d\varphi d\theta$, maka akan diperoleh komponen beban luar yang bekerja pada elemen ini, yaitu :

$$Y.r_1.r_2.\sin \varphi.d\varphi.d\theta \text{ dan } Z.r_1.r_2.\sin \varphi.d\varphi.d\theta.$$

Tinjauan keseimbangan gaya dalam arah tangen (Y)

- pada bagian atas elemen = $N\varphi.r_o.d\theta$

$$= N\varphi.r_2.\sin \varphi.d\theta$$

- pada bagian bawah elemen

$$= \{N\varphi + (dN\varphi/d\varphi) d\varphi\} \{r_o + (dr_o/d\varphi) d\varphi\} d\theta$$

$$= N\varphi.r_o.d\theta + N\varphi.(dr_o/d\varphi).d\varphi.d\theta + r_o.(dN\varphi/d\varphi).d\varphi.d\theta + (dN\varphi/d\varphi)(dr_o/d\varphi).d\varphi^2.d\theta$$

karena harga $(dN\varphi/d\varphi)(dr_o/d\varphi).d^2\varphi.d\theta$ sangat kecil, maka = 0

sehingga komponen gaya pada bagian bawah :

$$= N\varphi.r_o.d\theta + N\varphi.(dr_o/d\varphi)d\varphi.d\theta + r_o.(dN\varphi/d\varphi)d\varphi.d\theta$$

Resultan gaya dalam arah Y menjadi :

$$R = \{N\varphi(dr_o/d\varphi)d\varphi.d\theta + r_o(dN\varphi/d\varphi)d\varphi.d\theta \}$$

$$= (d/d\varphi).N\varphi.r_o.d\varphi.d\theta$$

karena meninjau bidang (meredian) maka :

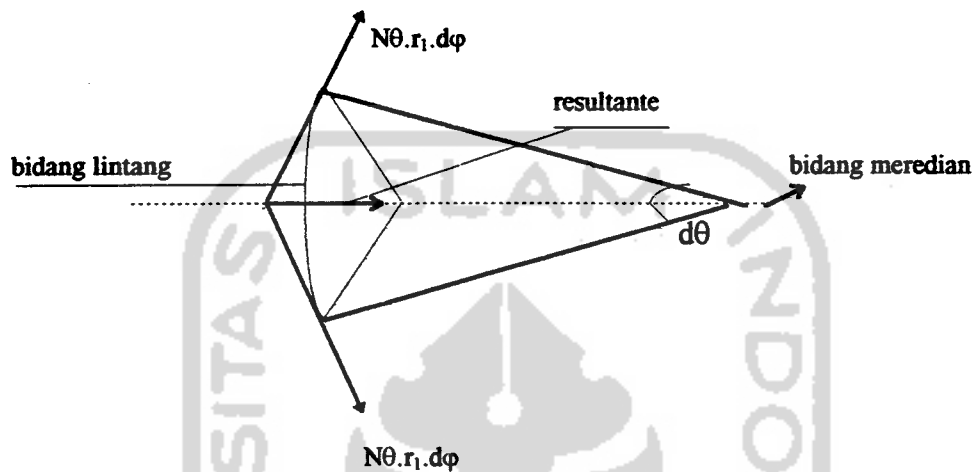
$$(d/d\varphi).N\varphi.r_o.d\varphi.d\theta = (d/d\varphi).N\varphi.r_o.d\varphi.d\theta \dots\dots\dots(3.1)$$

- komponen beban luar dalam arah Y adalah sebesar :

$$Y.r_1.r_o.d\varphi.d\theta \dots\dots\dots(3.2)$$

- komponen gaya yang bekerja pada bidang sisi-sisi lintang elemen ini adalah sebesar :

$$N\theta.r_1.d\phi.$$



Gambar 3.9 Komponen gaya yang bekerja pada bidang tegak lurus terhadap bidang atas dan bawah.

Resultan gaya tersebut pada bidang lintang adalah sebesar : $N\theta.r_1.d\theta.d\phi$

- Komponen resultan ini dalam arah sumbu Y yaitu :

$$N\theta.r_1.\cos\phi.d\phi.d\theta \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan menjumlahkan persamaan (3.1),(3.2) dan (3.3) maka akan diperoleh

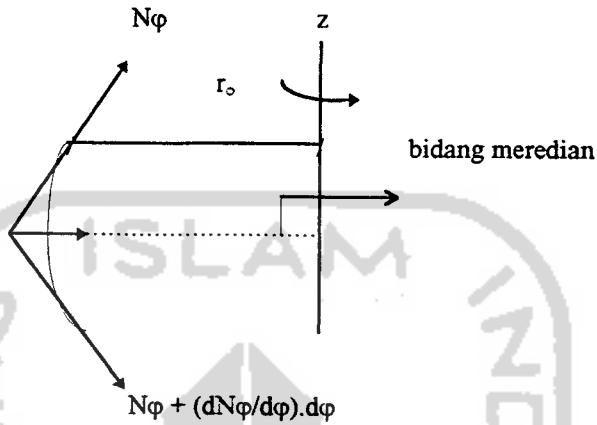
keseimbangan gaya pada arah Y, yaitu :

$$\{(d/d\phi).N\phi.r_o - N\theta.r_1.\cos\phi + Y.r_1.r_o\}d\phi.d\theta = 0$$

$$(d/d\phi)N\phi.r_o - N\theta.r_1.\cos\phi + Y.r_1.r_o = 0 \dots\dots\dots(3.4)$$

Keseimbangan gaya dalam arah Z

- gaya dalam arah tangen meredian

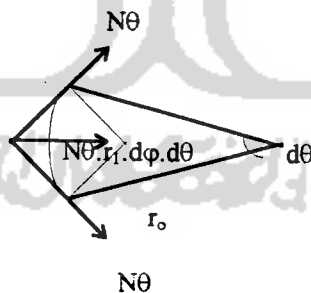


Gambar 3.10 Keseimbangan gaya arah Z

Dengan mengabaikan besaran-besaran kecil, maka elemen gaya meredian dalam arah Z adalah :

$$N\phi \cdot r_\phi \cdot d\phi \cdot d\theta \dots\dots\dots (3.5)$$

- gaya dalam pada bidang lintang :



Gambar 3.11 Elemen gaya arah meredian

Resultan pada bidang melintang : $N\theta \cdot r_1 \cdot d\phi \cdot d\theta$

komponen gaya tersebut dalam arah Z adalah :

$$N\theta \cdot r_1 \cdot \sin \phi \cdot d\phi \cdot d\theta \dots\dots\dots (3.6)$$

beban luar yang bekerja pada elemen luas :

$$Z \cdot r_1 \cdot r_\phi \cdot d\theta \cdot d\phi \dots\dots\dots (3.7)$$

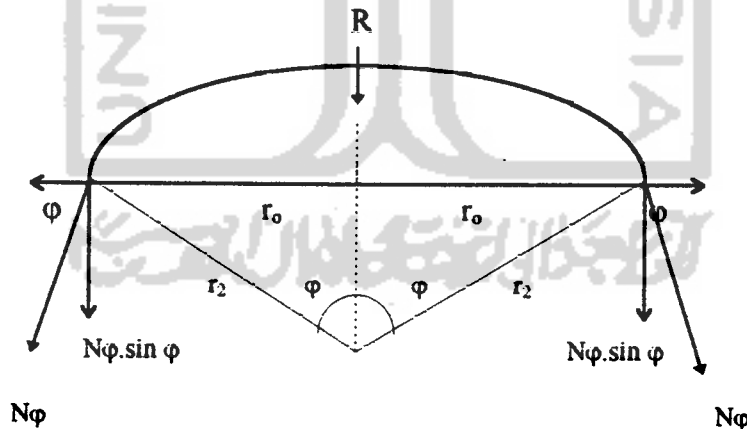
Persamaan kesetimbangan diperoleh dengan menjumlahkan persamaan (3.5),(3.6) dan (3.7) :

$$N\varphi.r_o.d\theta.d\varphi + N\theta.r_1.sin \varphi.d\varphi.d\theta + Z.r_1.r_o.d\theta.d\varphi = 0$$

$$N\varphi.r_o + N\theta.r_1.sin \varphi + Z.r_1.r_o = 0 \dots\dots\dots(3.8)$$

Apabila jari-jari r_o dan r_1 diketahui, serta beban Y dan Z telah terdefinisi maka gaya dalam persatuan panjang $N\varphi$ dan $N\theta$ dapat dihitung yaitu dengan menggunakan dua persamaan yaitu (3.4) dan (3.8). Seperti diketahui persamaan (3.4) dinyatakan dalam persamaan differensial, yang mana dalam hal ini sering menyulitkan untuk menggantikan persamaan (3.4), oleh karena itu dapat disusun dalam persamaan keseimbangan global, seperti berikut ini :

R = resultan beban luar



Gambar 3.12 Keseimbangan cangkang

gaya vertikal adalah sebagai berikut :

$$2\pi.r_o.N\varphi.sin \varphi + R = 0 \dots\dots\dots(3.9)$$

Karena R dapat dihitung maka $N\varphi$ akan dapat diperoleh. Persamaan (3.8) dapat disederhanakan menjadi :

$$N\varphi.r_o + N\theta.r_1.\sin \varphi + Z.r_1.r_o = 0$$

$$N\varphi.r_2.\sin \varphi + N\theta.r_1.\sin \varphi + Z.r_1.r_2.\sin \varphi = 0 \dots\dots\dots(a)$$

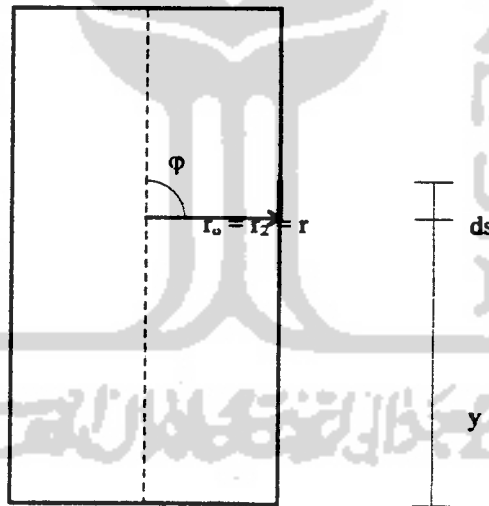
Persamaan (a) diatas dibagi dengan $r_1.r_2.\sin \varphi$, maka akan diperoleh :

$$(N\varphi/r_1) + (N\theta/r_2) = -Z \dots\dots\dots(3.10)$$

Dapat dilihat bahwa, bila $N\varphi$ telah diketahui dari suatu persamaan (3.9), maka dengan menggunakan persamaan (3.10) kita akan dapat menghitung $N\theta$.

3.5. Struktur Cangkang Sebagai Dinding

3.5.1. Beban Simetris Pada Cylindrical Shells



Gambar 3.13 Struktur cangkang sebagai dinding

dimana :

$$r_o = r_2 = r$$

$$ds = r_1.d\varphi$$

$$r_1 = \sim$$

$$d\varphi = ds/r_1 = dy/r_1$$

$$\varphi = \pi/2$$

Dari persamaan (3.10) didapat : $(N\varphi/r_1) + (N\theta/r_2) + Z = 0$

$$(N\varphi/\sim) + (N\theta/r) + Z = 0$$

$$0 + (N\theta/r) + Z = 0$$

$$N\theta = -Z.r \dots\dots\dots(3.11)$$

Dari persamaan (3.4) didapat : $(d/d\phi)N\phi.r_0 - N\theta.r_1.\cos \phi + Y.r_1.r_2 = 0$

$$(d/dy).r_1.N\phi.r - N\theta.r_1.\cos \theta + Y.r.r_1 = 0$$

$$(d/dh)N\phi.r - N\theta.0 + Y.r = 0$$

$$(d/dh)N\phi.r = -Y.r$$

$$dN\phi = -Y.dh \dots\dots\dots(3.12)$$

3.5.2. Akibat Berat Sendiri Cylindrical Shell

$$q = \gamma_b.t$$

$$Y = q$$

$$Z = 0$$

Dari persamaan (3.11) didapat : $N\theta = -Z.r$

$$N\theta_1 = 0 \dots\dots\dots(3.13)$$

Dari persamaan (3.12) didapat : $dN\phi = -Y.dh$

$$dN\phi = -q.dh$$

$$N\phi_1 = -q.h + c \Rightarrow \text{untuk } N\phi = 0, h = 0 \text{ jadi } c = 0.$$

$$N\phi_1 = -q.h + 0$$

$$N\phi_1 = -q.h \dots\dots\dots(3.14)$$

3.5.3. Akibat Tekanan Vertikal Material

$$Z = 0$$

$$Y = -P_v$$

Dari persamaan (3.11) didapat : $N\theta = -Z.r$

$$N\theta_2 = -0.r$$

$$N\theta_2 = 0 \dots\dots\dots(3.15)$$

Dari persamaan (3.12) didapat : $dN\phi = - Y.dh$

$$\begin{aligned} N\phi_2 &= - \int^h ((W.R)/(\mu'.k)) \cdot (1 - e^{-(\mu'.k)/R \cdot h}) dh \\ &= - ((W.R)/(\mu'.k)) \cdot \{h - \int^h e^{-ch} dh\} \\ &= - ((W.R)/(\mu'.k)) \cdot \{h - \int^h 1/e^{ch} dh\} \\ &= - ((W.R)/(\mu'.k)) \cdot \{h - (-1/c \cdot e^{ch})|_0^h\} \\ &= - ((W.R)/(\mu'.k)) \cdot \{h - [-(1/c \cdot e^{-ch} - 1/c \cdot e^0)]\} \\ &= - ((W.R)/(\mu'.k)) \cdot \{h + 1/c \cdot (e^{-ch} - 1)\} \dots\dots\dots(3.16) \end{aligned}$$

dimana :

$$e^{-c} = e^{-(\mu'.k)/R}$$

$$c = (\mu'.k)/R$$

3.5.4. Akibat Tekanan Horisontal Material

$$Z = - Ph$$

Dari persamaan (3.11) didapat : $N\theta = - Z.r$

$$N\theta_3 = Ph.r \dots\dots\dots(3.17)$$

Dari persamaan (3.12) didapat : $dN\phi_3 = - Y.dh$

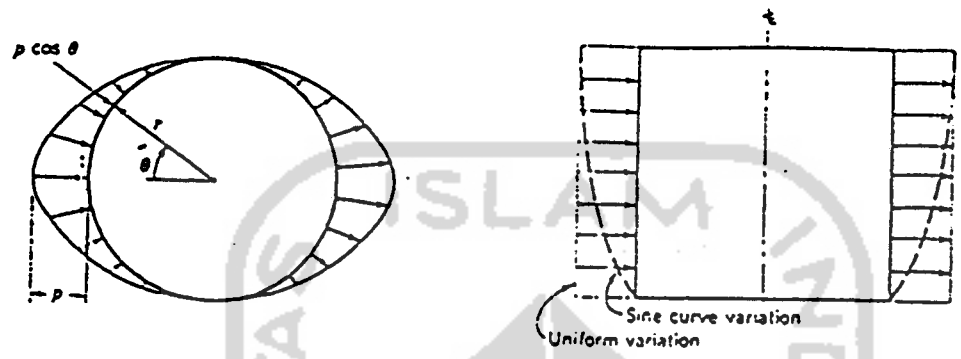
$$dN\phi_3 = - 0.dh$$

$$dN\phi_3 = 0$$

$N\phi_3 = c \Rightarrow$ untuk $N\phi = 0$, maka $c = 0$

$$N\phi_3 = 0 \dots\dots\dots(3.18)$$

3.5.5. Akibat Tekanan Angin



Gambar 3.14 Gaya akibat angin

ditinjau Dari persamaan (3.11) didapat : $N_{\theta} = - Z.r$

$$N_{\theta} = - P.\cos \theta .r \dots\dots\dots(3.19)$$

Dari persamaan (3.12) didapat : $dN_{\phi} = - Y.dh$

$$N_{\phi} = (P/2r) . h^2 . \cos \theta \dots\dots\dots(3.20)$$

dimana : $P = 0,7 (42,5 + 0,6 h)$

θ maksimum = 180^0 , Angin yang diperhitungkan adalah angin hisap

yang terjadi antara $\pi/2 < \theta < 3\pi/2$, karena angin ini akan menyebabkan gaya tarik.

3.5.5. Tekanan akibat gempa

Gaya geser dasar horisontal total akibat gempa (V) adalah sebesar :

$$V = (Cd.Wt) / H$$

dengan $Cd = C.I.k$

$$T = \frac{0,09 H}{\sqrt{B}} \Rightarrow \text{untuk struktur lain.}$$

dimana :

$Wt = \text{Beban total (kg/m')}$.

C = koefisien gempa dasar.

I = faktor keutamaan, konstruksi silo termasuk dalam jenis struktur-struktur lain.

k = faktor jenis struktur, konstruksi silo termasuk jenis cerobong/tangki.

T = waktu getar (detik).

H = tinggi bangunan.

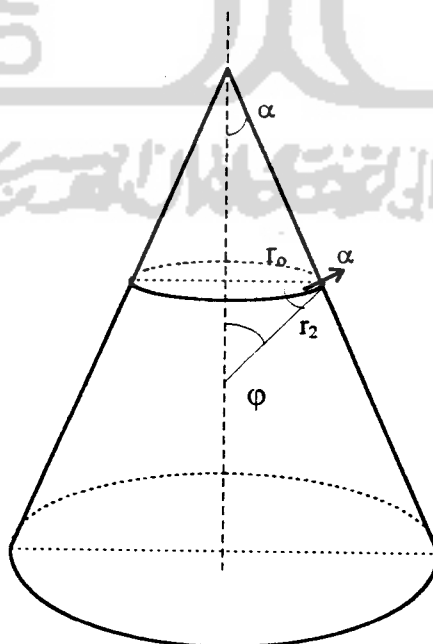
B = panjang seluruh denah struktur gedung pada alasnya.

Dengan ketentuan untuk tangki-tangki yang dinaikan beban F_i adalah sama dengan V dan dikerjakan pada titik berat seluruh struktur berikut isinya, sedangkan gaya vertikal akibat gempa diabaikan ^[3-18].

$$N\theta_s = V.r \dots\dots\dots(3.20.a)$$

$$N\phi_s = (P/2.r).h^2 \dots\dots\dots(3.20.b)$$

3.6. Conical Shell



Gambar 3.15 Conical shell

$$r_1 = r_0 \sin \varphi$$

$$r_2 = r_0 / \sin \varphi = r_0 / \cos \alpha$$

Dari persamaan (3.10) didapat : $(N_\varphi/r_1) + (N_\theta/r_2) = -Z$

$$(N_\varphi/r_0) + (N_\theta/r_2) = -Z$$

$$0 + (N_\theta/r_2) = -Z$$

$$N_\theta = -Z \cdot r_2 \dots \dots \dots (3.21)$$



Gambar 3.16 Penjelasan dari conical shell

$$ds = r_1 \cdot d\varphi$$

$$d\varphi = ds/r_1$$

dalam hal kerucut $ds = dy / \cos \alpha$

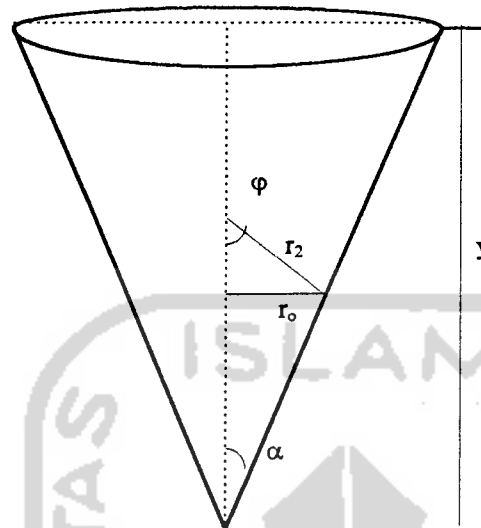
Sehingga rumus (3.4) akan menjadi :

$$(d/d\varphi)N_\varphi \cdot r_0 - N_\varphi \cdot r_1 \cdot \cos \varphi + Y \cdot r_1 \cdot r_0 \cdot d\varphi \cdot d\theta = 0$$

$$(d(N_\varphi \cdot r_0) / dy) \cdot r_1 \cdot \cos \alpha - N_\theta \cdot r_1 \cdot \cos \varphi + Y \cdot r_0 \cdot r_1 = 0$$

$$(d(N_\varphi \cdot r_0) / dy) \cdot \cos \alpha - N_\theta \cdot \cos \varphi + Y \cdot r_0 = 0 \dots \dots \dots (3.22)$$

3.6.1. Conical Dengan Perletakan Di Atas



Gambar 3.17 Conical dengan perletakan di atas

dimana :

$$r_1 = \sim$$

$$r_2 = r_0 / \sin \varphi = r_0 / \cos \alpha$$

$$r_0 = y \cdot \tan \alpha$$

$$Z = - q\alpha$$

$$q\alpha = \frac{(\sin 2\alpha \cdot \cos \phi')}{\sin(\phi' + 2\alpha) + \sin \phi'} P$$

$$P = P_v + \gamma h_1$$

Dari persamaan (3.10) didapat : $(N\theta/r_2) + (N\phi/r_1) = - Z$

$$(N\theta/r_2) + (N\phi/\sim) = - Z$$

$$(N\theta/r_2) + 0 = - Z$$

$$N\theta = - Z \cdot r_2$$

$$N\theta = q\alpha \cdot (r_0 / \sin \phi')$$

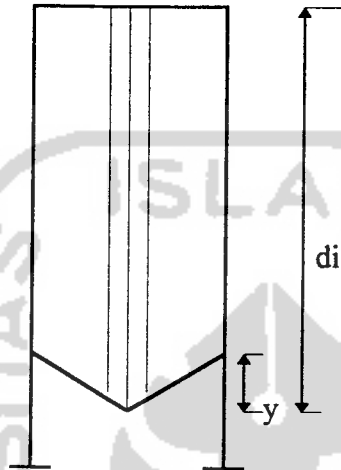
$$= q\alpha \cdot (r_0 / \cos \alpha)$$

$$N\theta_6 = (q\alpha \cdot y \cdot \tan \alpha) / \cos \alpha$$

pada $\varphi = 90^\circ$

$$\text{jadi : } N\theta_6 = q\alpha.r \dots\dots\dots(3.23)$$

Berat material yang dipikul $N\varphi$, yaitu :



Gambar 3.18 Gaya akibat material

Dari persamaan (3.9) didapat : $2\pi.r_o.N\varphi.\sin \varphi + R = 0$

$$2\pi.y.\tan \alpha.N\varphi.\cos \alpha + R = 0$$

$$N\varphi_6 = -R/(2\pi.y.\tan \alpha.\cos \alpha) \dots\dots\dots(3.24)$$

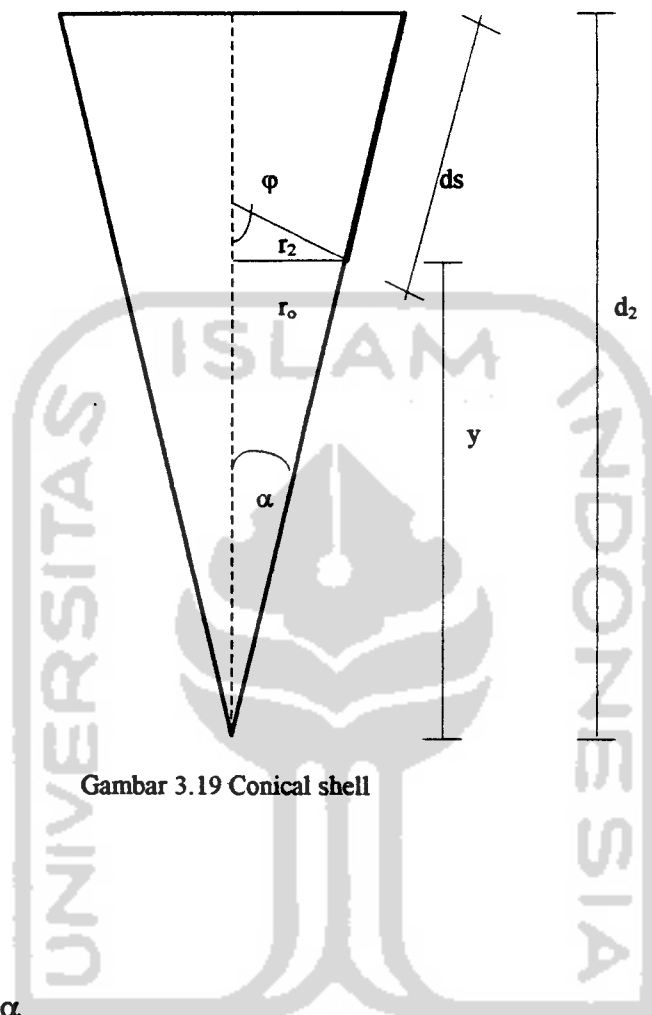
$$R = (I_s + I_c). \gamma - \pi.D.f$$

γ adalah berat jenis bahan

I_s adalah isi silinder f adalah gesekan yang terjadi

I_c adalah isi conical $\pi D =$ keliling dinding

3.6.2. Berat Sendiri Conical Shell



Gambar 3.19 Conical shell

$$r_o = y \tan \alpha$$

$$ds = dy / \cos \alpha$$

$$r_2 = y \cdot \tan \alpha / \cos \alpha$$

$$dr = 2 \cdot \pi \cdot r_o \cdot ds \cdot q$$

$$dr = 2 \cdot \pi \cdot y \cdot \tan \alpha \cdot (dy / \cos \alpha) \cdot q$$

$$= 2\pi \cdot y \cdot (\tan \alpha / \cos \alpha) \cdot dy \cdot q$$

$$= 2\pi \cdot q \cdot (\tan \alpha / \cos \alpha) \int_{d_2}^y y \cdot dy$$

$$R = - 2\pi \cdot q \cdot (\tan \alpha / \cos \alpha) \int_{d_2}^y y \cdot dy$$

$$= - 2\pi \cdot q \cdot (\tan \alpha / \cos \alpha) \left\{ \frac{1}{2} y^2 \Big|_{d_2}^y \right\}$$

$$= - (q \cdot \pi \cdot \tan \alpha \cdot (y^2 - d_2^2)) / \cos \alpha$$

Dari persamaan (3.9) didapat : $2\pi \cdot r_o \cdot N\phi \cdot \sin \phi + R = 0$

$$2\pi \cdot y \cdot \tan \alpha \cdot N\phi \cdot \sin \phi - (q \cdot \pi \cdot \tan \alpha \cdot (y^2 - d_2^2)) / \cos \alpha = 0$$

$$2.y.N\phi.\cos - q (y^2 - d_2^2) / \cos \alpha = 0$$

$$N\phi_7 = q(y^2 - d_2^2) / (2.y.\cos^2 \alpha)$$

$N\phi$ maksimum pada $d_2 = 0$

$$N\phi_7 = (q.y) / (2.\cos^2 \alpha) \dots\dots\dots(3.25)$$

Dari persamaan (3.10) didapat : $(N\theta/r_2) + (N\phi/r_1) = - Z$

$$(N\theta/r_2) + (N\phi/\sim) = - Z$$

$$(N\theta/r_2) + 0 = - Z$$

$$N\theta = - Z.r_2$$

dalam hal ini $Z = - q.\sin \alpha$

maka :

$$N\theta_7 = q.\sin \alpha.y.(tan \alpha / \cos \alpha)$$

$$N\theta_7 = q.y.tan^2 \alpha \dots\dots\dots(3.26)$$

keterangan :

$N\theta_1$ = gaya akibat berat sendiri melintang

$N\phi_1$ = gaya akibat berat sendiri meredian

$N\theta_2$ = gaya akibat tekanan vertikal material melintang

$N\phi_2$ = gaya akibat tekanan vertikal material meredian

$N\theta_3$ = gaya akibat tekanan horisontal material melintang

$N\phi_3$ = gaya akibat tekanan horisontal material meredian

$N\theta_4$ = gaya akibat tekanan angin melintang

$N\phi_4$ = gaya akibat tekanan angin meredian

$N\theta_5$ = gaya akibat gempa

$N\phi_5$ = gaya akibat gempa

$N\theta_6$ = gaya akibat berat sendiri conical

$N\phi_6$ = gaya akibat berat sendiri conical

$N\theta_7$ = gaya akibat berat sendiri conical sheel

$N\phi_7$ = gaya akibat berat sendiri conical sheel

3.7. Ring Balok

Gaya pada ring balok hanya dipengaruhi oleh gaya-gaya aksial dalam arah tangen meredian yang terjadi pada conical, sedangkan gaya yang terjadi pada dinding langsung dipikul oleh kolom (Gambar 3.). Gaya-gaya aksial tersebut adalah :

- Gaya pada conical akibat bahan pengisi ($N\phi_6$).

- Gaya pada conical akibat berat sendiri ($N\phi_7$).

maka :

$$N\phi_c = N\phi_6 + N\phi_7$$

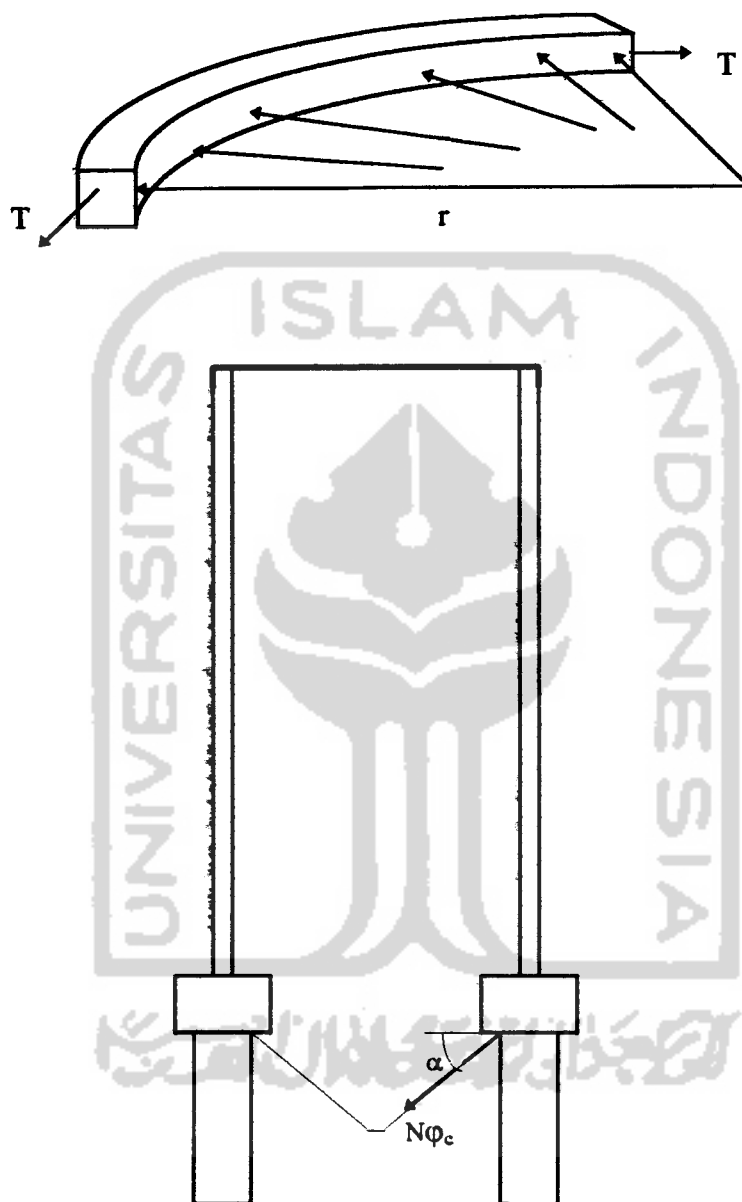
$$H = N\phi_c \cdot \cos \beta$$

$$T = H \cdot r \dots\dots\dots(3.27)$$

dimana (Gambar 3.):

H = gaya aksial yang terjadi pada conical.

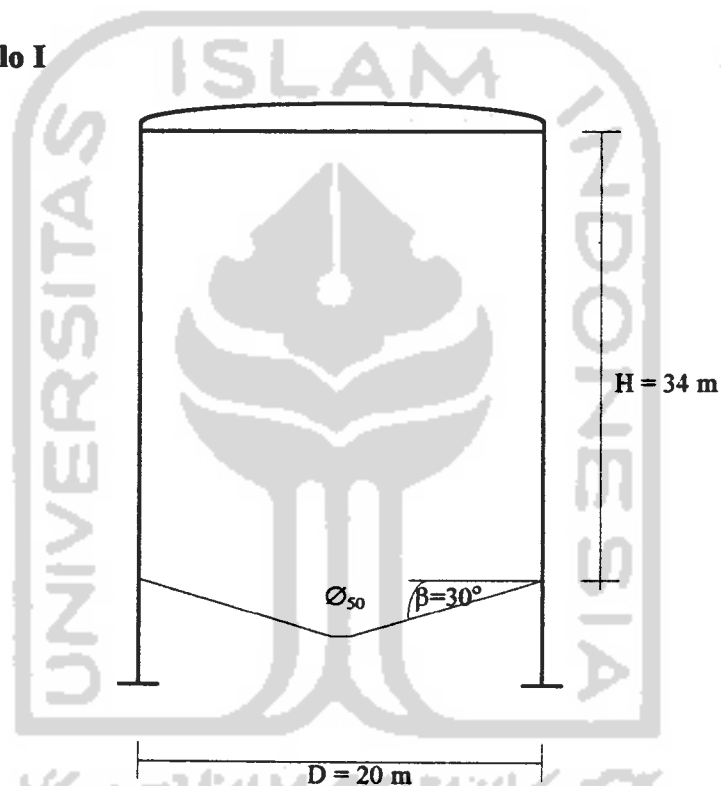
T = gaya ring balok.



Gambar 3.20 Ring balok

BAB IV
CONTOH PERHITUNGAN

1. Penampang silo I



Silo untuk menyimpan semen, dibangun di Cilacap, data-datanya sebagai berikut :

Tinggi (H) = 34 m

Diameter (D) = 20 m

Sudut “hopper” (β) = 30°

Diameter “outlet” = 50 cm

Mutu beton K₂₂₅ dan baja U₃₂ untuk pelat dinding sedangkan untuk “hopper” dipakai baja U₄₈

Penyelesaian :

Semen mempunyai gaya vertikal kebawah (w) = 1440 kg/m³.

Dari tabel 2.1 akan didapatkan :

- Koefisien gesek antara bahan dengan bahan (μ) = 0,316
- Koefisien gesek antara bahan dengan dinding (μ') = 0,466
- Angka perbandingan tekanan horisontal dengan tekanan vertikal (k) = 0,4058
- Sudut geser (ϕ') = 25°

Untuk U₃₂, σ_a = 1850 kg/cm² (Pembebanan tetap)

$$\sigma_a = 2650 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Pembebanan sementara)}$$

Untuk U₄₈, σ_a = 2750 kg/cm² (Pembebanan tetap)

Untuk K₂₂₅, σ'_b = 75 kg/cm².

Menurut metode Janssen rumus tekanan horisontal dan vertikal :

$$\text{Tekanan vertikal (Pv)} = \left(\frac{w.R}{\mu'.k} \right) (1 - e^{-(\mu'.k/R).h}) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Tekanan horisontal (Ph)} = \left(\frac{w.R}{\mu'} \right) (1 - e^{-(\mu'.k/R).h}) = Pv.k \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Misalkan : } x = \left(\frac{\mu'.k}{R} \right) h$$

$$R = \frac{A}{U} = \frac{(1/4.\pi.D^2)}{\pi.D} = \frac{D}{4}$$

Contoh perhitungan :

$$h = 2 \text{ m}$$

$$R = 20/4 = 5 \text{ m}$$

$$\text{Didapatkan nilai } x = ((0,466 \times 0,4058)/5) 2$$

$$= 0,0756$$

$$P_v = ((1440.5)/(0,466.0,4058)).(1 - e^{-0,0756}) = 2773,7720 \text{ kg/m}^2.$$

$$P_h = P_v.k = 2773,7720 . 0,4058 = 1125,5967 \text{ kg/m}^2.$$

Tabel 4.1. Harga P_v dan P_h

h (meter)	$x = ((\mu'.k)/R).h$	$(1 - e^{-x})$	P_v (kg/m ²)	P_h (kg/m ²)
0	0	0	0	0
2	0,0756	0,0728	2773,7720	1124,8069
4	0,1513	0,1404	5345,6638	2169,2704
6	0,2269	0,2030	7729,1293	3136,4807
8	0,3026	0,2611	9941,2595	4034,1631
10	0,3782	0,3149	11989,6691	4865,4077
12	0,4538	0,3648	13889,5881	5636,3949
14	0,5295	0,4111	15652,4388	6351,7597
16	0,6051	0,4540	17285,8361	7014,5923
18	0,6808	0,4938	18801,2023	7629,5279
20	0,7564	0,5307	20206,1524	8199,6566
22	0,8321	0,5649	21508,3013	8728,0687
24	0,9077	0,5966	22715,2639	9217,8541
26	0,9833	0,6259	23830,8476	9670,5580
28	1,0590	0,6532	24870,2822	10092,3605
30	1,1346	0,6785	25833,5678	10483,2618
32	1,2103	0,7019	26724,5118	10844,8069
34	1,2859	0,7236	27550,7290	11180,0858

Contoh Perhitungan :

Akibat $h = 2$ m, untuk h selanjutnya dapat dihitung dengan cara yang sama.

- Akibat berat sendiri

$$N\theta_1 = 0$$

$$N\phi_1 = -q.h$$

$$= -(\gamma_{\text{beton}}.t_s).h$$

$$= -(2400.0,95)2 = 4560 \text{ kg/m}^2$$

- Akibat tekanan vertikal material

$$N_{\theta_2} = 0$$

$$N_{\phi_2} = - ((w.R)/(\mu'.k)). (h + (1/c) (e^{-ch} - 1))$$

$$c = (\mu'.k)/R$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(0,466 \cdot 0,4058)}{5} = 0,0378 \\ &= \frac{-1440 \cdot 5}{0,466 \cdot 0,4058} (2 + (1 / 0,0378) (e^{-0,0378 \cdot 2} - 1)) = -2808,7372 \text{ kg/m}' \end{aligned}$$

- Akibat tekanan horisontal material

$$N_{\theta_3} = Ph.r = 1124,8069 \cdot 10 = 11248,069 \text{ kg/m}'$$

$$N_{\phi_3} = 0$$

- Akibat tekanan angin ^[2-23]

$$P = 0,7(42,5 - 0,6 H) = 0,7(42,5 - 0,6 \cdot 32) = 43,19 \text{ kg/m}^2$$

$$N_{\theta_4} = - P.r.\cos \theta = - 43,19 \cdot 10 \cdot \cos 180^0 = 431,9 \text{ kg/m}'$$

$$\begin{aligned} N_{\phi_4} &= \frac{P}{2.r} h^2 \cos \theta \\ &= \frac{43,19}{2 \cdot 10} 2^2 \cdot \cos 180^0 = -86,06 \text{ kg/m}' \end{aligned}$$

- Akibat momen karena tekanan angin ^[1-78]

$$N_{\theta_{4a}} = 0$$

$$N_{\phi_{4a}} = \frac{P}{2r} h^2 \cdot \cos \theta = \frac{43,19}{2 \cdot 10} 2^2 \cdot \cos 180^0 = -86,00 \text{ kg/m}'$$

- Akibat gempa ^[4-14]

$$C_d = C.I.k$$

$$* \text{ waktu getar} = T = \frac{0,09 \cdot H}{\sqrt{B}} = \frac{0,09 \cdot 34}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot 10}} = 0,386 \text{ detik}$$

$$* \text{ koefisien gempa dasar (cilacap daerah gempa 3)} = 0,07$$

$$* \text{ faktor keutamaan (I)} = 1,0 \text{ (silo termasuk dalam kategori struktur lain).}$$

$$* \text{ faktor jenis struktur (k)} = 3 \text{ (silo termasuk dalam kategori tangki).}$$

$$* C_d = C \cdot I \cdot k = 0,07 \cdot 1 \cdot 3 = 0,21$$

Mencari gaya gempa arah lintang (V), dengan asumsi tebal dinding = 95 cm.

$$W_i = (\gamma_{\text{beton}} \cdot t_s \cdot h) + (\gamma_{\text{semen}} \cdot r \cdot h) = (2400 \cdot 0,95 \cdot 2) + (1440 \cdot 10 \cdot 2) = 33360 \text{ kg/m'}$$

$$W_{\text{total}} = 17 \cdot 33360 = 567120 \text{ kg/m'}$$

$$V = C_d \cdot W_t$$

$$= 0,21 \cdot 567120 = 119095,2 \text{ kg/m' (untuk konstruksi silo setinggi 34 m)}$$

$$= \frac{119095,2}{34} = 3502,80 \text{ kg/m}^2$$

$$N\theta_s = 3502,8 \cdot r = 3502,8 \cdot 10 = 35028 \text{ kg/m'}$$

$$N\phi_s = \frac{P}{2r} \cdot h^2 = \frac{3502,8}{2 \cdot 10} \cdot 2^2 = 700,56 \text{ kg/m'}$$

- Akibat momen karena gempa^[1-78]

$$N\theta_{sa} = 0$$

$$N\phi_{sa} = \frac{P}{2r} \cdot h^2 = \frac{3502,8}{2 \cdot 10} \cdot 2^2 = 700,56 \text{ kg/m'}$$

Tabel 4.2. Gaya gempa dan angin

h	P	Tekanan Angin(kg/m ²)			P=V kg/m ²	Tekanan Gempa(kg/m ²)		
		N θ_4	N ϕ_4	N ϕ_{4a}		N θ_5	N ϕ_5	N ϕ_{5a}
0	44,03	440,3	0	0	3502,8	35028	0	0
2	43,19	431,9	-86,06	-86,06	3502,8	35028	700,56	700,56
4	42,35	423,5	-338,80	-338,80	3502,8	35028	2802,24	2802,24
6	41,51	415,1	-747,18	-747,18	3502,8	35028	6305,04	6305,04
8	40,67	406,7	-1300,48	-1300,48	3502,8	35028	11208,96	11208,96
10	39,84	398,4	-1992,00	-1992,00	3502,8	35028	17514,00	17514,00
12	38,99	389,9	-2807,28	-2807,28	3502,8	35028	25220,16	25220,16
14	38,15	381,5	-3738,70	-3738,70	3502,8	35028	34327,44	34327,44
16	37,31	373,1	-4775,68	-4775,68	3502,8	35028	44835,84	44835,84
18	36,47	364,7	-5908,14	-5908,14	3502,8	35028	56745,36	56745,36
20	35,63	356,3	-7126,00	-7126,00	3502,8	35028	70056,00	70056,00
22	34,79	347,9	-8419,18	-8419,18	3502,8	35028	84767,76	84767,76
24	33,95	339,5	-9777,60	-9777,60	3502,8	35028	100880,64	100880,64
26	33,11	331,1	-11191,18	-11191,18	3502,8	35028	118394,64	118394,64
28	32,27	322,7	-12649,84	-12649,84	3502,8	35028	137309,76	137309,76
30	31,43	314,3	-14143,50	-14143,50	3502,8	35028	157626,00	157626,00
32	30,59	305,9	-15662,08	-15662,08	3502,8	35028	179343,36	179343,36
34	29,75	397,5	-17195,50	-17195,50	3502,8	35028	202461,84	202461,84

Tabel 4.3. Gaya-gaya yang bekerja pada silo

h m	N θ_3 kg/m ²	N θ_5 kg/m ²	$\Sigma N\theta$ kg/m ²	N ϕ_1 kg/m ²	N ϕ_2 kg/m ²	N ϕ_4 kg/m ²	N ϕ_{4a} kg/m ²	$\Sigma N\phi$ kg/m ²
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11248,069	35028	46276,069	-4560	-2808,737	-86,06	-86,06	-7540,80
4	21692,704	35028	56720,704	-9120	-10960,399	-338,80	-338,80	-20758,00
6	31364,807	35028	66392,807	-13680	-24065,746	-747,18	-747,18	-39240,11
8	40341,631	35028	75369,631	-18240	-41763,900	-1300,48	-1300,48	-62604,86
10	48654,077	35028	83682,077	-22800	-63720,266	-9192,00	-9192,00	-97704,27
12	56363,949	35028	91391,949	-27360	-89624,630	-2807,28	-2807,28	-122599,19
14	63517,597	35028	98545,597	-31920	-119189,377	-3738,70	-3738,70	-158586,78
16	70145,923	35028	105173,923	-36480	-152147,842	-4775,68	-4775,68	-198179,20
18	76295,279	35028	111323,279	-41044	-188252,791	-5908,14	-5908,14	-241113,07
20	81996,566	35028	117024,566	-45600	-227274,997	-7126,00	-7126,00	-297127,00
22	87280,687	35028	122308,687	-50160	-269001,937	-8419,18	-8419,18	-336000,30
24	92178,541	35028	127206,541	-54720	-313236,566	-9777,60	-9777,60	-387511,77
26	96705,580	35028	131733,780	-59280	-359796,197	-11191,18	-11191,18	-441458,56
28	100923,605	35028	135951,805	-63840	-408511,450	-12649,84	-12649,84	-497651,13
30	104832,618	35028	139860,818	-68400	-459225,287	-14143,50	-14143,50	-555912,29
32	108448,069	35028	143476,269	-72960	-566076,922	-15662,08	-15662,08	-670361,08
34	111800,858	35028	146828,058	-77520	-566076,922	-17195,50	-17195,50	-677987,92

Dari tabel 4.3 maka dapat ditinjau :

* Ceking tebal dinding silo :

$$\sigma'_b \cdot t_s^2 + (2 \cdot \sigma'_b \cdot r_2 - \Sigma N \phi) t_s - 2 \cdot \Sigma N \phi \cdot r_2 = 0$$

$$75 \cdot t_s^2 + ((2 \cdot 75 \cdot 1000) - 6779,879) t_s - 2 \cdot 6779,879 \cdot 1000 = 0$$

$$t_s = 90,3984 \text{ cm} \leq 95 \text{ cm}$$

diambil tebal dinding silo (t_s) = 95 cm

* Ceking tegangan desak beton $\Rightarrow \sigma'_b = \frac{\Sigma N \phi \cdot \text{keliling O}}{\text{luas O}} \leq 75 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma'_b = \frac{677987,920 \cdot 2 \cdot \pi \cdot (10 + (0,5 \cdot 0,95))}{\pi(1095^2 - 1000^2)} = 71,0265 \text{ kg/cm}^2 \leq 75 \text{ kg/cm}^2$$

* Menghitung luas dan penulangan

$$As_{\theta} = \frac{\Sigma N_{\theta}}{\sigma_{\text{ijin baja}}} = \frac{(146828,058)}{2650} = 55,4068 \text{ cm}^2$$

$$\text{dipakai tulangan rangkap, } As = \frac{55,4068}{2} = 27,7034 \text{ cm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 20 - 100$.

$$As_{\phi} = 0,25 \% \cdot t_s \cdot 100 = 0,25\% \cdot 95 \cdot 100 = 23,76 \text{ cm}^2$$

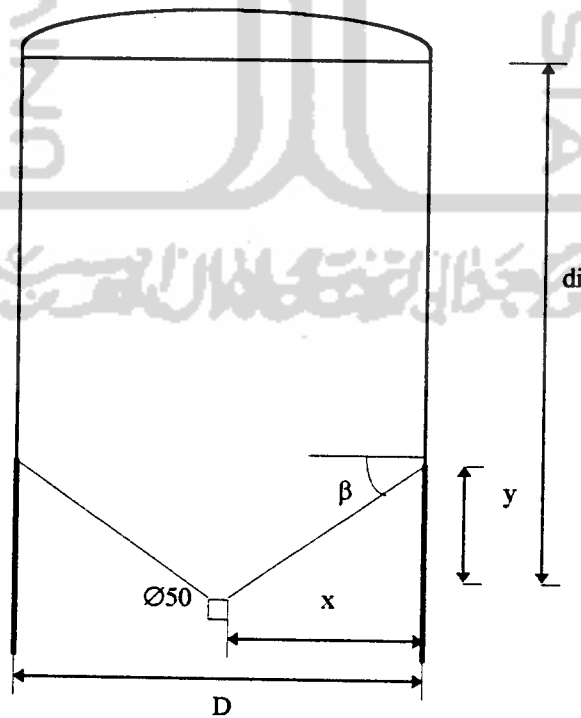
$$\text{dipakai tulangan rangkap, } As = \frac{23,75}{2} = 11,875 \text{ cm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 20 - 250$.

Tabel 4.4. Luas dan diameter tulangan

h m	$\Sigma N\theta$ kg/m'	$As\theta$ cm ² /m'	Tulangan Rangkap	$\Sigma N\phi$ kg/m'	$As\phi$ cm ² /m'	Tulangan Rangkap
0	0	0	Ø16 - 200	0	0	Ø20 - 250
2	46276,069	17,463	Ø16 - 200	- 7540,80	23,75	Ø20 - 250
4	56720,704	21,404	Ø20 - 200	- 20758,00	23,75	Ø20 - 250
6	77392,807	29,205	Ø20 - 200	- 39240,11	23,75	Ø20 - 250
8	75369,631	28,441	Ø20 - 200	- 62604,86	23,75	Ø20 - 250
10	83682,077	31,578	Ø20 - 175	- 97704,27	23,75	Ø20 - 250
12	91391,949	34,488	Ø20 - 175	- 122599,19	23,75	Ø20 - 250
14	98545,597	37,187	Ø20 - 150	- 158586,78	23,75	Ø20 - 250
16	105173,923	39,688	Ø20 - 150	- 198179,20	23,75	Ø20 - 250
18	111323,279	42,009	Ø20 - 125	- 241113,07	23,75	Ø20 - 250
20	117024,566	44,160	Ø20 - 125	- 287127,00	23,75	Ø20 - 250
22	122308,687	46,154	Ø20 - 125	- 336000,30	23,75	Ø20 - 250
24	127206,541	48,003	Ø20 - 125	- 387511,77	23,75	Ø20 - 250
26	131733,780	49,711	Ø20 - 125	- 441458,56	23,75	Ø20 - 250
28	135951,805	51,303	Ø20 - 100	- 497651,13	23,75	Ø20 - 250
30	139860,818	52,778	Ø20 - 100	- 555912,29	23,75	Ø20 - 250
32	143476,269	54,142	Ø20 - 100	- 670361,08	23,75	Ø20 - 250
34	146818,058	55,407	Ø20 - 100	- 677987,92	23,75	Ø20 - 250

Gaya-gaya pada Conical



$$x = 1/2 (D - 0,5) = 1/2 (20 - 0,5) = 9,75 \text{ m}$$

$$y = x \cdot \tan \beta = 9,75 \cdot \tan 30^\circ = 5,6292 \text{ m}$$

$$d_i = H + y = 34 + 5,6292 = 39,6292 \text{ m}$$

diambil tebal conical = 60 cm

Isi silinder :

$$I_s = 1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H = 1/4 \cdot \pi \cdot 20^2 \cdot 34 = 10681,4150 \text{ m}^3$$

Isi Conical :

$$I_c = 1/3 \cdot \pi \cdot y \cdot r^2 = 1/3 \cdot \pi \cdot 5,6292 \cdot 10^2 = 589,4886 \text{ m}^3$$

Gaya pada conical akibat bahan pengisi

$$R = -(I_s + I_c) \cdot \gamma_{\text{semen}} - (P_v \cdot \text{Keliling})$$

$$= -(10681,415 + 589,4886) \cdot 1440 - (27550,729 \cdot \pi \cdot 20)$$

$$= -14499037,83 \text{ kg}$$

$$= -14499,0378 \text{ ton}$$

$$N\phi_6 = - \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot y \cdot \tan \alpha \cdot \cos \alpha}$$

$$= - \frac{-14499,0378}{2 \cdot \pi \cdot 5,6292 \cdot \tan 60^\circ \cdot \cos 60^\circ}$$

$$= 473,3496 \text{ t/m}$$

$$q\alpha = \frac{\sin 2\alpha \cdot \cos \phi'}{\sin(\phi' + 2\alpha) + \sin \phi'} \cdot P$$

$$P = P_v + (\gamma_{\text{semen}} \cdot y)$$

$$= 27,5507 + (1,44 \cdot 5,6292)$$

$$= 35,6568 \text{ t/m}^2$$

$$q\alpha = \frac{\sin(2 \cdot 60^\circ) \cdot \cos 25^\circ}{\sin(25 + (2 \cdot 60))^\circ + \sin 25^\circ} \cdot 35,6568$$

$$= 27,8662 \text{ t/m}^2$$

$$N\theta_6 = q\alpha.r$$

$$= 27,8662 \cdot 10 = 278,662 \text{ t/m}$$

Gaya pada conical akibat berat sendiri

$$q = d.bj_{\text{beton}} = 0,6 \cdot 2,4 = 1,44 \text{ t/m}^2$$

$$N\phi_7 = \frac{q.y}{2.\cos \alpha}$$

$$= \frac{1,44 \cdot 5,6292}{2.\cos 60^\circ}$$

$$= 8,1060 \text{ t/m}$$

$$N\theta_7 = q.y.\tan^2 \alpha$$

$$= 1,44 \cdot 5,6292 \cdot \tan^2 60^\circ = 24,3181 \text{ t/m}$$

Total gaya yang terjadi pada conical

* dalam arah tangen meredian

$$N\phi_c = N\phi_6 + N\phi_7$$

$$= 473,3496 + 8,106$$

$$= 481,4556 \text{ t/m}$$

* dalam arah tangen lintang

$$N\theta_c = N\theta_6 + N\theta_7$$

$$= 278,662 + 24,3181$$

$$= 302,9801 \text{ t/m}$$

Tulangan pada conical

* dalam arah lintang

$$As_{\theta} = \frac{N_{\theta c}}{\sigma_{ijin \text{ baja}}}$$

$$= \frac{302,9802 \cdot 10^3}{2750}$$

$$= 110,1746 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

dipakai 4 lapis tulangan, $As = \frac{110,1746}{4} = 27,5437 \text{ cm}^2$

tiap lapis dipasang tulangan $\varnothing 20-100$

* dalam arah meredian

$$As_{\phi} = \frac{N_{\phi c}}{\sigma_{ijin \text{ baja}}}$$

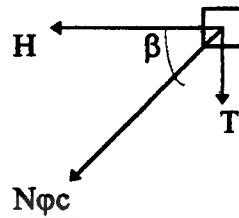
$$= \frac{481,4556 \cdot 10^3}{2750} = 175,0748 \text{ cm}^2$$

dipakai 4 lapis tulangan, $As = \frac{175,0748}{4} = 43,7687 \text{ cm}^2$

dipakai tulangan : $\varnothing 25 - 100$.

Ring balok

- Gaya horisontal akibat tegangan conical



$$H = N\phi_c \cdot \cos \beta$$

$$= 481,4556 \cdot \cos 30^\circ$$

$$= 416,9528 \text{ t/m}$$

- Gaya pada ring balok

$$T = H \cdot r$$

$$= 416,9528 \cdot 10$$

$$= 4169,528 \text{ t/m}$$

Tulangan pada ring (dipakai balok ring ukuran 100x100 cm), maka :

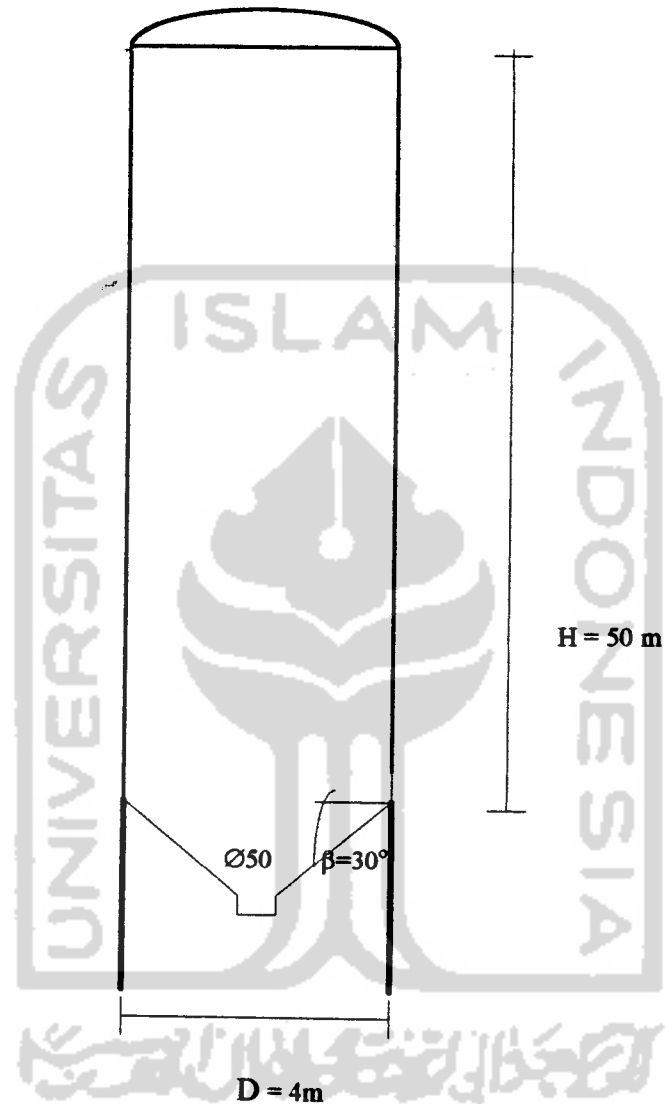
$$A_s \text{ min} = 0,25 \% \cdot \text{tr} \cdot \text{br}$$

$$= 0,25 \% \cdot 100 \cdot 100$$

$$= 25 \text{ cm}^2$$

dipakai tulangan 6Ø25.

2. Penampang silo II



Silo untuk menyimpan semen, dibangun di Cilacap, data-datanya sebagai berikut :

Tinggi (H) = 50 m

Diameter (D) = 4 m

Sudut "hopper" (β) = 30°

Diameter "outlet" = 50 cm

Mutu beton K_{225} dan U_{32} .



Penyelesaian :

Semen mempunyai gaya vertikal kebawah (w) = 1440 kg/m³

Dari tabel 2.1 akan didapatkan :

- Koefisien gesek antara bahan dengan bahan (μ) = 0,316
- Koefisien gesek antara bahan dengan dinding (μ') = 0,466
- Angka perbandingan antara tekanan horisontal dengan tekanan vertikal (k) = 0,4058
- Sudut geser (ϕ') = 25°
- Untuk U₃₂, mempunyai $\sigma_s = 1850 \text{ kg/cm}^2$ (untuk pembebanan tetep)
- $\sigma_s = 2650 \text{ kg/cm}^2$ (untuk pembebanan sementara)

Untuk K₂₂₅, $\sigma'_s = 75 \text{ kg/cm}^2$.

Menurut Metode Janssen :

$$\text{Tekanan vertikal (Pv)} = \left(\frac{w \cdot R}{\mu' \cdot k} \right) \cdot (1 - e^{-(\mu' \cdot k/R) \cdot h}) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Tekanan horisontal (Ph)} = \left(\frac{w \cdot R}{\mu'} \right) \cdot (1 - e^{-(\mu' \cdot k/R) \cdot h}) = P_v \cdot k \dots\dots\dots(2.3)$$

dimisalkan :

$$x = \frac{(\mu' \cdot k)}{R} \cdot h$$

$$R = A/U = \frac{1/4 \cdot \pi D^2}{\pi \cdot D} = \frac{D}{4}$$

Contoh perhitungan :

$$h = 2 \text{ m}$$

$$R = 4/4 = 1 \text{ m}$$

$$x = \frac{(0,466 \cdot 0,4058)}{1} \cdot 2 = 0,3782$$

$$P_v = \left(\frac{1440.1}{0,466.0,4058} \right) (1 - e^{-0,3782}) = 2397,9836 \text{ kg/m}^2$$

$$P_h = P_v \cdot k = 2397,9836 \cdot 0,4058 = 973,1017 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 4.4. Harga P_v dan P_h

h (m)	X	(1 - e ^{-x})	P _v kg/m ²	P _h kg/m ²
0	0	0	0	0
2	0,378	0,315	2398,695	973,391
4	0,756	0,531	4043,515	1640,858
6	1,135	0,679	5170,521	2098,197
8	1,513	0,780	5939,627	2410,300
10	1,891	0,850	6472,670	2626,609
12	2,270	0,897	6830,571	2771,846
14	2,647	0,929	7074,247	2870,730
16	3,026	0,951	7241,775	2938,712
18	3,404	0,967	7363,614	2988,155
20	3,782	0,977	7439,763	3019,056
22	4,160	0,984	7493,067	3040,687
24	4,539	0,989	7531,142	3056,157
26	4,917	0,993	7561,601	3068,498
28	5,295	0,995	7576,831	3074,678
30	5,673	0,997	7592,061	3080,858
32	6,051	0,998	7599,676	3083,948
34	6,429	0,998	7599,676	3083,948
36	6,808	0,999	7607,291	3087,039
38	7,186	0,999	7608,814	3087,657
40	7,564	0,999	7611,110	3088,584
42	7,942	0,999	7611,860	3088,893
44	8,321	0,999	7613,383	3089,511
46	8,669	0,999	7613,383	3089,511
48	9,077	1,000	7614,144	3089,820
50	9,455	1,000	7614,144	3089,820

Contoh perhitungan gaya-gaya yang bekerja dengan $h = 2$ m dan tebal silo (t_s) diasumsikan = 65 cm. Untuk perhitungan selanjutnya dihitung dengan cara yang sama.

-Akibat berat sendiri

$$N_{\theta 1} = 0$$

$$N_{\varphi 1} = -q \cdot h$$

- Akibat tekanan vertikal material

$$N_{\theta_2} = 0$$

$$N_{\phi_2} = - ((w.R)/(\mu'.k)).(h+(1/c).(e^{-ch}-1))$$

$$c = (\mu'.k)/R$$

$$= \frac{(0,466 \cdot 0,4058)}{1} = 0,1891$$

$$N_{\phi_2} = \frac{1440,1}{0,466 \cdot 0,4058} (2 + (1/0,891).(e^{-0,1891 \cdot 2} - 1))$$

$$= 2477,978 \text{ kg/m'}$$

- Akibat tekanan horisontal material

$$N_{\theta_3} = Ph.r$$

$$= 3089,82 \cdot 2 = 6179,64 \text{ kg/m'}$$

$$N_{\phi_3} = 0$$

- Akibat angin

$$P = 0,7 (42,5 + 0,6 \cdot 48) = 49,91 \text{ kg/m}^2$$

$$N_{\theta_4} = -P \cos \theta . r$$

$$= -49,91 \cdot \cos 180 \cdot 2 = 99,82 \text{ kg/m'}$$

$$N_{\phi_4} = \frac{P}{2.r} h^2 \cos \theta = \frac{49,91}{2 \cdot 2} 2^2 \cos 180^\circ = -49,91 \text{ kg/m'}$$

- Akibat momen karena beban angin

$$N_{\theta_{4a}} = 0$$

$$N_{\phi_{4a}} = \frac{P}{2.r} h^2 \cos \theta = \frac{49,91}{2 \cdot 2} 2^2 \cos 180^\circ = -49,91 \text{ kg/m'}$$

- Akibat gempa ^[4-14]

$$N_{\theta_5} = V = Cd \cdot Wt$$

$$\begin{aligned}
 W_i &= (\gamma_{\text{beton}} \cdot t_a \cdot h) + (\gamma_{\text{scemen}} \cdot r \cdot h) \\
 &= (2400 \cdot 0,65 \cdot 2) + (1440 \cdot 2 \cdot 2) \\
 &= 8880 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$W_{\text{total}} = 25 \cdot 8880 = 222000 \text{ kg/m'}$$

$$C_d = C \cdot I \cdot k$$

$$T = \frac{0,09 \cdot H}{\sqrt{B}} = \frac{0,09 \cdot 50}{\sqrt{(2 \cdot \pi \cdot 2)}} = 1,27 \text{ detik}$$

$$C = 0,0606 \qquad C_d = 0,0606 \cdot 1,3 = 0,1818$$

$$I = 1 \qquad k = 3$$

$$V = 0,1818 \cdot 222000 = 40359,6 \text{ kg/m' (untuk silo setinggi 50 m)}$$

$$= \frac{40359,6}{50} = 807,192 \text{ kg/m}^2$$

$$N\theta_5 = V \cdot r = 807,192 \cdot 2 = 1614,384 \text{ kg/m'}$$

$$N\phi_5 = \frac{P}{2 \cdot r} h^2 = \frac{807,192}{2 \cdot 2} 2^2 = 807,192 \text{ kg/m'}$$

- Akibat momen karena gempa

$$N\theta_{5a} = 0$$

$$N\phi_{5a} = \frac{P}{2r} h^2 = \frac{807,192}{2 \cdot 2} 2^2 = 807,192 \text{ kg/m'}$$

Tabel 4.6. Gaya akibat angin dan gempa

No.	h m	Akibat angin (kg/m')			h m	wi kg/m'	Akibat gempa (kg/m')		
		$N\theta_4$	$N\varphi_4$	$N\varphi_{4a}$			$N\theta_5$	$N\varphi_5$	$N\varphi_{5a}$
1	0	101,50	0	0	0	0	0	0	0
2	2	99,98	-49,91	-49,91	2	8880	1614,384	807,192	807,912
3	4	98,14	-196,28	-196,28	4	8880	1614,384	3228,768	3228,768
4	6	96,46	-434,07	-434,07	6	8880	1614,384	7264,728	7264,728
5	8	94,78	-649,92	-649,92	8	8880	1614,384	12915,072	12915,072
6	10	93,10	-1163,75	-1163,75	10	8880	1614,384	20179,800	20179,800
7	12	91,42	-1645,56	-1645,56	12	8880	1614,384	29058,912	29058,912
8	14	89,74	-2198,63	-2198,63	14	8880	1614,384	39552,408	39552,408
9	16	88,06	-2817,92	-2817,92	16	8880	1614,384	51660,288	51660,288
10	18	86,38	-3498,39	-3498,39	18	8880	1614,384	65382,552	65382,552
11	20	84,70	-4235,00	-4235,00	20	8880	1614,384	80719,200	80719,200
12	22	83,02	-5026,34	-5026,34	22	8880	1614,384	97670,232	97670,232
13	24	81,34	-5856,48	-5856,48	24	8880	1614,384	116232,648	116232,648
14	26	79,66	-6731,27	-6731,27	26	8880	1614,384	136415,448	136415,448
15	28	77,98	-7642,04	-7642,04	28	8880	1614,384	158209,632	158209,632
16	30	76,30	-8583,75	-8583,75	30	8880	1614,384	181618,206	181618,206
17	32	74,62	-9551,36	-9551,36	32	8880	1614,384	206641,152	206641,152
18	34	72,94	-10539,83	-10539,83	34	8880	1614,384	233278,488	233278,488
19	36	71,26	-11560,32	-11560,32	36	8880	1614,384	261530,208	261530,208
20	38	69,58	-12559,19	-12559,19	38	8880	1614,384	291396,312	291396,312
21	40	67,90	-13580,00	-13580,00	40	8880	1614,384	322876,800	322876,800
22	42	66,22	-14601,51	-14601,51	42	8880	1614,384	355971,672	355971,672
23	44	64,54	-15618,68	-15618,68	44	8880	1614,384	390680,928	390680,928
24	46	62,86	-16626,47	-16626,47	46	8880	1614,384	427004,568	427004,568
25	48	61,18	-17619,84	-17619,84	48	8880	1614,384	464942,592	464942,592
26	50	59,50	-18593,75	-18593,75	50	8880	1614,384	504495,000	504495,000

wt = 222000

Tabel 4.7. Gaya-gaya yang bekerja pada silo

h m	$N\theta_3$ kg/m'	$N\theta_5$ kg/m'	$\Sigma N\theta$ kg/m'	$N\varphi_1$ kg/m'	$N\varphi_2$ kg/m'	$N\varphi_4=N\varphi_{4a}$ kg/m'	$\Sigma N\varphi$ kg/m'
0	0	0	0	0	0	0	0
2	1946,78	1614,384	3561,164	-3120	-2559,4148	-49,91	-5779,2348
4	3281,72	1614,384	4896,104	-6240	-9128,8035	-196,28	-15761,3635
6	4196,40	1614,384	5810,784	-9360	-18445,3991	-434,07	-28673,5391
8	4820,60	1614,384	6434,984	-12480	-29644,0881	-649,92	-43424,0081
10	5253,21	1614,384	6867,594	-15600	-42132,1872	-1163,75	-60059,6872
12	5543,70	1614,384	7158,084	-18720	-55503,6525	-1645,56	-77523,7725
14	5741,46	1614,384	7355,844	-21840	-69480,3064	-2198,63	-95717,5664
16	5877,42	1614,384	7491,804	-24960	-83871,5710	-2817,92	-114467,4110
18	5976,31	1614,384	7590,694	-28080	-98546,8827	-3498,39	-133623,6627
20	6038,11	1614,384	7652,494	-31200	-113416,7932	-4235,00	-162186,7932
22	6081,37	1614,384	7695,754	-34320	-128420,0220	-5026,34	-172792,7020
24	6112,27	1614,384	7726,654	-37440	-143514,5864	-5856,48	-192667,5464
26	6136,99	1614,384	7751,374	-40560	-158671,7241	-6731,27	-212694,2641
28	6149,36	1614,384	7763,744	-43680	-173871,7305	-7642,04	-232835,8105
30	6161,72	1614,384	7776,104	-46800	-189101,1059	-8583,75	-252868,5859

32	6167,89	1614,384	7782,274	-49920	-204350,5018	-9551,36	-273373,2218
34	6167,89	1614,384	7782,274	-53040	-219613,8821	-10539,83	-293733,5421
36	6174,08	1614,384	7788,464	-56160	-234886,6061	-11560,32	-314167,2461
38	6175,31	1614,384	7789,694	-59280	-250165,7998	-12559,19	-334624,1798
40	6177,16	1614,384	7791,544	-62400	-265449,4260	-13580,00	-355009,4260
42	6177,78	1614,384	7792,164	-65520	-280736,0887	-14601,51	-375459,1087
44	6179,02	1614,384	7793,404	-68640	-296024,8318	-15618,68	-395901,7980
46	6179,02	1614,384	7793,404	-71760	-311315,0001	-16626,47	-416327,9401
48	6179,64	1614,384	7794,024	-74880	-326606,1448	-17619,84	-436725,8240
50	6179,64	1614,384	7794,024	-78000	-341897,9585	-18593,75	-457085,4585

* Ceking tebal dinding :

$$\sigma'_b \cdot t_s^2 + (2 \cdot \sigma'_b \cdot r_2 - \Sigma N\phi) t_s - 2 \cdot \Sigma N\phi \cdot r_2 = 0$$

$$75 \cdot t_s^2 + ((2 \cdot 75 \cdot 200) - 4570,8546) t_s - 2 \cdot 4570,8546 \cdot 200 = 0$$

$$t_s = 60,9447 \text{ cm}$$

dipakai tebal dinding silo (t_s) = 65 cm

$$\Sigma N\phi \cdot \text{keliling O}$$

* Ceking tegangan : $\sigma'_b = \frac{\Sigma N\phi \cdot \text{keliling O}}{\text{luas O}} \leq 75 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma'_b = \frac{\Sigma N\phi \cdot (2 \cdot \pi \cdot r)}{\pi (r_1^2 - r_2^2)} = \frac{457085,4585 \cdot 2 \cdot \pi \cdot (2 + (0,5 \times 0,65))}{\pi (265^2 - 200^2)} = 70,3208 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_{\text{ijin}}$$

* Menghitung luas dan tulangan

Arah lintang

$$As\theta = \frac{\Sigma N\theta}{\sigma_{\text{ijin baja}}} = \frac{7794,024}{2650} = 2,9411 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{dipakai tulangan rangkap, } As\theta = \frac{2,9411}{2} = 1,4706 \text{ cm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 8$ -250.

Arah meredian

$$As\phi = 0,25\% \cdot t_s \cdot 100$$

$$= 0,25\% \cdot 65 \cdot 100 = 16,25 \text{ cm}^2$$

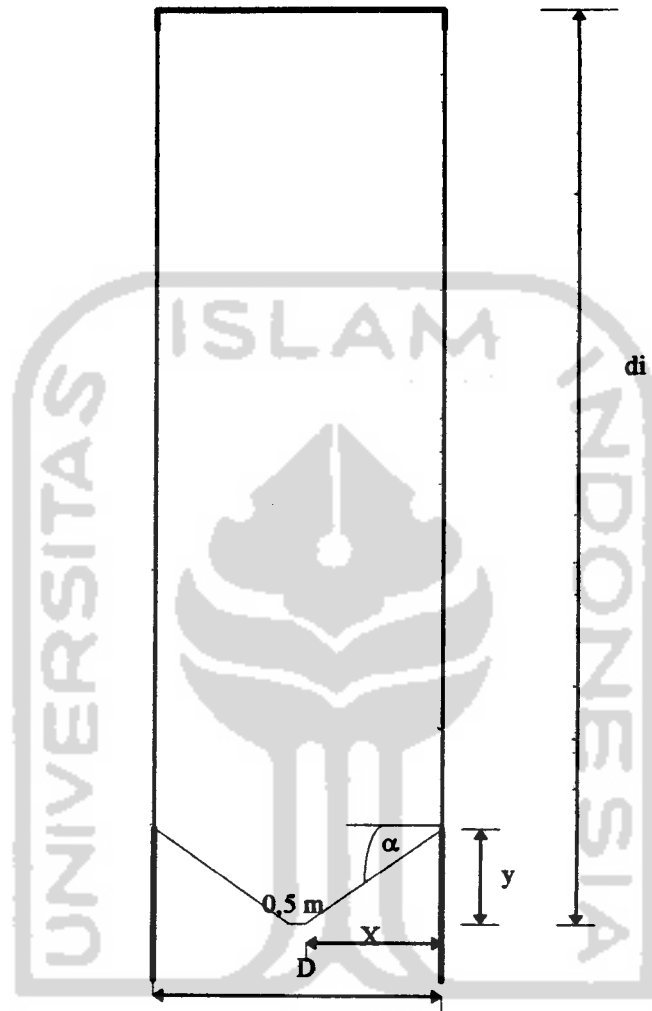
$$\text{dipakai tulangan rangkap, } As\phi = \frac{16,25}{2} = 8,125 \text{ cm}^2$$

dipakai tulangan $\emptyset 12$ - 125.

Tabel 4.8. Luas dan diameter tulangan

H m	$\Sigma N\theta$ kg/m	$As\theta$ cm ² /m'	Tulangan rangkap	$\Sigma N\phi$ kg/m	$As\phi$ cm ² /m'	Tulangan rangkap
0	0	0	Ø08-250	0	0	Ø12-125
2	3561,164	1,3438	Ø08-250	5779,2348	16,25	Ø12-125
4	4896,104	1,8476	Ø08-250	15761,3635	16,25	Ø12-125
6	5810,784	2,1927	Ø08-250	28673,5391	16,25	Ø12-125
8	6434,984	2,4283	Ø08-250	43424,0081	16,25	Ø12-125
10	6867,594	2,5915	Ø08-250	60059,6872	16,25	Ø12-125
12	7158,084	2,7012	Ø08-250	77523,7725	16,25	Ø12-125
14	7355,844	2,7758	Ø08-250	95717,5664	16,25	Ø12-125
16	7491,804	2,8270	Ø08-250	114467,4110	16,25	Ø12-125
18	7590,694	2,8644	Ø08-250	133623,6627	16,25	Ø12-125
20	7652,494	2,8877	Ø08-250	162186,7932	16,25	Ø12-125
22	7695,754	2,9041	Ø08-250	172792,7020	16,25	Ø12-125
24	7726,654	2,9157	Ø08-250	192667,5464	16,25	Ø12-125
26	7751,374	2,9251	Ø08-250	212694,2641	16,25	Ø12-125
28	7763,744	2,9297	Ø08-250	232835,8105	16,25	Ø12-125
30	7776,104	2,9344	Ø08-250	252868,5859	16,25	Ø12-125
32	7782,274	2,9367	Ø08-250	273373,2218	16,25	Ø12-125
34	7782,274	2,9367	Ø08-250	293733,5421	16,25	Ø12-125
36	7788,464	2,9390	Ø08-250	314167,2461	16,25	Ø12-125
38	7789,694	2,9395	Ø08-250	334624,1798	16,25	Ø12-125
40	7791,544	2,9402	Ø08-250	355009,4260	16,25	Ø12-125
42	7792,164	2,9404	Ø08-250	375459,1087	16,25	Ø12-125
44	7793,404	2,9409	Ø08-250	395901,7980	16,25	Ø12-125
46	7793,404	2,9409	Ø08-250	416327,9401	16,25	Ø12-125
48	7794,024	2,9411	Ø08-250	436725,8240	16,25	Ø12-125
50	7794,024	2,9411	Ø08-250	457085,4585	16,25	Ø12-125

Gaya-gaya yang bekerja pada conical



$$\alpha = 30^\circ$$

$$x = 0,5(D - 0,5) = 0,5(4 - 0,5) = 1,75 \text{ m}$$

$$y = x \tan \alpha = 1,75 \tan 30 = 1,0106 \text{ m}$$

$$di = H + y = 50 + 1,0106 = 51,0106 \text{ m}$$

diambil tebal conical = 30 cm

Isi silo

$$I_s = 0,25 \cdot \pi \cdot 4^2 \cdot 50 = 628,3185 \text{ m}^3$$

Isi conical

$$I_c = 1/3 \cdot \pi \cdot 1,01016 \cdot 2^2 = 4,2332 \text{ m}^3$$

Gaya pada conical akibat bahan pengisi

$$R = - (I_s + I_c) \gamma_{\text{semen}} - P_v \cdot \text{Keliling}$$

$$R = - ((628,3185 + 4,2332)1,44 - (16,1414 \cdot \pi \cdot 4)) = -708,0357 \text{ ton}$$

$$N\phi_6 = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot y \cdot \tan \alpha \cdot \cos \alpha}$$

$$N\phi_6 = \frac{-708,0557}{2 \cdot \pi \cdot 1,0106 \cdot \tan 60 \cdot \cos 60} = 128,7590 \text{ t/m}$$

$$P = P_v + \gamma_{\text{semen}} \cdot y = 16,1414 + (1,44 \cdot 1,0106) = 17,5967 \text{ t}$$

$$q\alpha = \frac{\sin 2\alpha \cdot \cos \phi'}{\sin (\phi' + 2\alpha) + \sin \phi'} \cdot P$$

$$q\alpha = \frac{\sin 2 \cdot 60 \cdot \cos 25}{\sin (25 + 2 \cdot 60) + \sin 25} \cdot 17,5967 = 13,8641 \text{ t/m}$$

$$N\theta_6 = q\alpha \cdot r = 13,8642 \cdot 2 = 27,7283 \text{ t/m}$$

Gaya pada conical akibat berat sendiri

$$q = d \cdot b_j \cdot \gamma_{\text{beton}} = 0,3 \cdot 2,4 = 0,72 \text{ t/m}$$

$$N\phi_7 = \frac{q \cdot y}{2 \cos \alpha}$$

$$N\phi_7 = \frac{0,72 \cdot 1,0106}{2 \cdot \cos 60} = 0,7276 \text{ t/m}$$

$$N\theta_7 = q \cdot y \cdot \tan^2 \alpha = 0,72 \cdot 1,0106 \cdot \tan^2 60^\circ = 2,1829 \text{ t/m}$$

Total gaya yang terjadi pada conical

* dalam arah meredian

$$N\phi_c = N\phi_6 + N\phi_7 = 128,759 + 0,7276 = 129,4866 \text{ t/m}$$

* dalam arah lintang

$$N\theta_c = N\theta_6 + N\theta_7 = 27,7283 + 2,1829 = 29,9112 \text{ t/m}$$

Tulangan pada conical

* Dalam arah meredian

$$As_\varphi = \frac{N\varphi_c}{\sigma_{ijin \text{ baja}}} = \frac{129,4866 \cdot 10^3}{1850} = 69,9928 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{dipakai tulangan rangkap, } As_\varphi = \frac{69,9928}{2} = 34,9964 \text{ cm}^2$$

dipakai tulangan $\varnothing 25 - 140$

* Dalam arah lintang

$$As_\theta = \frac{N\theta_c}{\sigma_{ijin \text{ baja}}} = \frac{29,9112 \cdot 10^3}{1850} = 16,1682 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

dipakai tulangan rangkap: $\varnothing 16 - 120$

Ring balok

- gaya aksial akibat tegangan conical

$$H = N\varphi_c \cdot \cos \beta$$

$$= 129,4866 \cdot \cos 30$$

$$= 112,1387 \text{ t}$$

- gaya pada ring balok

$$R = H \cdot r = 112,1387 \cdot 2 = 224,2774 \text{ t}$$

- tulangan pada ring (dipakai balok ring 75x75 cm), maka :

$$As_{\min} = 0,25 \% \cdot t \cdot b_s$$

$$= 0,25 \% \cdot 75 \cdot 75$$

$$= 14,0625 \text{ cm}^2$$

dipakai tulangan 6 $\varnothing 10$.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisa Struktur

Silo adalah suatu struktur bangunan yang digunakan untuk menampung material berupa butiran seperti : beras, gandum, biji kedelai dan semen. Konstruksi silo menggunakan sistim struktur cangkang , yaitu suatu konstruksi yang ketebalannya (h) selalu dianggap kecil dibandingkan dengan besaran lain dari cangkang (jari-jari). Perilaku struktur cangkang yang ideal ialah memikul beban hanya dengan gaya-gaya membran dan menyebarkan gaya-gaya ini keseluruh bagian secara merata.

Dalam menganalisa struktur pelat silo digunakan teori yang disebut teori struktur cangkang, yaitu suatu elemen yang dipotong dari suatu cangkang oleh dua buah bidang meredian yang berdekatan dan dua buah penampang tegak lurus terhadap meredian tersebut. Dari kondisi simetris dapat disimpulkan bahwa hanya tegangan-tegangan normal saja yang akan bekerja pada sisi-sisi elemen yang terletak pada bidang meredian dan lintang.

5.2. Analisa Hasil Hitungan

Pada contoh perhitungan kita menggunakan dua buah penampang silo, masing-masing silo mempunyai ukuran diameter dan tinggi yang berbeda. Penampang silo I dan II dipengaruhi oleh gaya akibat angin dan gempa. Penampang silo I mempunyai penampang membujur yang dapat dikatakan dangkal (pendek) dan diameter yang

besar bila dibandingkan dengan penampang silo II, yang mempunyai bentuk penampang lebih tinggi dan langsing. Karena pengaruh angin silo diasumsikan sebagai cerobong penampang lingkaran (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983), dan beban yang bekerja (P) adalah sebesar $= 0,7(42,5 + 0,6h)$. Gaya angin yang diperhitungkan antara $\pi/2 < \theta < 3\pi/2$, karena merupakan angin hisap yang akan menyebabkan gaya tarik arah melintang dan gaya tekan arah meredian.

Sedangkan kalau adanya pengaruh gempa maka silo diasumsikan sebagai tangki-tangki yang dinaikkan. Besarnya nilai tekanan statik horisontal dan vertikal pada silo ditentukan oleh diameter dan tinggi dari silo tersebut, hal ini dapat dilihat karena dua penampang silo ini sama-sama dipergunakan untuk menyimpan semen sehingga mempunyai nilai koefisien gesek dan angka perbandingan tekanan horisontal dan vertikal yang sama, jadi yang memegang peranan terhadap besarnya nilai tekanan adalah diameter dan tinggi silonya.

Gaya akibat beban angin ini akan menyebabkan momen, yang akan menyebabkan gaya ke arah meredian sebesar $(P/2r).(H - y)^2 \cdot \cos \theta$ [1-78]. Rumus ini didapat dari penjabaran rumus sebagai berikut :

$$f = \frac{M \cdot x}{I}$$

$$\text{dengan } M = \pi p r \frac{(H - y)^2}{2}$$

$$x = r \cos \theta$$

$$I = \pi h r^3$$

$$f = \frac{N\phi}{h}$$

dimana : $(H - y) = h_{\text{pias}}$.

Tabel 5.1. Perbandingan Pv dan Ph pada silo I dan II

h	Penampang silo I		Penampang silo II	
	Pv (kg/m ²)	Ph(kg/m ²)	Pv(kg/m ²)	Ph(kg/m ²)
0	0	0	0	0
2	2773,7720	1124,8069	2398,695	973,391
4	5345,6638	2169,2704	4043,515	1640,858
6	7729,1293	3136,4807	5170,521	2098,197
8	9941,2595	4034,1631	5939,627	2410,300
10	11989,6691	4865,4077	6472,670	2626,609
12	13889,5881	5636,3949	6830,571	2771,846
14	15652,4388	6351,7597	7074,247	2870,730
16	17285,8361	7014,5923	7241,775	2938,712
18	18204,2023	7629,5279	7363,614	2988,155
20	20206,1524	8199,6566	7439,763	3019,056
22	21508,3013	8728,0687	7493,067	3040,687
24	22715,2639	9217,8541	7531,142	3056,157
26	23830,8476	9670,5580	7561,601	3068,498
28	24870,2822	10092,3605	7576,831	3074,678
30	25833,5678	10482,2618	7592,061	3080,858
32	26724,5118	10844,8069	7599,676	3083,948
34	27550,7290	11180,0858	7599,676	3083,948
36			7607,291	3087,039
38			7608,814	3087,657
40			7611,110	3088,584
42			7611,860	3088,893
44			7613,383	3089,511
46			7613,383	3089,511
48			7614,144	3089,820
50			7614,144	3089,820

Hasil dari contoh perhitungan ternyata dapat dianalisa bahwa penampang silo I dan II dipengaruhi oleh gaya angin pada arah meredian, dipengaruhi gaya gempa pada arah melintang karena gaya angin arah meredian adalah gaya desak. Sedangkan gaya gempa arah meredian berupa gaya tarik. Untuk arah melintang dipengaruhi oleh gaya gempa karena antara gaya gempa dan angin lebih besar gaya gempa yang berupa gaya tarik. Oleh karena itu yang digunakan untuk menentukan luas beton adalah gaya akibat berat sendiri, akibat tekanan vertikal material, akibat tekanan angin arah

meredian dan gaya kearah meredian akibat momen. Sedangkan untuk menentukan penulangan arah lintang adalah gaya akibat tekanan horisontal material dan akibat gempa arah melintang. Gaya akibat gempa yang terjadi di Silo I lebih besar dibanding Silo II karena Silo I mempunyai diameter dan tebal dinding silo yang lebih besar.

Tabel 5.2. Perbandingan gaya akibat angin dan gempa

No.	Penampang silo I				Penampang silo II			
	$N\theta_4$ kg/m'	$N\varphi_4=N\varphi_{4a}$ kg/m'	$N\theta_5$ kg/m'	$N\varphi_5=N\varphi_{5a}$ kg/m'	$N\theta_4$ kg/m'	$N\varphi_4$ kg/m'	$N\theta_5$ kg/m'	$N\varphi_5 = N\varphi_{5a}$ kg/m'
1	440,3	0	35028	0	101,50	0	1614,384	0
2	431,5	-86,60	35028	700,56	99,98	-49,91	1614,384	807,192
3	423,5	-338,80	35028	2802,24	98,14	-196,28	1614,384	3228,768
4	415,1	-747,18	35028	6305,04	96,46	-434,00	1614,384	7264,728
5	406,7	-1300,48	35028	11208,96	94,78	-649,92	1614,384	12915,072
6	398,3	-1992,00	35028	17514,00	93,10	-1163,75	1614,384	20179,800
7	389,9	-2807,28	35028	25220,16	91,42	-1645,56	1614,384	29058,912
8	381,5	-3738,70	35028	34327,44	89,74	-2198,63	1614,384	39552,408
9	373,1	-4775,68	35028	44835,84	88,00	-2817,92	1614,384	51660,288
10	364,7	-5908,14	35028	56745,36	86,38	-3498,90	1614,384	65382,552
11	356,4	-7126,00	35028	70056,00	84,70	-4235,00	1614,384	80719,200
12	347,9	-8419,18	35028	84767,76	83,02	-5026,34	1614,384	97670,232
13	339,5	-9777,60	35028	100880,64	81,34	-5856,48	1614,384	116235,648
14	331,1	-11191,18	35028	118394,64	79,66	-6731,23	1614,384	136415,448
15	322,7	-12649,84	35028	137309,76	77,98	-7642,04	1614,384	158209,632
16	314,3	-14143,50	35028	157626,00	76,30	-8583,75	1614,384	181618,200
17	305,9	-15662,08	35028	179343,36	74,62	-9551,36	1614,384	206641,152
18	297,5	-17195,50	35028	202461,84	72,94	-10539,83	1614,384	233278,488
19					71,26	-11560,32	1614,384	261530,208
20					69,58	-12559,19	1614,384	291396,312
21					67,90	-13580,00	1614,384	322876,800
22					66,22	-14601,51	1614,384	355971,672
23					64,54	-15618,68	1614,384	390680,928
24					62,86	-16626,47	1614,384	427004,568
25					61,18	-17619,84	1614,384	464942,592
26					69,51	-18593,75	1614,384	504495,000

Tebal dinding silo ditentukan dengan sistim "trial and error", ketebalan dinding silo ini dikontrol berdasarkan gaya akibat beban meredian yang merupakan penjumlahan dari beban akibat berat sendiri, akibat tekanan vertikal material, beban

angin arah meredian dan akibat momen yang disebabkan oleh beban luar, apabila kontrol tidak memenuhi maka tebal dinding silo diperbesar.

Penulangan dinding silo direncanakan hanya untuk menahan tarik saja, karena semua gaya tekan telah dapat ditahan oleh beton, sedangkan untuk menahan susut harus digunakan tulangan susut dengan menggunakan luas minimum yaitu 0,25% dari luas betonnya. Demikian juga dengan ring pada silo direncanakan hanya menahan gaya tarik dan gaya tekan ditahan oleh beton.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Besarnya tekanan yang terjadi akibat material pengisi baik tekanan horisontal maupun vertikal tergantung dari karakteristik material pengisi.
2. Diameter dan tinggi silo mempengaruhi besarnya nilai tekanan statik horisontal dan vertikal.
3. Ketebalan dinding silo direncanakan berdasarkan gaya arah vertikal terbesar yang terjadi pada silo, gaya ini dipengaruhi oleh gaya akibat berat sendiri arah meredian, gaya akibat tekanan vertikal arah meredian dan gaya akibat tekanan angin arah meredian, sedangkan gaya akibat tekanan gempa arah meredian tidak diperhitungkan karena merupakan gaya tarik.
4. Gaya angin yang diperhitungkan adalah antara $\pi/2 < \theta < 3\pi/2$ yang merupakan angin hisap yang akan menyebabkan gaya tarik arah melintang dan gaya tekan arah meredian.
5. Gaya akibat angin dan gempa akan menyebabkan adanya momen yang bekerja pada dinding silo, momen ini diubah menjadi gaya tekan arah meredian.
6. Semakin besar tekanan statik horisontal, maka gaya akibat tekanan horisontal material semakin besar.
7. Gaya tarik ditahan oleh baja, dan gaya tekan diasumsikan hanya ditahan oleh beton.

8. Dalam menganalisa struktur pelat silo, yang ditinjau adalah elemen kecil dari cangkang yang dibuat oleh dua buah pasang bidang yang masing-masing tegak lurus pada bidang tengah.

6.2. Saran

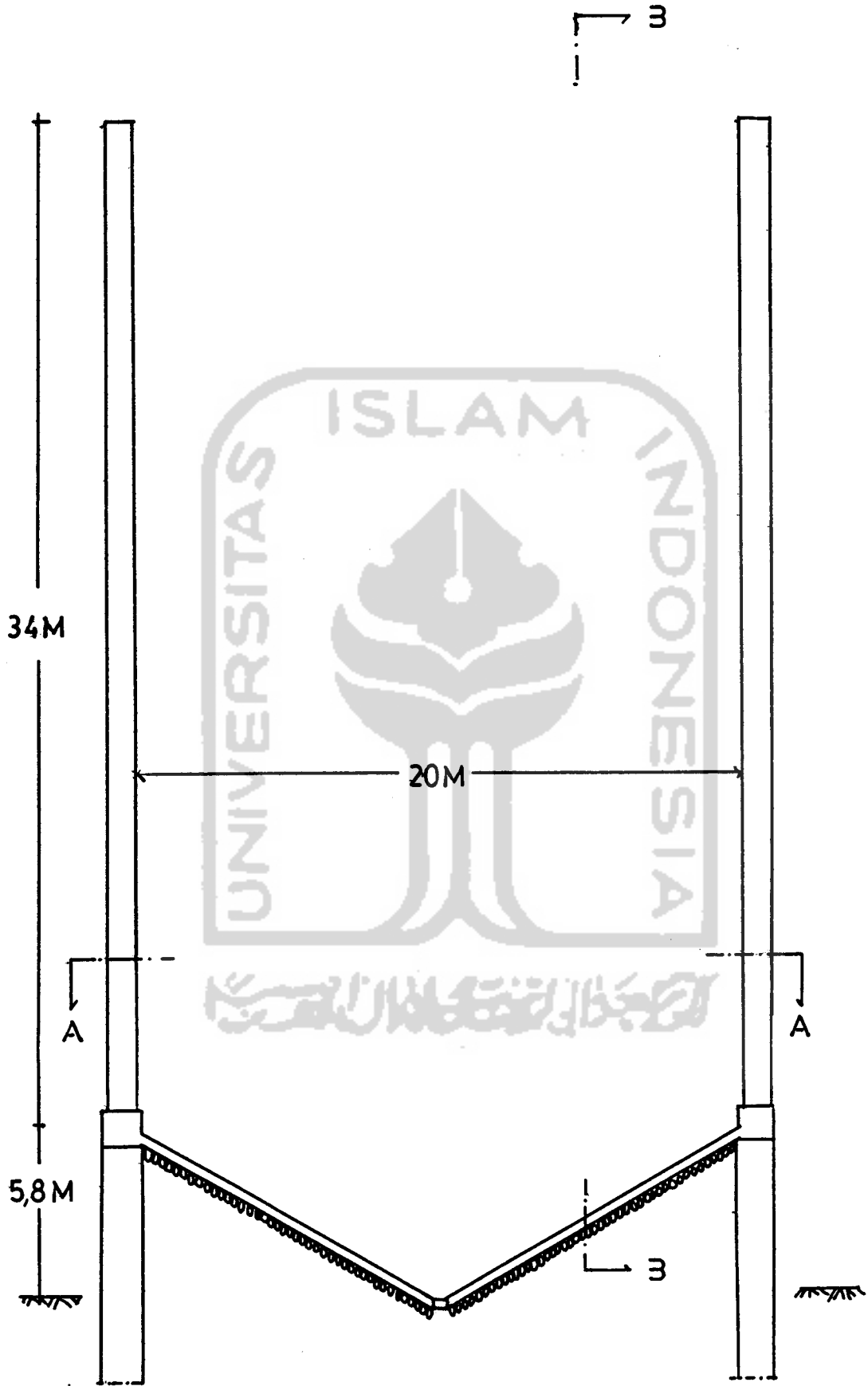
1. Supaya struktur lebih ekonomis, ketebalan dinding dapat direncanakan berdasarkan gaya total setiap pias, sehingga dalam satu struktur silo dapat mempunyai ketebalan pelat yang berbeda dan semakin keatas semakin tipis.
2. Perhitungan struktur berbentuk silinder dapat digunakan program komputer yang sudah ada, misalnya : SAP.
3. Teori pelat dan cangkang dapat diajarkan di bangku Perguruan Tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. David P Billington, 1965, **THIN SHELL CONCRETE STRUCTURE**, McGraw-Hill, Inc, United States Of America.
2. Departemen Pekerjaan Umum, 1981, **PERATURAN PEMBEBANAN INDONESIA UNTUK GEDUNG 1983**, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
3. Departemen Pekerjaan Umum Dan Tenaga Listrik, 1977, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971 N.L-2**, Penerbitan kelima, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Bandung.
4. Departemen Pekerjaan Umum, 1982, **PERATURAN PERENCANAAN TAHAN GEMPA INDONESIA UNTUK GEDUNG 1981**, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Bandung.
5. Gray, W.S and Manning, G.P, Fifth Edition 1973, **CONCRETE WATER TOWER, BUNKER, SILO AND OTHER ELEVATED STRUCTURE**, Billing and Son Limited, Guildford And London.
6. Mark Fintel, 1985, **BUKU PEGANGAN TENTANG TEKNIK BETON**, (Penerjemah, Wira), Cetakan Pertama 1987, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
7. S. Timoshenko, S Woinowsky-Krieger, **TEORI PELAT DAN CANGKANG**, Edisi kedua 1992, Erlangga, Jakarta.
8. Sukrisno, MSME, IR, DR, 1988/1989, **TEGANGAN DAN CANGKANG**, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
9. Sosrowinarso, 1985, **FILOSOFI DAN PRINSIP DASAR PERENCANAAN SILO**, Isi "BERITA HAKI" No. 106-107, Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI), Jakarta.

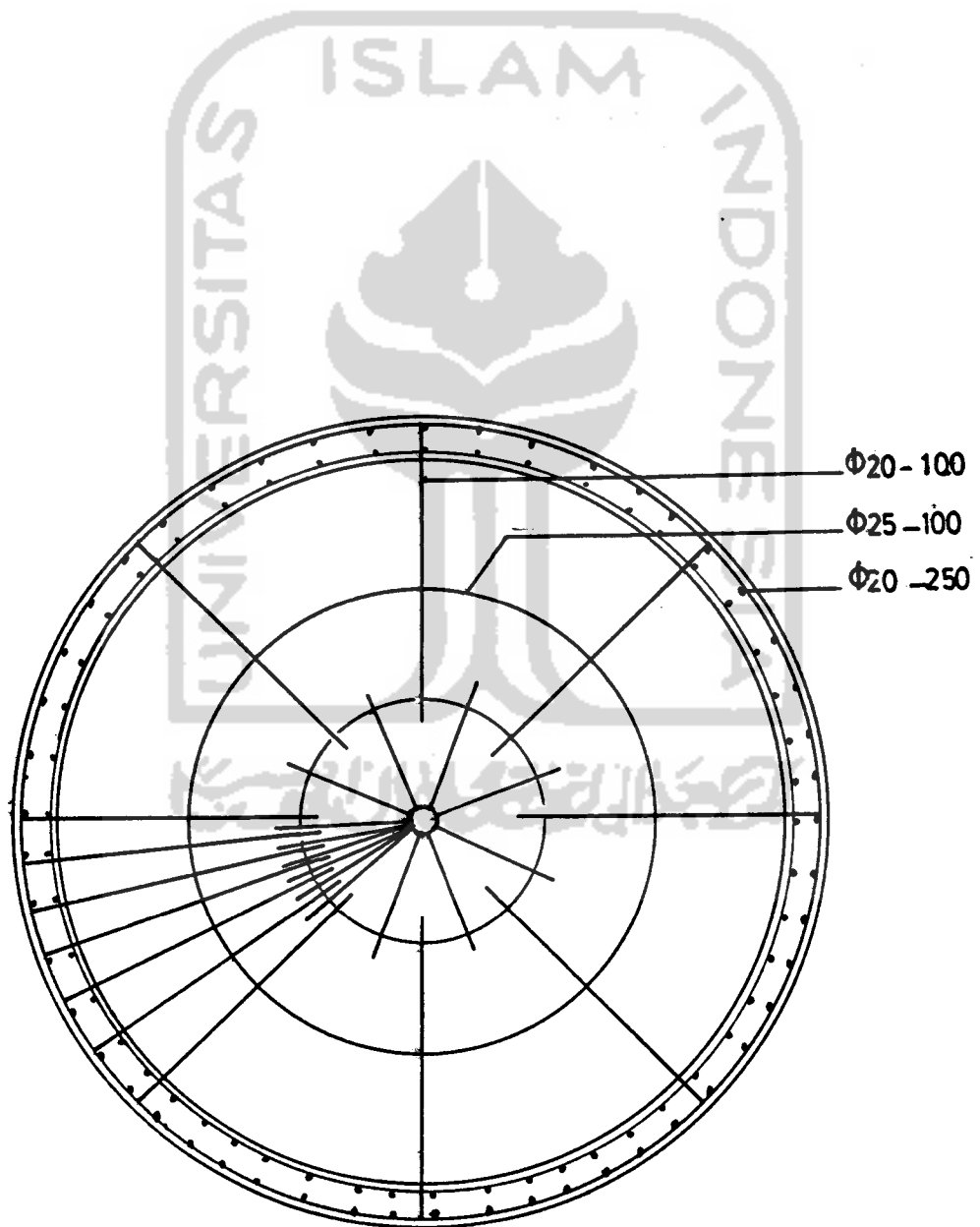
LAMPIRAN





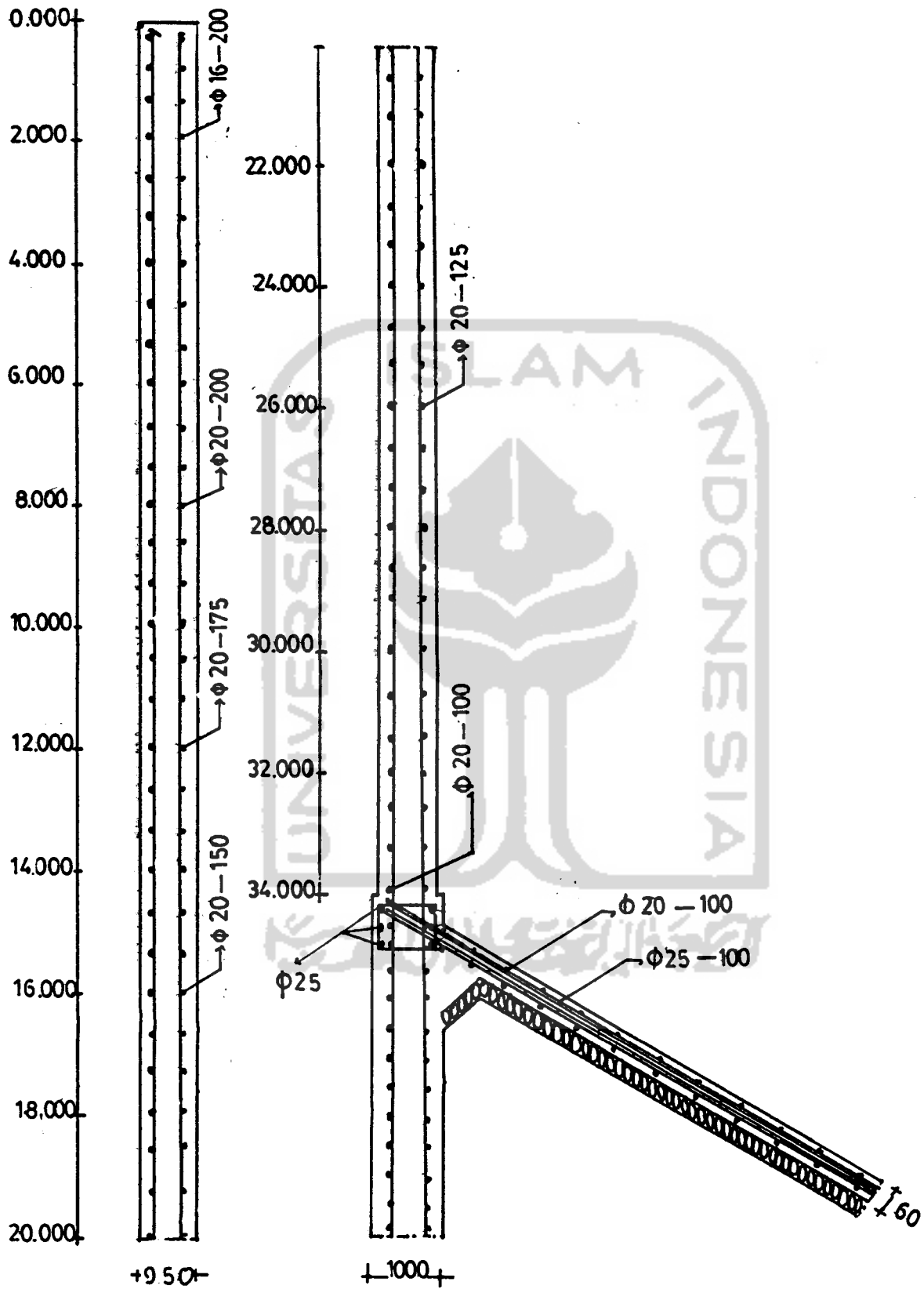
GAMBAR SILO
Skala 1:200

LEMBAR 2



GAMBAR POTONGAN A-A
SKALA 1 : 200

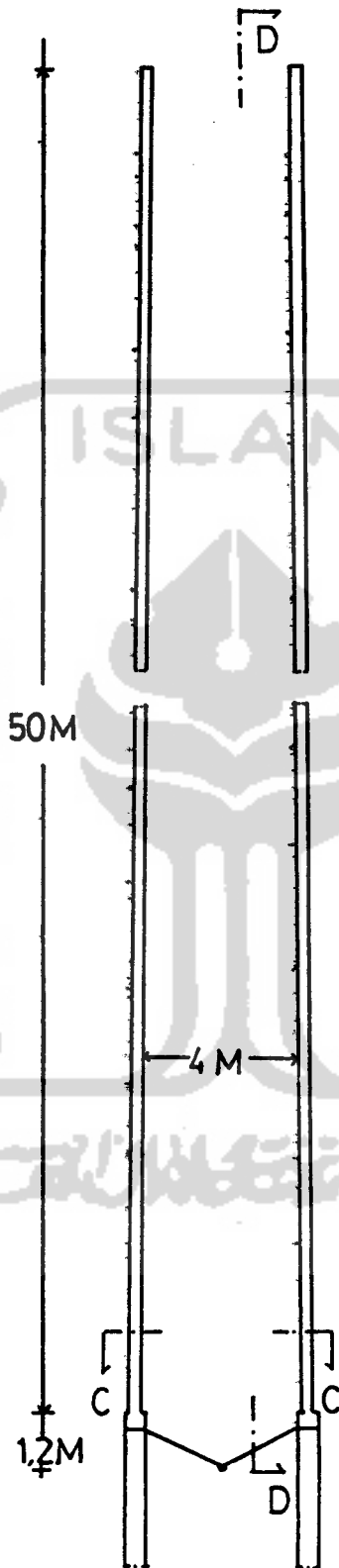
LEMBAR 3



GAMBAR POTONGAN 3-3

SKALA 1 : 10

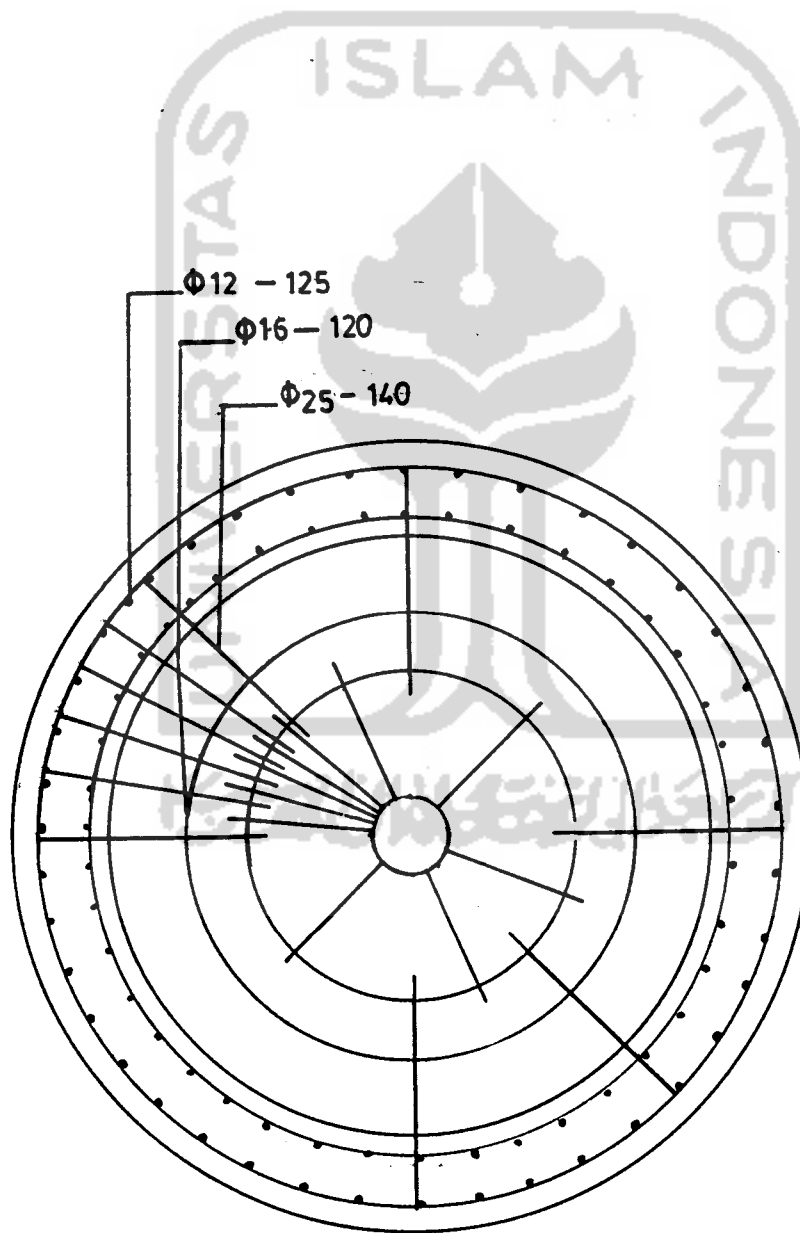
LEMBAR 4



GAMBAR SILO II

Skala 1:100

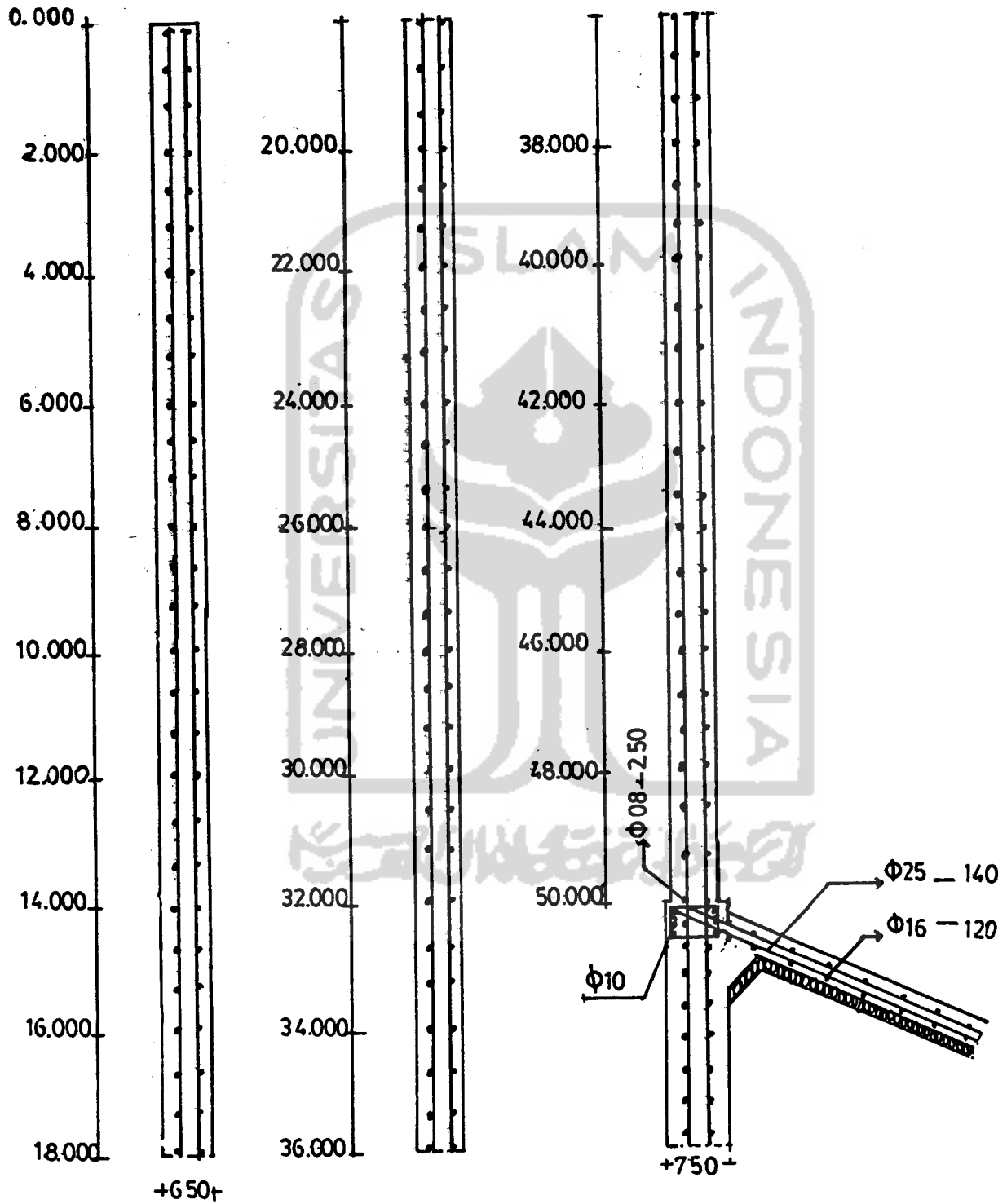
LEMBAR 5



GAMBAR POTONGAN C-C

Skala 1:50

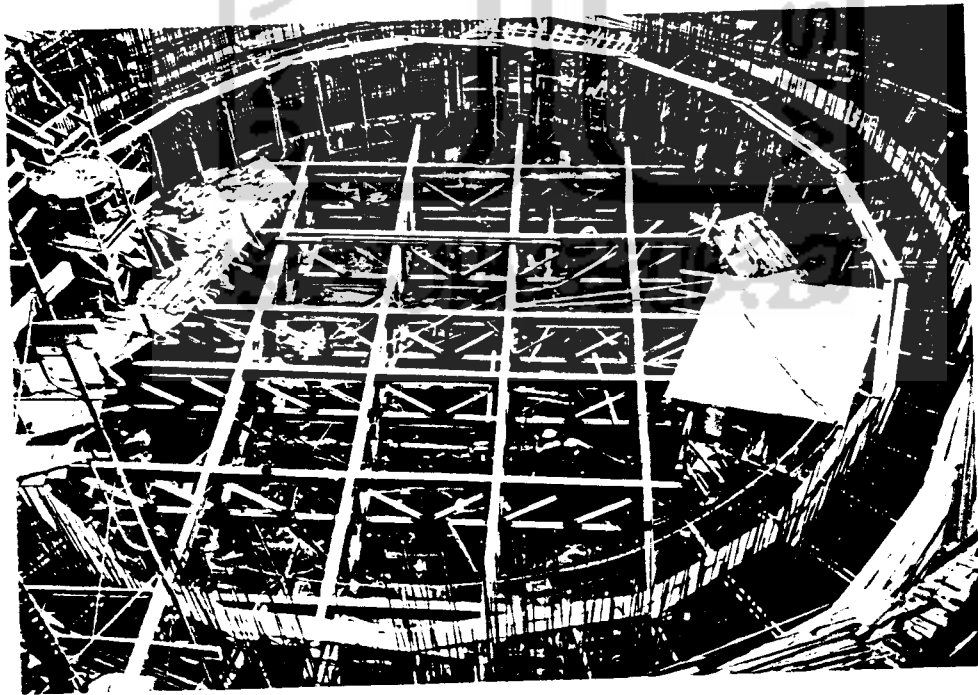
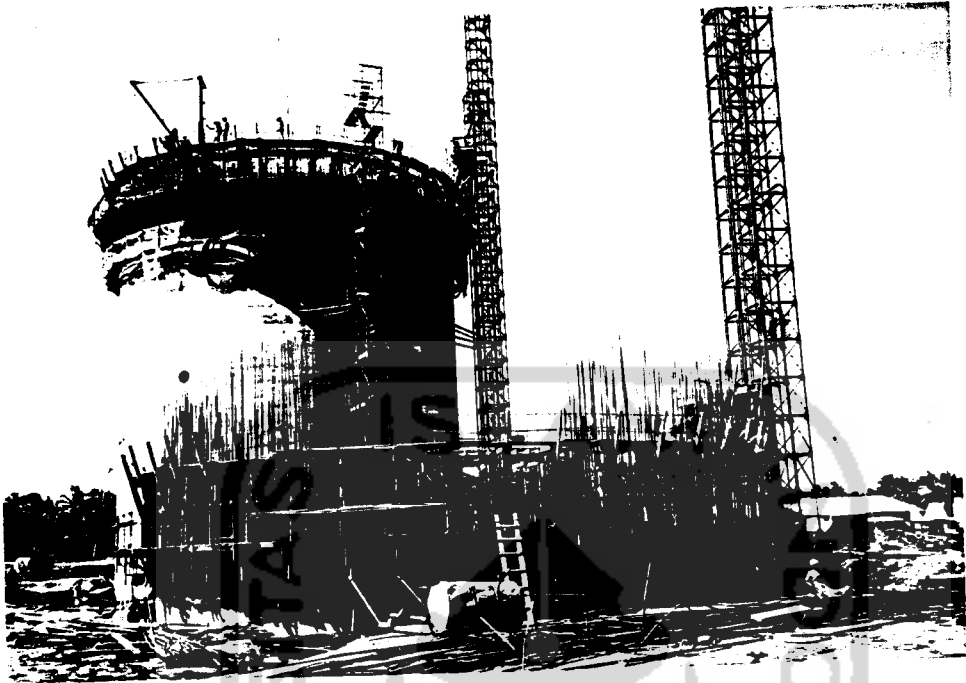
LEMBAR 6



GAMBAR POTONGAN D-D

Skala 1 : 10

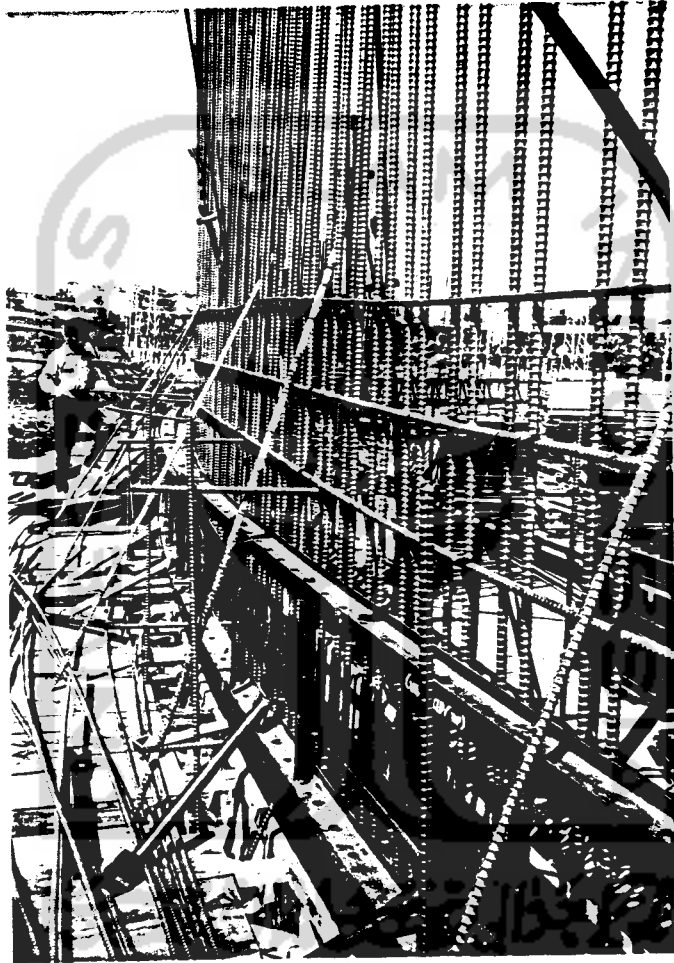
LEMBAR 7



LEMBAR 7



LEMBAR 7



LEMBAR 7

