

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERHITUNGAN DINDING TANGKI AIR BETON
PRATEGANG SILINDRIS DENGAN KONDISI DASAR DINDING
JEPIT PENUH DAN JEPIT SEBAGIAN**



Disusun oleh :

SLAMET WIDODO

No. Mhs. : 92310023

NIRM : 920051013114120023

MARATUL ISMAH

No. Mhs. : 92310329

NIRM : 920051013114120328

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1998**

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERHITUNGAN DINDING TANGKI AIR BETON
PRATEGANG SILINDRIS DENGAN KONDISI DASAR DINDING
JEPIT PENUH DAN JEPIT SEBAGIAN**

Disusun oleh :

SLAMET WIDODO

No. Mhs. : 92310023

NIRM : 920051013114120023

MARATUL ISMAH

No. Mhs. : 92310329

NIRM : 920051013114120328


Telah diperiksa dan disetujui oleh :

IR. H. M. SAMSUDIN, MT.

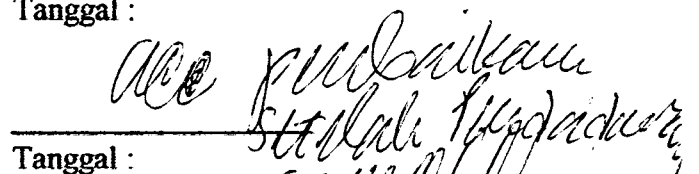
Dosen Pembimbing I

IR. A. KADIR ABOE, MS

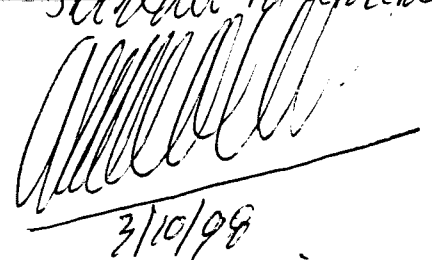
Dosen Pembimbing II

 5/6 '98

Tanggal :



Tanggal :


3/10/98

PRAKATA

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya, maka tugas akhir ini dapat diselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah pada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabatnya dan para sholihin yang senantiasa menegakkan Ad-Din di muka bumi ini.

Tugas Akhir dengan judul “Analisis Perhitungan Dinding Tangki Air Beton Prategang Silindris dengan Kondisi Dasar Dinding Jepit Penuh dan Jepit Sebagian”, disusun dan diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh derajat Sarjana (S 1) Teknik Sipil, khususnya pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Banyak pihak yang dengan tulus membantu, baik moril maupun secara langsung terlibat, memberi saran ataupun kritik mulai dari ide hingga penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu dalam kesempatan ini rasa hormat dan penghargaan serta ucapan terima kasih disampaikan khususnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Bapak Ir. H. M. Samsudin, MT, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi bimbingan, saran dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.

4. Bapak Ir. A. Kadir Aboe MS, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi bimbingan, saran dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
5. Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
6. Orang tua serta saudara tercinta yang selalu memberikan dorongan, motivasi dan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan ilmu yang dimiliki, baik teori maupun praktek, maka adanya kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan Tugas Akhir ini sangat diharapkan.

Akhir kata semoga Allah SWT membalas kebaikan dan keikhlasan bagi mereka yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini dengan pahala sebagai amal sholeh disisi Allah SWT.

Amin

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Agustus 1998

penulis

(Slamet Widodo / Maratul Ismah)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR DAN TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	xii
INTISARI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Umum.....	1
1.2 Latar Belakang.....	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup dan Batasan.....	2
1.5 Dasar-dasar Analisis dan Perencanaan.....	3
1.6 Tahap Analisis dan Pembahasan.....	4
BAB II TINJAUAN UMUM TANGKI BETON PRATEGANG.....	5
2.1 Pengertian Tangki Beton Prategang.....	5
2.1.1 Dinding tangki beton.....	8
2.1.2 Atap tangki.....	11
2.1.3 Pelat lantai dasar.....	13
2.1.4 Baja prategang.....	14

2.2 Konsep Dasar Tangki Beton Prategang.....	16
2.2.1 Pembebanan.....	17
2.2.2 Prategang melingkar.....	20
BAB III LANDASAN TEORI	24
3.1 Ketegaran Lentur Pelat/Cangkang.....	24
3.2 Teori Selaput Tipis (<i>Membrane Theory</i>).....	25
3.3 Teori Lentur Cangkang Silindris.....	27
3.4 Koefisien Selaput Cangkang Silindris.....	33
BAB IV ANALISIS DAN PERENCANAAN.....	35
4.1 Pengertian.....	35
4.2 Gaya Tarik Cincin Melingkar.....	35
4.3 Momen Vertikal Dinding	36
4.3.1 Momen vertikal dinding kondisi dasar jepit penuh.....	37
4.3.2 Momen vertikal dinding kondisi dasar jepit sebagian.....	37
4.4 Sistem Prategang	41
4.5 Kekuatan Momen Nominal	43
4.6 Transfer Gaya pada <i>Joint</i>	43
4.7 Evaluasi Terhadap Persyaratan Ketebalan Dinding.....	45
BAB V PERHITUNGAN PERENCANAAN.....	47
5.1 Umum.....	47
5.2 Perencanaan Dinding Tangki Beton Prategang.....	47
BAB VI PEMBAHASAN.....	90
6.1 Tinjauan Analisa.....	90

6.2 Gaya Cincin Melingkar	90
6.3 Momen Vertikal.....	91
6.4 Prategang	93
6.5 Tegangan	93
6.6 Momen Nominal.....	94
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	95
7.1 Kesimpulan.....	95
7.2 Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR DAN TABEL

Gambar 2.1	Bentuk-bentuk tangki beton prategang.....	6
Gambar 2.2	Bentuk potongan tangki.....	7
Gambar 2.3	Pengecoran dinding dengan <i>slipform</i>	8
Gambar 2.4	Pemasangan panel beton pracetak.....	9
Gambar 2.5	Sambungan dinding vertikal untuk panel pracetak	10
Gambar 2.6	Sambungan dinding-atap.....	12
Gambar 2.7	Potongan pertemuan dinding-lantai.....	13
Gambar 2.8	Tegangan-regangan baja.....	14
Gambar 2.9	<i>Strand section</i>	15
Gambar 2.10	Pembebanan.....	18
Gambar 2.11	Gaya tarik internal cincin arah horisontal	19
Gambar 2.12	Tegangan lentur.....	20
Gambar 2.13	Tangki dengan tendon internal.....	21
Gambar 2.14	Prategangan kawat melingkar.....	22
Gambar 3.1	Gaya-gaya selaput tangki silindris.....	26
Gambar 3.2	Tekanan internal selaput tangki silindris.....	27
Gambar 3.3	Vektor gaya dan momen.....	28
Gambar 4.1	Deformasi dan rotasi dasar dinding.....	39
Tabel 3.1	Koefisien ϕ , ψ , ζ dan θ	31
Tabel 4.1	Ketebalan dinding minimum.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN GAYA CINCIN DAN MOMEN

Tabel A. Perhitungan berdasarkan rumus umum

Tabel B. Perhitungan berdasarkan koefisien membran

LAMPIRAN 2. GAYA CINCIN

Tabel 1.a Gaya cincin melingkar, rumus umum kondisi jepit penuh (Q_y).

Tabel 1.b Gaya cincin melingkar, koefisien membran kondisi jepit penuh (F_y).

Tabel 1.c Gaya cincin melingkar, koefisien membran kondisi jepit parsial (F_p).

Tabel 2.a Gaya cincin melingkar, dengan tegangan sisa 200 psi rumus umum kondisi jepit penuh (Q_{yr}).

Tabel 2.b Gaya cincin melingkar, dengan tegangan sisa 200 psi koefisien membran kondisi jepit penuh (F_{yr}).

Tabel 2.c Gaya cincin melingkar, dengan tegangan sisa 200 psi koefisien membran kondisi jepit parsial (F_{rp})

LAMPIRAN 3. MOMEN VERTIKAL

Tabel 3.a Momen vertikal rumus umum kondisi jepit penuh (M_y).

Tabel 3.b Momen vertikal koefisien membran kondisi jepit penuh (M_y).

Tabel 3.c Momen vertikal koefisien membran kondisi jepit parsial (M_{yp}).

Tabel 4.a Momen vertikal rumus umum dengan tegangan sisa 200 psi kondisi jepit penuh (M_{yr}).

Tabel 4.b Momen vertikal koefisien membran dengan tegangan sisa 200 psi kondisi jepit penuh (M_{yr}).

Tabel 4.c Momen vertikal koefisien membran dengan tegangan sisa 200 psi kondisi jepit parsial (M_{ytp}).

LAMPIRAN 4. TEGANGAN, M_n , S , L , R , t_{c0} , Δ

Tabel 5.a Tegangan beton maksimum dinding (psi) kondisi jepit penuh.

- akibat momen vertikal positif maksimum.
- akibat momen vertikal dasar dinding.

Tabel 5.b Tegangan beton maksimum dinding (psi) kondisi jepit parsial.

- akibat momen vertikal positif maksimum.
- akibat momen vertikal dasar dinding.

Tabel 6.a Momen nominal jepit penuh.

Tabel 6.b Momen nominal jepit parsial.

Tabel 7 *Modifier Factor* (S), lebar *toe cantilever* (L) dan R .

Tabel 8 Kontrol tebal dinding.

Tabel 9 Kontrol lendutan.

LAMPIRAN 5. PERSYARATAN-PERSYARATAN

Tabel 10 Tabel fungsi ϕ , ψ , ζ dan θ .

Tabel 11 Koefisien membran.

Tabel 12.a Tegangan ijin beton tangki bundar.

Tabel 12.b Tegangan.

Tabel 12.c Faktor beban.

Tabel 13 Daftar tendon prategang *strand*.

LAMPIRAN 6. GRAFIK-GRAFIK

Grafik 1 Gaya cincin rumus umum dan koefisien membran (').

- Grafik 2 Gaya cincin kondisi jepit penuh dan parsial (').
- Grafik 3 Momen vertikal rumus umum dan koefisien membran (').
- Grafik 4 Momen vertikal jepit penuh dan jepit parsial (').
- Grafik 5 Momen Nominal.
- Grafik 6 Tegangan beton maksimum dinding kondisi jepit penuh.
- Grafik 7 Tegangan beton maksimum dinding kondisi jepit parsial.

DAFTAR NOTASI

- μ = angka perbandingan Poisson.
- γ = berat jenis air.
- β = konstanta tangki.
- θ_1 = rotasi bebas pada dasar dinding bila sendi.
- θ_2 = rotasi pada dasar dinding akibat perlawanan momen M_p .
- θ_3 = rotasi bagian tepi pada pengaku *toe* sebagai *cantilever* di bawah beban vertikal.
- Δ_i = defleksi awal.
- Δ_f = defleksi akhir.
- A_{ps} = luas tendon prategang.
- b = lebar 1 in tampang potongan dinding horisontal tangki.
- C = koefisien membran.
- D = ketegaran lentur pelat/cangkang.
- d = diameter tangki sisi dalam.
- d_o = diameter tangki sisi luar.
- d_t = jarak tendon prategang vertikal terhadap permukaan sisi dalam dinding.
- E = modulus elastisitas.
- f_c = kuat desak beton karakteristik.
- f_{ci} = kuat desak beton saat prategang awal.
- f_{ci} = tegangan desak ijin maksimum pada saat prategang awal.
- f_c = tegangan desak ijin maksimum pada saat prategang layan.
- f_{pu} = kuat tarik ultimit tendon prategang.
- f_{py} = kuat tarik luluh tendon prategang.
- f_{pe} = kuat tarik tendon prategang efektif.
- f_{pi} = tegangan tarik ijin tendon prategang saat prategang awal.
- f_{cv} = tekanan sisa.
- f_R = tegangan cincin tarik
- f_l = tegangan beton sisi dalam.

- f_2 = tegangan beton sisi luar.
 f_t = tegangan total.
 f_i = tegangan akibat beban cairan.
 f_h = tegangan akibat prategang horisontal.
 f_v = tegangan akibat prategang vertikal.
 F_i = gaya cincin saat awal.
 F' = gaya cincin pada penggunaan cara rumus umum.
 F = gaya cincin kondisi jepit penuh pada penggunaan cara koefisien membran.
 F_r = gaya cincin residu kondisi jepit penuh (koefisien membran).
 F_p = gaya cincin kondisi jepit parsial (koefisien membran).
 F_{rp} = gaya cincin residu kondisi jepit parsial (koefisien membran).
 H = ketinggian tangki.
 h = ketebalan lantai tangki.
 L = lebar cincin meligkar pada dasar tangki (*toe cantilever*).
 M_y = momen vertikal kondisi jepit penuh.
 M_{yr} = momen vertikal residu kondisi jepit penuh.
 M_{yp} = momen vertikal kondisi jepit parsial.
 M_{yrp} = momen vertikal residu kondisi jepit parsial.
 M_o = momen vertikal pada dasar dinding ($M_{y(y=0)}$).
 M_p = momen jepit parsial (momen vertikal jepit parsial M_{yp}).
 M_{op} = momen vertikal pada dinding dasar kondisi jepit parsial ($M_{yp(y=0)}$).
 M_n = momen nominal kondisi jepit penuh.
 M_{np} = momen nominal kondisi jepit parsial.
 M_u = momen ultimit.
 N_y = gaya satuan memanjang (*longitudinal*).
 N_θ = gaya satuan melingkar.
 N_{ey}, N_{ye} = gaya geser satuan.
 P_y, P_θ, P_z = pembebanan sejajar sumbu simetris.
 P_v = gaya prategang vertikal.
 p = gaya tekan internal cairan.
 Q_y = gaya geser cincin pada kondisi jepit penuh (rumus umum).

- Q_0 = gaya geser cincin pada dasar dinding kondisi jepit penuh, $Q_y(y=0)$ (rumus umum).
 ΔQ_y = gaya geser cincin penyeimbang.
 Q' = gaya radial per satuan melingkar pada dinding-pelat tepi.
 Q_2 = gaya radial per satuan melingkar pada pelat.
 R = persen gaya yang ditransfer dari pelat dasar ke dinding.
 r = panjang jari-jari lingkaran tangki.
 S = faktor modifikasi (*modifier factor*).
 S_1 = nilai perbandingan gaya radial pada pelat dan dinding-pelat.
 t = ketebalan dinding (termasuk ketebalan *toe cantilever*).
 t_w = ketebalan dinding tangki.
 w = perpindahan radial arah z (arah pusat tangki).
 y = ketinggian yang diukur dari dasar dinding.

Intisari

Kebutuhan tangki sebagai tempat penampungan air dalam jumlah yang besar menjadi sebuah hal yang sangat diperlukan, mengingat kebutuhan atau angka permintaan masyarakat yang terus meningkat. Dari segi perencanaan tangki, bermacam-macam bentuk dan sistem struktur dapat digunakan dengan dilandasi faktor-faktor di lapangan yang sangat menentukan.

Dari berbagai macam bentuk dan sistem perencanaan, diambil sebuah tangki berbentuk lingkaran dengan sistem prategang eksternal. Analisa perhitungan yang dilakukan hanya pada dinding tangki dalam hubungannya dengan kondisi dasar dinding yang berbeda. Kondisi dasar dinding yang akan dianalisa yaitu kondisi dasar dinding jepit penuh dan jepit sebagian. Dengan membuat diameter sebagai variabel dari dua kondisi dasar dinding yang berbeda serta penggunaan beberapa asumsi tertentu akan menghasilkan perencanaan tangki melingkar yang efisien. Efisien yang dimaksud adalah bahwa dengan kondisi perencanaan seperti tersebut di atas akan lebih menguntungkan satu dibanding yang lainnya dengan membandingkan dan menganalisa hasil perhitungan yang diperoleh.

Hasil analisa yang diperoleh menunjukkan suatu sifat tertentu dari kondisi sambungan antara dinding dan lantai tangki, yaitu bahwa dengan diameter yang semakin bertambah besar maka kondisi jepit sebagian akan berubah menjadi sambungan terjepit penuh. Selain itu, dengan menggunakan kondisi jepit sebagian diameter yang diperoleh akan lebih besar dari pada kondisi jepit penuh. Dari hal tersebut di atas menunjukkan bahwa perencanaan dinding tangki pada suatu diameter tertentu diperlukan pertimbangan mengenai kondisi sambungan dalam hubungannya dengan kapasitas tangki yang direncanakan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Umum

Beton prategang dewasa ini sudah banyak digunakan pada pekerjaan konstruksi bangunan teknik sipil. Penggunaannya yang begitu luas karena mengingat tuntutan efisiensi hasil akhir pekerjaan konstruksi. Semakin lama orang akan berusaha untuk mengembangkan teknik atau metoda baru dengan suatu pertimbangan umum yaitu keamanan, kenyamanan dan ekonomis. Pembuatan bangunan yang sederhana sampai dengan perencanaan bangunan besar dan rumit tentu akan semakin membutuhkan tingkat ketelitian yang tinggi serta berpijak pada landasan teori yang telah ada.

Pemakaian sistem prategang pada suatu waktu tidak dapat dihindarkan apabila sudah menghadapi bentuk-bentuk struktur yang mengacu pada nilai arsitektur tinggi. Bentuk-bentuk arsitektur adalah merupakan suatu fenomena yang menandai perkembangan peradaban manusia.

1.2 Latar Belakang

Seiring dengan makin berkembangnya teknologi beton bermutu tinggi dan teknologi analisa struktur tiga dimensi yang didukung oleh program-program komputer yang handal, maka perencanaan sistem beton prategang untuk bangunan-bangunan besar menjadi “lebih mudah”. Demikian juga penggunaan sistem prategangan pada bentuk tangki yang secara luas untuk penyimpanan zat-

zat cair seperti air, minyak, gas, air limbah dan butiran seperti semen dan bahan-bahan kimia.

Tangki penyimpanan air dengan kapasitas besar umumnya dibuat dari beton prategang. Bentuk-bentuknya meliputi tangki silindris, kerucut dan persegi. Bentuk silindris dalam penggunaannya dipilih dengan pertimbangan-pertimbangan struktural dan konstruksi. Secara struktural bentuk silindris sesuai untuk pembungkusan kawat keliling yang merupakan operasi prategangan utama pada tangki.

1.3 Tujuan

Tujuan dari studi literatur dalam rangka penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisa mekanisme gaya - gaya yang bekerja pada tangki .
2. Menganalisa tegangan - tegangan yang terjadi pada tangki air beton silindris sehingga didapat desain yang aman dan ekonomis.
3. Menganalisa struktur dan kekuatan dinding terhadap momen-momen yang terjadi pada tangki.
4. Menganalisa pengaruh prategang baik melingkar maupun vertikal.
5. Mampu merencanakan suatu desain dinding tangki prategang.
6. Hasil dari seluruh proses perencanaan diharapkan dapat dijadikan pertimbangan didalam penerapan teknologi khususnya pada tangki prategang.

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan

Analisa perhitungan tangki air silinder beton prategang dalam rangka tugas akhir ini dibatasi oleh ketentuan - ketentuan sebagai berikut :

1. Sistem Prategang yang digunakan adalah sistem prategang melingkar dengan metode pelilitan tendon.
2. Kondisi tumpuan pada dasar dinding jepit penuh dan jepit sebagian.
3. Kondisi dinding atas tidak ada tumpuan.
4. Tebal beton sepanjang tinggi dinding diambil sama.
5. Tangki direncanakan hanya sebagai tempat menyimpan air, sehingga diagram tekanan berbentuk segitiga.
6. Kombinasi gaya-gaya dalam desain prategang vertikal yang didasarkan pada momen vertikal akibat tekanan cairan di dalam tangki dan akibat prategang melingkar yang diterapkan.
7. Tegangan yang diperhitungkan pada saat layan / akhir.
8. Perhitungan yang dilakukan sampai dengan momen nominal dinding tangki.

1.5 Dasar-dasar Analisis dan Perencanaan

Didalam mendesain dan menganalisis perilaku tangki air beton prategang harus diperhitungkan beberapa faktor yang berhubungan dengan perilaku struktur tersebut.

Faktor-faktor yang berhubungan dengan perencanaan tangki air beton prategang adalah :

1. Jenis pembebanan yang akan dipikul oleh struktur tangki air beton prategang.
2. Sistem gaya-gaya yang bekerja pada tangki.
3. Karakteristik bahan yang digunakan pada tangki air beton prategang.
4. Batas-batas tegangan ijin pada stuktur.
5. Asumsi yang akan digunakan dalam perencanaan

1.6 Tahap Analisis dan Pembahasan

1. Metode analisis

Sebelum menganalisis suatu penampang, pemahaman rumus dasar yang akan digunakan harus sesuai dengan metode analisisnya. Metode analisis yang digunakan harus disesuaikan dengan tinjauan yang akan dianalisis dan tujuan yang akan dicapai. Pada analisis tangki air beton prategang digunakan rumus umum perhitungan gaya dan penurunan rumus umum tangki beton prategang, yang didapat dari penurunan teori lentur cangkang melingkar.

2. Karakteristik bahan dan perilaku struktur

Karakteristik bahan, seperti mutu beton, baja, tata letak tendon dan besaran-besaran seperti tebal dinding tangki, diameter tangki, tinggi tangki dan batasan-batasan lain yang sangat mendukung dalam melakukan analisis.

3. Analisis hitungan

Setelah memenuhi kriteria untuk hitungan dilakukan analisis terhadap perilaku yang akan ditinjau, sehingga dapat dihasilkan suatu analisis yang tepat.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis tersebut dapat diambil kesimpulan mengenai suatu perencanaan tangki air beton prategang.

5. Saran

Dari hasil kesimpulan diharapkan dapat memberikan suatu gambaran dan pertimbangan dalam merencanakan suatu struktur khususnya tangki air beton prategang, sehingga didapatkan dimensi penampang tangki air beton prategang yang ekonomis dan kuat terhadap pengaruh perilaku struktur yang bekerja.

BAB II

TINJAUAN UMUM TANGKI BETON PRATEGANG

2.1 Pengertian Tangki Beton Prategang

Tangki beton prategang adalah suatu desain pengembangan dari suatu bentuk prategangan melingkar yang mempunyai struktur berbentuk silinder. Desain penerapan gaya prategang baik arah melingkar maupun memanjang yang prinsip dasarnya secara praktis sama dengan teori dasar pada beton prategang linier, tetapi dalam prakteknya berbeda yaitu dalam hal teknik penerapan gaya prategang dan pengangkuran tendon. Tujuan memberikan tegangan awal atau prategangan adalah untuk menimbulkan tegangan tekan terlebih dahulu sehingga diharapkan sewaktu beban bekerja tegangan tarik total akan berkurang atau bahkan hilang. Melalui cara ini retak-retak yang terjadi pada kondisi beban kerja dapat dikurangi menjadi semimum mungkin.

Tangki beton prategang adalah suatu bangunan yang berupa wadah (kontainer) berbentuk lingkaran terbuat dari beton baik dibuat secara pracetak, pengecoran ditempat (*cast-in-place*) maupun beton tembak (*shotcrete*). Sistem strukturnya dapat berupa beton bertulang atau beton prategang. Tangki tersebut dapat digunakan sebagai penyimpan cairan, butiran (bentuk padat) dan gas.

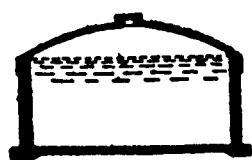
Bentuk-bentuk tangki beton prategang dapat disebutkan sebagai berikut ini :

1. Tangki silinder diantaranya meliputi :
 - a. Tangki silinder bundar.

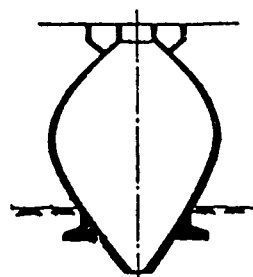
- b. Tangki kerucut.
- c. Menara air dari cangkang lengkung ganda.
- d. Menara air dengan tangki kerucut.

2. Tangki tak silinder diantaranya meliputi :

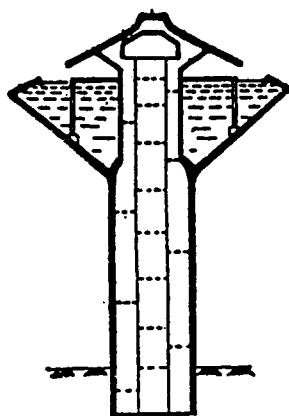
- a. Tangki bujur sangkar.
- b. Tangki persegi panjang.



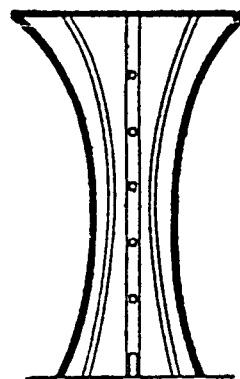
(a) Tangki Silindris Bunder



(b) Tangki Kerucut



(c) Menara Air dengan Tangki Kerucut



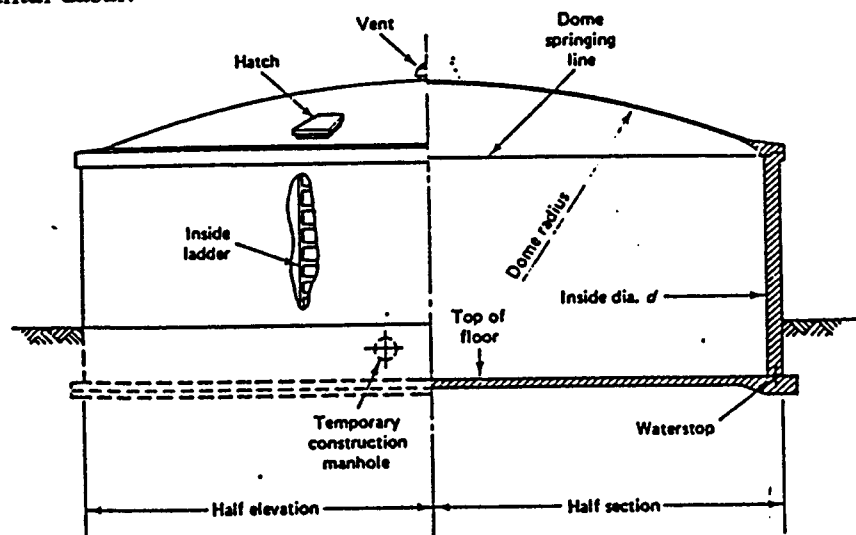
(d) Menara Air dari Cangkang Lengkung Ganda

Gambar 2.1 Bentuk-bentuk tangki beton prategang (N Krisna Raju, 1989)

Tangki beton prategang umumnya berbentuk silinder dengan diameter sampai 100 m dengan kedalaman cairan sampai 36 m dan kapasitas mendekati 50 juta liter. Sedangkan tangki bujur sangkar atau persegi panjang dipakai untuk keperluan industri di daerah-daerah perkotaan dan industri padat yang keterbatasan lahan merupakan hambatan paling besar.

Elemen-elemen penyusun struktur tangki beton prategang bervariasi, sehingga perencana dapat memilih desain sesuai dengan kebutuhannya. Banyak hal yang dapat diterapkan dalam membangun tangki beton ini sehingga mempengaruhi kemampuannya. Nilai toleransi saat pengerjaan dinding terutama ketebalan dinding dan kelengkungannya berpengaruh pada kondisi desain akhir serta stabilitas struktur selama penegangan. Penyusutan adalah suatu kondisi kritis bagi tangki karena ketebalan dinding yang tipis dan luasnya bagian yang terbuka. Saat beton dalam proses perawatan (*Curing*) merupakan suatu hal yang sangat penting untuk ketahanan dan mencegah retak dan retak rambut pada permukaan dinding. Pemberian air saat perawatan dapat dilakukan dengan penyemprot maupun dengan menggunakan kain kanvas basah. Pengaruh tingginya dinding yang terbuka terhadap adanya angin kencang saat perawatan juga membutuhkan perlindungan yang baik.

Secara garis besar bentuk tangki terdiri dari dinding, atap (tutup tangki) dan pelat lantai dasar.



Gambar 2.2 Bentuk potongan tangki (Edward G. Nawy, 1995)

2.1.1 Dinding tangki beton

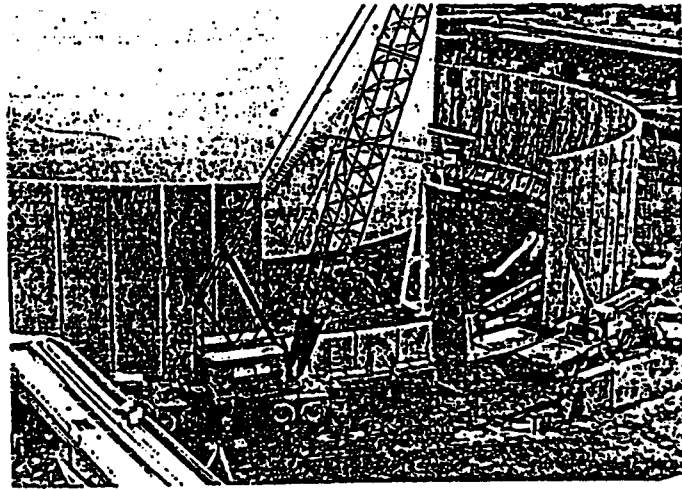
Dinding tangki yang telah disebutkan diatas dapat dibuat dari panel beton pracetak maupun cor ditempat (*cast-in-place*). Cara pengecoran ditempat terdiri dari dua cara yaitu pencetakan menggunakan *panel form* dan *slipform*.



Gambar 2.3 Pengecoran dinding dengan slipform (Edward G. Nawy, 1995)

Pada pengecoran menggunakan *panel form* maka dinding beton dicor arah vertikal kemudian bergerak melingkar, cara ini dapat digunakan untuk menghilangkan penyusutan. Pada sambungan setiap akan dilakukan pengecoran harus dibersihkan dengan *sandblasting* atau pancaran pasir sampai terlihat agregatnya. Hal tersebut dimaksudkan untuk memperkuat ikatan antar beton. Selain itu, dapat pula ditambahkan campuran perekat yang disesuaikan dengan material yang akan mengisi tangki sehingga tidak mempengaruhi daya ikatannya. Pengecoran menggunakan pencetak *slipform* dengan cara beton dicor dari bawah dan melingkar kemudian diteruskan dinding diatasnya. Pengecoran menggunakan pencetak *slipform* sangat umum digunakan untuk mengurangi jumlah sambungan,

akan tetapi harus dilakukan kontrol tegangan akibat penyusutan. Kontrol juga dilakukan untuk menjaga kelengkungan dan ketebalan dinding.

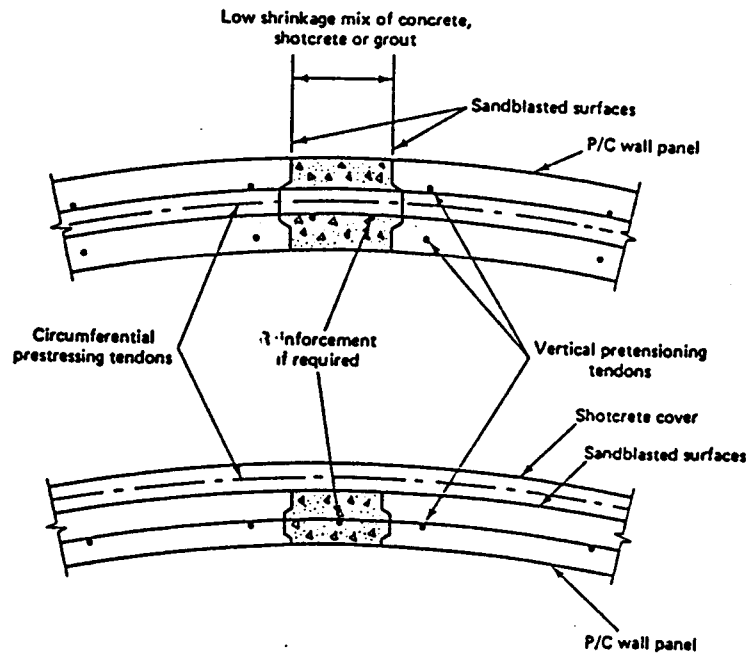


Gambar 2.4 Pemasangan panel beton pracetak (Gerwick, 1992)

Dinding tangki yang menggunakan panel pracetak biasanya ditegangkan pada arah melingkar dengan prategangan dalam (*internal*) atau prategangan luar (*external*) setelah pemasangan. Pada saat pemasangan panel pracetak, bantalan dinding dasar harus dipasang terlebih dahulu. Bantalan ini harus mampu menerima deformasi arah melingkar akibat prategangan dan tekanan dari pembebanan isi tangki. Umumnya bantalan ini dari *Neoprene* atau karet alam. Untuk menahan geser secara radial (geser berubah terhadap pusat tangki) dapat digunakan kabel pengikat tanpa penegangan untuk memindahkan geser dari dinding ke plat (*Slab*) dasar pada saat terjadi gempa atau keruntuhan tangki.

Sambungan panel beton pracetak dibuat dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan, sehingga sambungan harus mempunyai kekuatan yang sama atau bahkan lebih dari panel beton itu sendiri. Dahulu, permukaan sambungan beton sebelumnya harus dibuat basah, dengan perkembangan

pengetahuan saat ini permukaan sambungan tidak harus dibuat basah terlebih dahulu.



Gambar 2.5 Sambungan dinding vertikal untuk panel pracetak (Edward G. Nawy, 1995)

Jarak untuk sambungan dalam praktek bervariasi dari 75 mm sampai 600 mm, akan tetapi jarak yang terbaik dapat dipakai 300 mm. Sambungan beton dibuat dengan campuran beton kekuatan tinggi yang mempunyai ukuran agregat maksimum 10 mm. Beton ini dicorkan dari atas kemudian dijatuhkan jika tidak ada sekat yang rapat pada sambungan. Apabila sekat tersebut rapat dapat digunakan pipa *tremie*, sehingga memastikan untuk tidak terjadi segregasi. Pengalaman dalam teknik jatuh bebas menggunakan pipa *tremie* menunjukkan bahwa dapat menghasilkan beton yang memuaskan setelah diturunkan dari ketinggian 8 meter walaupun dengan jarak tulangan tidak terlalu rapat. Beton juga dapat dipompa ke joint lewat bawah dengan kondisi beton harus bersifat mudah dikerjakan (*high workable*). Sambungan yang sempit dengan lebar 50 mm sampai

75 mm dapat dilakukan grouting dengan campuran grouting kekuatan tinggi. Cara lain penyambungan dapat menggunakan *shotcrete*.

Penahan dasar dinding dalam (*curb*) terbuat dari beton yang juga sebagai penghubung kedap air terhadap lantai tangki. *Curb* dapat juga dikelilingi oleh tulangan penahan goyangan. Bentuk *curb* ini dihubungkan ke dinding panel oleh baja tulangan dan dicor sehingga melekat pada panel dinding.

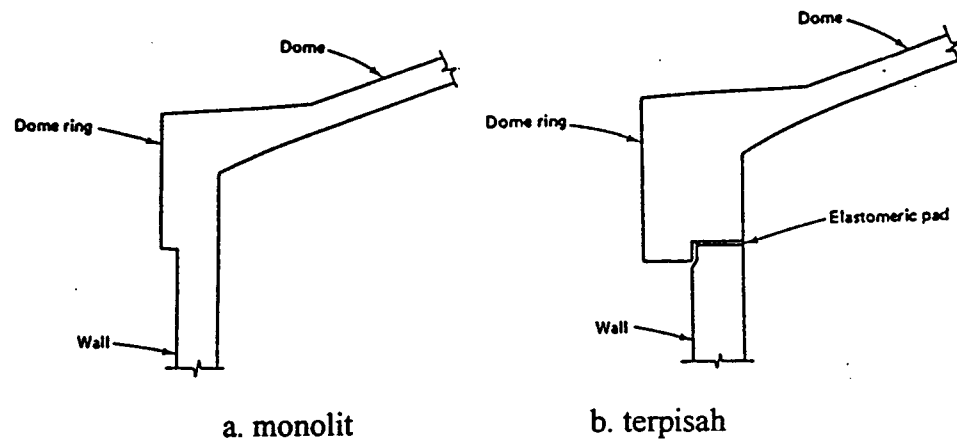
2.1.2 Atap tangki

Atap untuk tangki penyimpan biasa dibangun dalam bentuk atap cangkang kubah atau atap plat yang didukung oleh kolom internal. Biaya pembuatan atap umumnya sekitar sepertiga dari biaya keseluruhan struktur. Atap yang pengerjaannya baik cor ditempat atau pracetak, desainnya mengikuti prinsip desain untuk sistem lantai beton bertulang biasa atau beton prategang satu arah maupun dua arah seperti yang telah ditentukan dalam ACI 318 Code.

Jika atap dibuat dari elemen prategang pracetak dan diameter tangki tidak melebihi 45 m maka kolom interior tidak diperlukan. Pada kondisi diameter tangki lebar, maka ada penambahan biaya kolom interior dan yang selalu mengikutinya adalah pekerjaan pondasi yang kemudian akan meningkatkan biaya keseluruhan struktur.

Atap bentuk kubah cangkang mempunyai keuntungan tersendiri untuk tangki yang mempunyai diameter kurang dari 45 m. Untuk diameter tersebut di atas, kubah tidak memerlukan dukungan kolom interior dan juga ekonomis untuk tangki penyimpan bawah tanah, karena dengan adanya beban tanah. Bentuk kubah dan permasalahan sambungan pada dinding mempunyai pengaruh penting

terhadap biaya. Atap cangkang sebaiknya didukung oleh dinding tangki dengan sambungan fleksibel atau dengan modifikasi desain dinding dan atap dalam hal tingkat penahanannya dan kekakuan relatif.



Gambar 2.6 Sambungan dinding-atap (Edward G. Nawy 1995)

Detail joint atap tidak hanya menyediakan kondisi menahan atau bebas tetapi juga untuk mengurangi rembesan air yang masuk diantara beton dan baja atau diantara beton dan beton semprot. Hal tersebut di atas dapat melindungi kabel prategang dari korosi. Jika atap dibuat sebelum dinding tangki ditarik (sistem *post tension*) maka sambungan atap harus bebas bergerak arah ke dalam tangki saat atap ditegangkan.

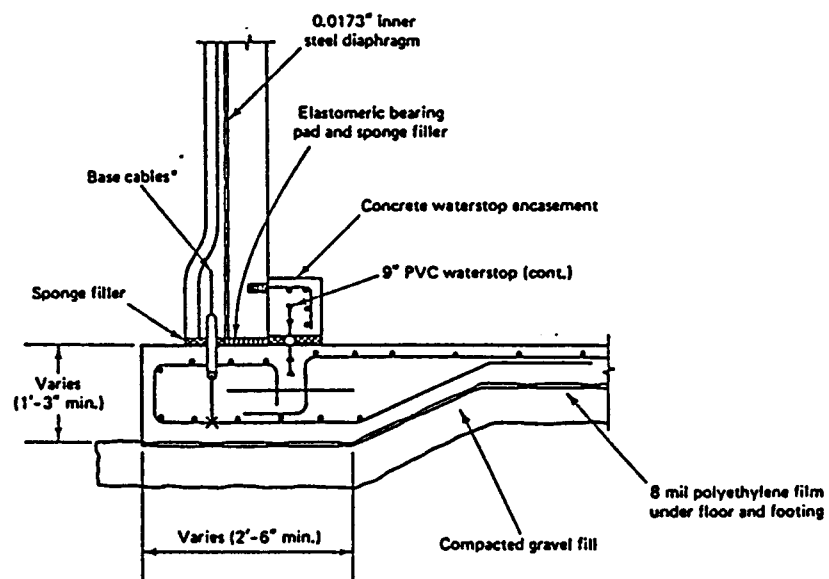
Pada atap bentuk kubah cangkang, dua lapis baja lunak harus digunakan dekat tepi kubah arah lingkaran horizontal untuk menahan momen yang terjadi pada atap itu sendiri. Sehingga kubah membutuhkan penebalan di daerah tepi ini. Momen-momen dapat diminimumkan dengan membuat detail sambungan yang benar. Untuk menghindari penyusutan dan retak akibat suhu pada atap kubah

sebelum penegangan, baja tulangan seperti jaring-jaring tulangan (*wire mesh*) harus sudah terpasang dan pemberian air pada saat pengerasan terus dilakukan sampai pekerjaan penegangan selesai.

Pengankuran kabel harus tersedia dengan kondisi sambungan yang tak terkekang sehingga untuk menghindari penurunan atap relatif terhadap dinding. Pengerjaan atap kubah seharusnya dilakukan melingkar dari tepi luar ke tengah dan perancah tetap dipasang sampai penegangan dilakukan.

2.1.3 Plat lantai dasar

Lantai harus didesain untuk menahan gaya angkat hidrostatis saat tangki kosong. Lantai dapat diangkurkan pada tanah subsoil menggunakan batang baja dengan penegangan atau tanpa penegangan. Sistem drainasi dengan memakai susunan batu dapat mengurangi tekanan pada lantai. Batu-batu tersebut harus dilindungi dengan lembar *polyethylene* dari pengaruh dan hambatan sumbatan tanah.



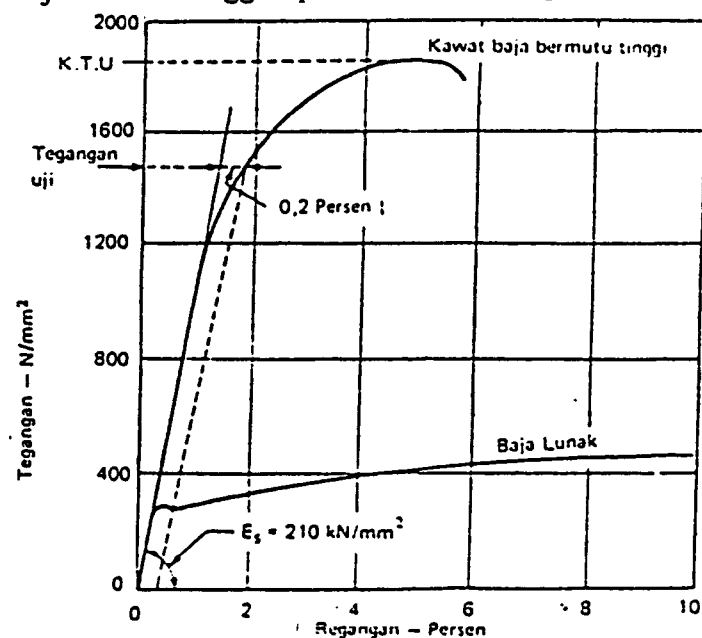
Gambar 2.7 Potongan pertemuan dinding-lantai
(Edward G. Nawy, 1995)

Jika lapisan dibawah lantai digunakan pasir, maka tepi lantai harus dibuat dinding beton yang lebih rendah. Hal tersebut mempunyai maksud untuk melindungi pasir dari erosi dan penggerusan.

Pertemuan lantai dan dasar dinding harus dipasang pencegah rembesan air (*water stop*). Pencegah rembesan air ini biasanya digunakan pada sambungan dinding yang tidak menggunakan lapisan baja dan dinding yang pada saat penyambungan tidak ditampakkan agregatnya. *Water stop* umumnya dari karet atau plastik. Bantalan pada sambungan dinding dan lantai dapat juga digunakan sebagai pencegah rembesan air.

2.1.4 Baja prategang

Kekuatan tarik ultimit dan diameter kawat baja mutu tinggi bervariasi. Kekuatan tariknya agak kurang pada kawat dengan diameter lebih besar daripada yang mempunyai diameter lebih kecil. Karakteristik tegangan-regangan yang khas dari kawat baja bermutu tinggi diperlihatkan dalam gambar 2.8.

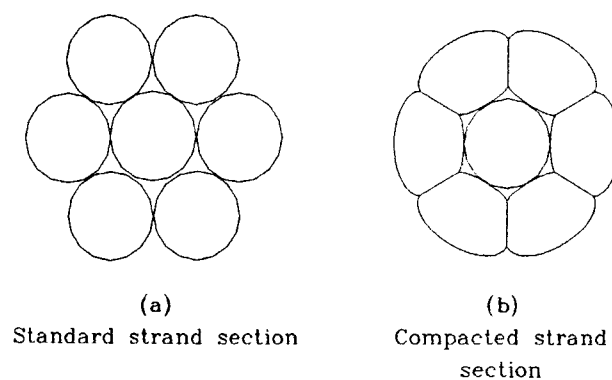


Gambar 2.8 Tegangan-regangan baja (N Krisna Raju, 1989)

Pada beton prategang digunakan baja berkekuatan tinggi yang umumnya terdiri dari kawat, batang baja, dan untaian kawat baja (*strand*) atau secara umum disebut dengan tendon. Tendon harus mempunyai kuat tarik tinggi dan kemampuan untuk menahan tegangan yang telah ditentukan dengan sedikit kehilangan akibat relaksasi, korosi atau rapuh. Jenis kawat baja tarik dingin (*Cold drawn steel wire*) dan kawat-batang-baja campuran (*Alloy steel*) ini memiliki persyaratan di atas serta bahan yang paling umum digunakan untuk tendon.

Jenis-jenis tendon prategang baja mutu tinggi terdiri dari lima sistem yaitu:

1. *High Tensile Wire*, tendon sistem ini diperoleh dengan menarik batang baja kuat tarik tinggi pada kondisi dingin sampai suatu ukuran tertentu. Proses di atas bertujuan untuk membentuk susunan penyusun baja sehingga menambah kekuatan kawat. Penarikan akan membuat diameter menjadi lebih kecil dan di dapat kekuatan ultimit yang lebih tinggi serta sedikit penurunan sifat daktilitasnya.



Gambar 2.9

2. *High Tensile Seven Wire Strand*, merupakan gabungan tujuh buah kawat *high tensile wire* yang dijadikan satu. Bentuknya ada dua macam yaitu *strand*

dengan luasan standar (*strandard strand section*) dan *strand* luasan padat (*compacted strand section*). Seperti tampak pada gambar 2.9.

3. *Cold-Drawn Steel Strip*, merupakan baja mutu tinggi yang bentuk penampangnya pipih.
4. *Multiple Strand*, merupakan gabungan dari *strand* yang dimasukkan dalam selongsong dan biasa digunakan dalam sistem pascatarik dengan grouting.
5. *Bars Alloy Steel*, adalah batang baja campuran yang dapat dipakai dalam sistem pratarik dan pascatarik dengan grouting maupun ungrouting.

2.2 Konsep Dasar Tangki Silinder Beton Prategang

Gaya prategang pada tangki beton ini diterapkan baik dalam arah melingkar maupun memanjang, prategang melingkar mempunyai bentuk tendon melingkari tangki sedangkan prategang memanjang mempunyai bentuk tendon linier.

Tangki beton prategang pertama kali dibuat dengan metode beban awal yang menggunakan mesin pelilit kabel, mesin tersebut menarik dan mengatur jarak kabel secara bersamaan. Prosedur ini terdiri dari proses-proses sebagai berikut:

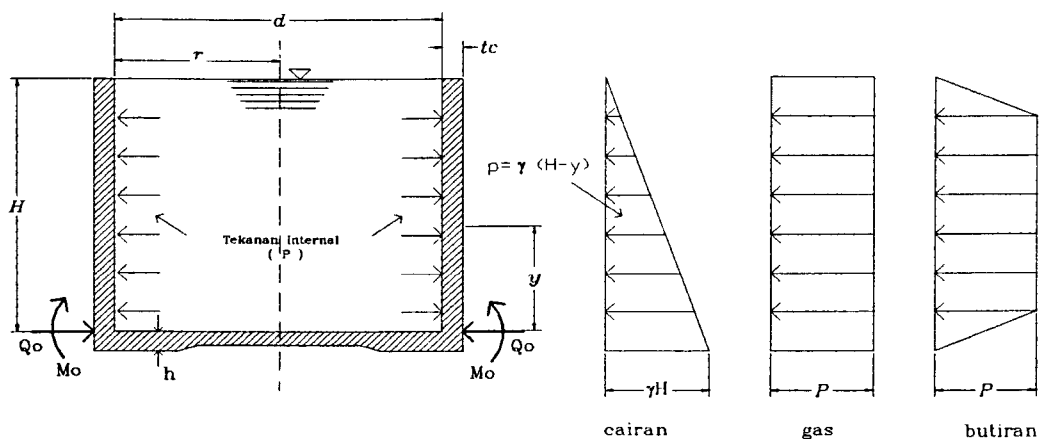
- Dinding beton dibuat baik dengan cara cor ditempat (*cast-in-place*), pracetak maupun adukan-tembak (*shotcrete*).
- Setelah mencapai kekuatan yang cukup dinding beton diprategangkan pada arah keliling dinding.

- Kemudian adukan-semprot pelindung digunakan untuk melindungi kabel di sekeliling tangki pada setiap lapisan, karena untuk tangki yang besar dapat digunakan lebih dari satu lapis prategang.
- Penerapan prategangan vertikal. Prategangan vertikal dapat dilakukan dengan sistem prategang linier.

Metode prategangan linier pada akhirnya juga dapat diterapkan pada tangki beton prategang menggantikan metode pelilitan kabel.

2.2.1 Pembebanan

Pertimbangan tingkah laku tangki silindris melibatkan tekanan interior akibat material pengisi yang bekerja pada dinding tipis lengkung silindris, gaya prategang lingkaran eksterior dan vertikal yang mengimbangi gaya-gaya interior. Tekanan interior mempunyai arah horisontal melingkar, tetapi berbeda dalam arah tegaknya tergantung material pengisi tangki. Jika material pengisi adalah cairan maka distribusi tekanan vertikal melawan dinding adalah segitiga, dengan nilai maksimum pada dasar dinding. Cairan yang mengandung gas akan mempunyai distribusi tekanan horisontal konstan sepanjang tinggi dinding. Distribusi tekanan vertikal dalam tangki yang digunakan untuk menyimpan material bentuk butiran seperti gandum, beras atau batu bara pada dasarnya sama dengan distribusi tekanan gas.



Gambar 2.10 Pembebanan.

Dasar teori elastis cangkang silindris diaplikasikan untuk menganalisa dan mendesain dinding tangki prategang. Gaya cincin menyebabkan tegangan cincin di dalam dinding silindris, yang diasumsikan tak terkekang pada ujung-ujungnya. Besarnya gaya cincin adalah sesuai dengan besarnya tekanan internal yang terjadi, dan tidak ada momen vertikal yang terjadi sepanjang tinggi dinding. Jika ujung dinding terkekang, maka besar gaya cincin berubah dan ada pengaruh momen pada arah vertikal dinding tangki. Besar gaya cincin dan momen vertikal merupakan fungsi dari tingkat pengekangan cangkang silinder pada pertemuan dasar dinding dan lantai yang dihitung dari teori cangkang elastis.

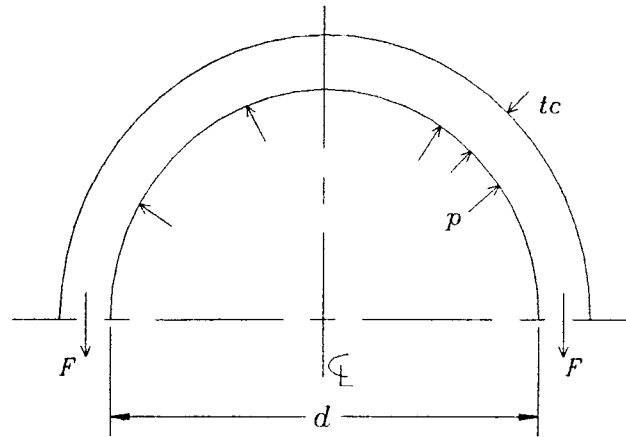
Beban internal berupa cairan dan kondisi dasar dinding bebas, maka akan mengakibatkan gaya cincin:

Beban internal cairan : $p = \gamma H$

$$F = \frac{pd}{2} = pr \quad (2.1a)$$

tegangan tarik cincin yang terjadi di dalam dinding akibat gaya cincin:

$$f_R = \frac{F}{t} = \frac{pd}{2t} = \frac{pr}{t} \quad (2.1b)$$



Gaya tarik internal cincin F
arah horizontal

Gambar 2.11

Tegangan tarik cincin di setiap titik dibawah permukaan material pengisi tangki adalah:

$$f_R = \gamma(H-y) \frac{d}{2t} = \gamma(H-y) \frac{r}{t} \quad (2.2a)$$

sedangkan gaya cincinnya:

$$F = \gamma(H-y)r \quad (2.2b)$$

Tegangan tarik cincin maksimum pada dasar dinding:

$$y = 0, \text{ maka } f_R(\text{max}) = \frac{\gamma Hd}{2t} = \frac{\gamma Hr}{t} \quad (2.3)$$

Pada kondisi dasar dinding yang terkekang atau misalnya terjepit, maka tarikan cincin pada dasar dinding hilang. Jika momen vertikal di setiap ketinggian

dinding pada tampak horizontal adalah M_y , maka tegangan lentur atau tarik dalam beton menjadi:

$$f_t = f_c = \frac{M_y}{S} = \frac{6M_y}{t^2} \text{ , per satuan melingkar} \quad (2.4)$$

keterangan : d = diameter silinder

r = jari-jari silinder

t = tebal dinding

p = tekanan internal pada dinding dasar = γH

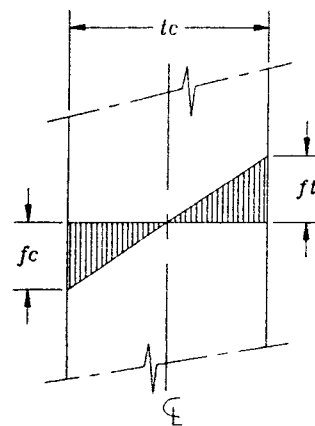
γ = berat jenis material pengisi

H = tinggi cairan pengisi

y = jarak permukaan cairan dari dasar dinding

S = modulus section

M_y = momen vertikal



Tegangan lentur akibat momen M
pada ketebalan dinding arah
vertikal

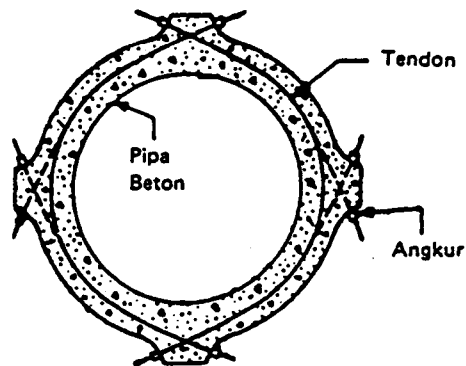
Gambar 2.12

2.2.2 Prategang melingkar

1. Prategang internal

Tangki beton prategang ditegangkan dengan tendon internal pasca tarik lewat selongsong di dalam dinding. Gesekan tendon akibat kelengkungan dapat

dikurangi dengan membatasi besarnya kelengkungan. Sebagai contoh yang sering digunakan yaitu tendon direntangkan sampai busur 120° atau 180° dan diatur penegangan pada setiap 60° . Untuk mengurangi kehilangan tegangan akibat gesekan dapat pula dilakukan dengan membuat selongsong kaku sehingga menghindari gesekan antar dinding. Selongsong baja dalam hal ini paling umum digunakan. Selongsong plastik dapat digunakan sejauh saat penarikan dapat dipastikan bahwa *strand* tidak memotong dinding selongsong.



Gambar 2.13 Tangki dengan tendon internal.
(N. Krishna Raju, 1989)

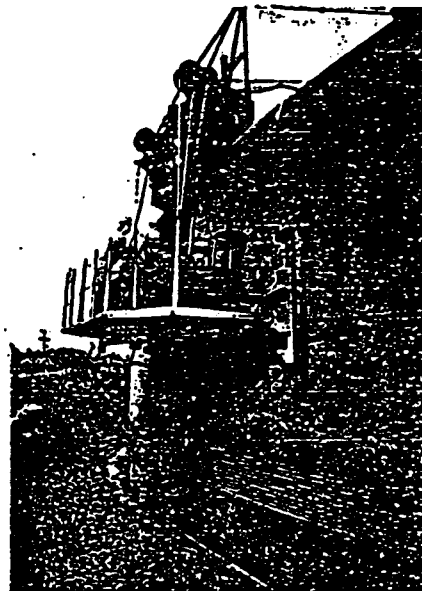
Pada panel pracetak, selongsong harus menerus pada sambungan tanpa ada kebocoran saat grouting dan tidak ada perubahan yang tiba-tiba pada barisan panel pracetak.

Titik-titik penarikan, misalnya setiap busur 60° diberi penyangga (*buttress*) yang dibuat lebih besar dari dinding. Pada panel pracetak di titik penarikan dapat dibuat suatu panel penahan khusus (*blockout*). Pengangkuran umumnya terletak di dinding luar, hal tersebut dapat mengurangi besarnya kelengkungan.

Penarikan dilakukan dengan cara ‘penarikan satu arah’ (*conventional jack*) atau dengan ‘penarikan dua arah’ (*center-stressing jack*) dengan menarik dua ujung *strand* secara bersama-sama, yang akan dapat mengurangi besarnya kehilangan prategang.

2. Pelilitan eksternal

Pelilitan kawat atau *strand* dengan penegangan secara umum digunakan untuk tangki silindris. Spesifikasi umum dalam penarikan memerlukan toleransi sebesar $\pm 7\%$. Pada saat kawat dililitkan, angkur pengikat sementara harus dipasang untuk menjaga kehilangan prategang seandainya kawat pelilit putus. Angkur pengikat dapat dilepas saat pemasangan lapis pelindung.



Gambar 2.14 Prategangan kawat melingkar.
(Edward G. Nawy, 1995)

Alat pencatat kalibrasi penegangan bekerja terus-menerus untuk merekam besarnya tingkat penarikan selama proses pelilitan. Pada tangki yang lebih kecil dapat dilakukan pembacaan alat yang tidak menerus, walaupun pembacaan secara menerus akan lebih baik. Pembacaan alat pencatat kalibrasi diperiksa pada

ketinggian dan lapisan lilitan tertentu. Jika tegangan kawat dibawah nilai toleransi yang ditentukan maka dilakukan pelilitan tambahan. Jarak spasi kawat dalam setiap lapis normalnya 8 mm ($\frac{5}{16}$ inch).

Jika digunakan tendon strand atau batang, maka penarikan dapat dilakukan dalam busur 120° sampai 180°. Titik penarikan umumnya diatur sebesar 60°. Dudukan atau penumpu dari baja digunakan dalam interval tertentu untuk mengurangi gesekan. Penumpu harus dipasang atau diletakkan secara diagonal untuk mendistribusikan tegangan titik melingkar.

Tendon yang sudah terpasang secara eksternal pada suatu saat harus dibersihkan dan dilindungi secepat mungkin untuk menghindari korosi. Mesin pelilit kawat mempunyai gerakan yang mempengaruhi tekuk vertikal pada dinding. Dinding dalam hal tersebut diatas harus mempunyai kondisi tulangan yang mendukung, dan biasanya pemasangan kawat melingkar dilakukan lebih dahulu sebelum penegangan vertikal.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Ketegaran Lentur Pelat/Cangkang

Nilai ketegaran lentur pelat/cangkang didapat pada saat mengintegrasikan persamaan tegangan lentur. Pengintegrasian akan menghasilkan momen lentur pada jalur elemen, yaitu elemen dari suatu pelat empat persegi yang panjang serta mengalami beban lintang tak bervariasi sepanjang pelat. Lendutan pada jalur elemen dinyatakan oleh persamaan diferensial yang mirip dengan persamaan lendutan suatu balok yang dilenturkan. Nilai ketegaran lentur ini menggantikan besaran EI yang sering dijumpai pada kasus balok.

Persamaan tegangan lentur diperoleh dengan menerapkan hukum Hooke, yang dihitung dari perpanjangan satuan ϵ_x dan ϵ_y yang dinyatakan dalam tegangan-tegangan normal σ_x dan σ_y serta bekerja pada suatu serat elemen pelat yang melentur. Setelah mengintegrasikan persamaan tegangan lentur didapat :

$$\text{Momen lentur, } M = -\frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \frac{d^2w}{dy^2} = -D \frac{d^2w}{dy^2} \quad (3.1)$$

$$\text{Ketegaran lentur plat atau cangkang, } D = -\frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \quad (3.2)$$

Dengan :

E = modulus elastisitas

t = tebal dinding

μ = perbandingan poisson

w = lendutan

3.2 Teori Selaput Tipis (*Membrane Theory*)

Pembahasan mengenai gaya-gaya dan tegangan-tegangan pada dinding tangki melingkar tak retak adalah permasalahan elastisitas yang termasuk di dalam analisis cangkang silindris. Dalam membahas cangkang silindris seperti tampak pada gambar 3.1a, dianggap bahwa rusuk cangkang vertikal dan sejajar terhadap sumbu y . Suatu elemen dipotong atau diambil dari cangkang oleh dua buah rusuk yang berdekatan dan dua buah penampang melintang yang tegak lurus terhadap sumbu y , sedangkan posisi elemen ditentukan oleh koordinat y dan sudut θ . Gaya yang bekerja pada sisi-sisi elemen diperlihatkan pada gambar 3.1b. Suatu beban didistribusikan ke seluruh permukaan elemen yang sebelumnya komponen-komponen intensitas beban tersebut ditandai dengan Y , Z dan θ . Dasar kesetimbangan persamaan-persamaan selaput dapat digunakan jika cangkang bebas untuk berdeformasi dibawah pengaruh tekanan cairan internal.

Gaya satuan memanjang dinotasikan N_y , gaya satuan keliling N_θ , geser satuan pada pertengahan antar antar elemen $N_{\theta y}$ dan $N_{y\theta}$. Dalam hal ini akan terdapat empat buah gaya yang tak diketahui bekerja pada permukaan cangkang. Dengan meninjau keseimbangan elemen dan dengan menjumlahkan gaya-gaya menurut arah y , maka akan diperoleh :

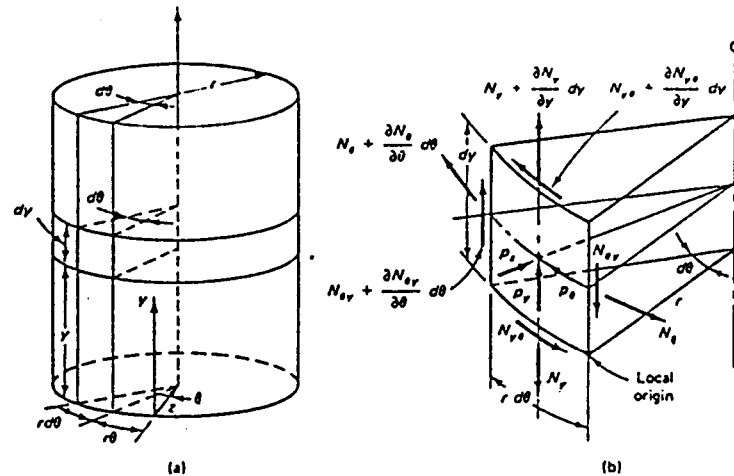
$$r \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_\theta}{\partial \theta} + p_y r = 0 \quad (3.3a)$$

Dengan cara yang sama, akan diketahui bahwa gaya-gaya yang arahnya menyinggung penampang normal yaitu menurut arah θ akan memberikan persamaan keseimbangan yaitu :

$$\frac{\partial N_{\theta}}{\partial \theta} + r \frac{N_{y\theta}}{\partial y} + p_{\theta} r = 0 \quad (3.3b)$$

Gaya-gaya yang bekerja menurut arah yang tegak lurus terhadap cangkang, yaitu menurut arah z akan menghasilkan persamaan :

$$\frac{N_{\theta}}{r} = +p_z = 0 \quad (3.3c)$$



Gambar 3.1 Gaya-gaya selaput tangki silindris. (Nawy, 1995)

Kemudian nilai $\partial N_{y\theta} = \partial N_{\theta y}$ akibat dari pembebanan yang simetris. Empat buah gaya yang tidak diketahui berkurang menjadi tiga buah gaya, yang merupakan sebuah struktur statis tertentu untuk gaya-gaya langsung.

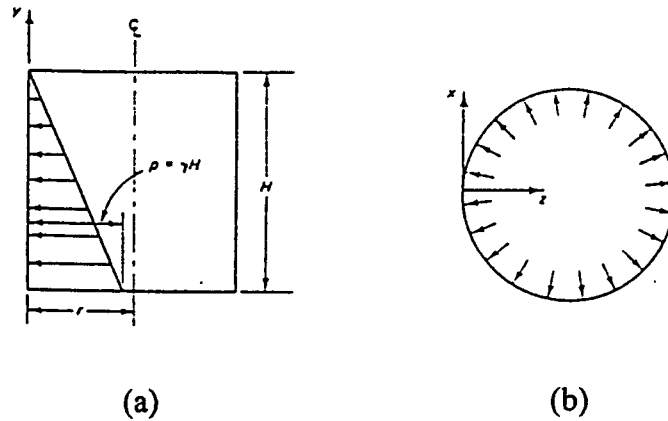
Untuk pembebanan sumbu simetris seperti gambar 3.2a $p_{\theta} = p_y = 0$ dan $p_z = P \cdot f(y)$, nilai θ bebas, maka

$$P_z = -\gamma (H-y) \quad (3.4)$$

Dan solusi persamaan 3.3 adalah

$$\begin{aligned} N_{y\theta} &= N_y = 0 \\ N_{\theta} &= \gamma (H-y) r \end{aligned} \quad (3.5)$$

dengan : P_y, P_{θ}, P_z = pembebanan searah sumbu simetri

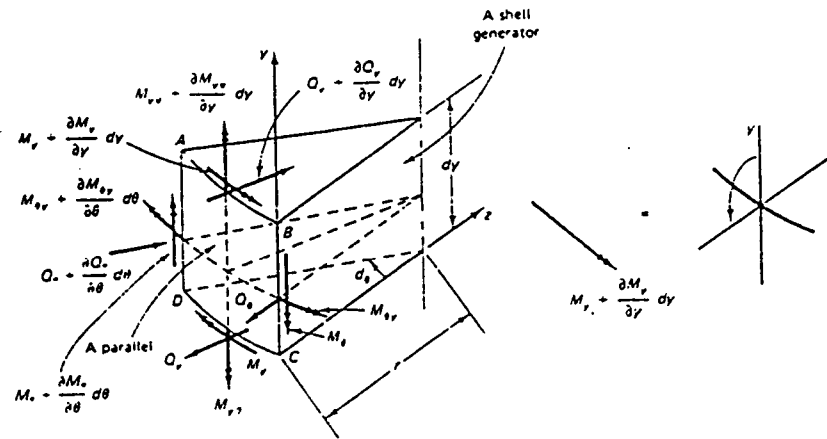


Gambar 3.2 Tekanan internal selaput tangki silindris.
(Edward G. Nawy, 1995)

3.3 Teori Lentur Cangkang Silindris

Teori ini adalah modifikasi dari teori selaput tipis yang diterapkan dengan penambahan momen dan geser. Hal tersebut karena adanya kekangan pada pertemuan dinding dan dasar tangki yang mempengaruhi geser horizontal pada cincin lingkaran dan momen vertikal cangkang. Teori ini memperhitungkan persyaratan tegangan gabungan dalam pengaruh deformasi yang disebabkan oleh pengaruh geser dan momen.

Momen dan gaya geser dalam pembebanan simetris pada sumbu tampak dalam gambar vektor gaya dan momen (gambar 3.3). Elemen ABCD menunjukkan titik-titik penerapan dan momen satuan M_y pada sumbu x , M_θ pada sumbu y , momen melingkar $M_{y\theta}$ dan $M_{\theta y}$. Geser normal satuan Q_y bekerja pada bidang vertikal cangkang, dan tegak lurus terhadap sumbu cangkang, dan geser radial satuan Q_θ bekerja sepanjang jangkauan cangkang pada bidang cangkang paralel.



Gambar 3.3 Vektor gaya dan momen (Edward G. Nawy, 1995)

Superposisi dari momen dan geser dalam gaya-gaya akan menghasilkan persamaan-persamaan kesetimbangan. Akibat pembebanan simetris dan pengabaian gaya-gaya persamaan kesetimbangan dapat ditulis dalam bentuk yang sederhana dengan tiga variabel yang tidak diketahui yaitu N_θ , Q_y dan M_y persamaan-persamaan tersebut adalah :

$$\frac{dQ_y}{dy} + \frac{1}{r} N_\theta = -p_z \quad (3.6a)$$

$$\frac{dM_y}{dy} - Q_y = 0 \quad (3.6b)$$

Untuk menyelesaikan persamaan di atas harus mempertimbangkan perpindahan (*displacement*).

PERSAMAAN GAYA

Dari sifat simetri, didapatkan bahwa komponen perpindahan u dalam arah kelilingnya akan hilang. Oleh karena itu cukup kita perhitungkan komponen v dan w , masing-masing dalam arah y dan z , sehingga persamaan komponen regangan

$$\text{menjadi } \epsilon_y = \frac{dv}{dy}, \quad \epsilon_\theta = -\frac{w}{r}$$

Dengan menerapkan hukum Hooke akan kita peroleh

$$N_y = \frac{Et}{1-\mu^2} (\epsilon_y + \mu \epsilon_\theta) = \frac{Et}{1-\mu^2} \left(\frac{dv}{dy} - \mu \frac{w}{r} \right) = 0 \quad (3.7a)$$

$$N_\theta = \frac{Et}{1-\mu^2} (\epsilon_\theta + \mu \epsilon_y) = \frac{Et}{1-\mu^2} \left(-\frac{w}{r} + \mu \frac{dv}{dy} \right) \quad (3.7b)$$

Perpindahan yang terjadi menurut arah y dan z akan menghasilkan persamaan:

$$\frac{dv}{dy} = \mu \frac{w}{r} \quad (3.8a)$$

$$N_\phi = -Et \frac{w}{r} \quad (3.8b)$$

PERSAMAAN MOMEN

Perubahan kelengkungan pada arah keliling tidak terjadi akibat bentuk yang simetris, sehingga bentuk kelengkungan arah y akan sama dengan $-\frac{d^2v}{dy^2}$,

Persyaratan persamaan momen yang akan digunakan sama dengan momen pada plat tipis elastis.

$$M_0 = \mu M_y \quad (3.9a)$$

$$M_y = -D \frac{d^2 w}{dy^2} \quad (3.9b)$$

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)}$$

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(D \frac{d^2 w}{dy^2} \right) + \frac{Et}{r^2} w = p_z \quad (3.10)$$

Persamaan gaya dan momen dimasukkan ke dalam persamaan 3.6 akan menghasilkan :

$$\frac{d^4 w}{dy^4} + 4\beta^4 w = \frac{p_z}{D} \quad \text{dengan} \quad \beta^4 = \frac{Et}{4r^2 D} = \frac{3(1-\mu^2)}{(rt)^2} \quad (3.11)$$

Penyelesaian umum persamaan di atas untuk perpindahan melingkar arah z adalah:

$$w = e^{\beta y} (C_1 \cos \beta y + C_2 \sin \beta y) + e^{-\beta y} (C_3 \cos \beta y + C_4 \sin \beta y) + f(y) \quad (3.12)$$

Dengan menggunakan notasi sebagai berikut :

$$\phi(\beta y) = e^{-\beta y} (\cos \beta y + \sin \beta y)$$

$$\psi(\beta y) = e^{-\beta y} (\cos \beta y - \sin \beta y)$$

$$\theta(\beta y) = e^{-\beta y} \cos \beta y$$

$$\zeta(\beta y) = e^{-\beta y} \sin \beta y$$

Maka persyaratan persamaan untuk deformasi melingkar arah z dan hasil penurunannya pada tiap ketinggian y di atas dasar dinding dapat ditentukan nilainya dari persamaan sederhana sebagai fungsi satuan momen dinding dasar M_0 dan satuan geser radial Q_0 .

$$\text{defleksi} = w = -\frac{1}{2\beta^3 D} [\beta M_0 \psi(\beta y) + Q_0 \theta(\beta y)] \quad (3.13a)$$

$$\text{rotasi} = \frac{dw}{dy} = \frac{1}{2\beta^2 D} [2\beta M_0 \theta(\beta y) + Q_0 \phi(\beta y)] \quad (3.13b)$$

Besarnya fungsi $\phi(\beta y)$, $\psi(\beta y)$, $\theta(\beta y)$, $\zeta(\beta y)$ di cantumkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Koefisien ϕ , ψ , ζ dan θ (Edward G. Nawy, 1995)

βy	Φ	ψ	θ	ζ
0	1.0000	1.0000	1.0000	0
0.1	0.9907	0.8100	0.9003	0.0903
0.2	0.9651	0.6398	0.8024	0.1627
0.3	0.9267	0.4888	0.7077	0.2189
0.4	0.8784	0.3564	0.6174	0.2610
0.5	0.8231	0.2415	0.5323	0.2908
0.6	0.7628	0.1431	0.4530	0.3099
0.7	0.6997	0.0599	0.3798	0.3199
0.8	0.6354	-0.0093	0.3131	0.3223
0.9	0.5712	-0.0657	0.2527	0.3185
1.0	0.5083	-0.1108	0.1988	0.3096
1.1	0.4476	-0.1457	0.1510	0.2967
1.2	0.3899	-0.1716	0.1091	0.2807
1.3	0.3355	-0.1897	0.0729	0.2626
1.4	0.2849	-0.2011	0.0419	0.2430
1.5	0.2384	-0.2068	0.0158	0.2226
1.6	0.1959	-0.2077	-0.0059	0.2018
1.7	0.1576	-0.2047	-0.0235	0.1812
1.8	0.1234	-0.1985	-0.0376	0.1610
1.9	0.0932	-0.1899	-0.0484	0.1415
2.0	0.0667	-0.1794	-0.0563	0.1230
2.1	0.0439	-0.1675	-0.0618	0.1057
2.2	0.0244	-0.1548	-0.0652	0.0895
2.3	0.0080	-0.1416	-0.0668	0.0748
2.4	-0.0056	-0.1282	-0.0669	0.0613
2.5	-0.0166	-0.1149	-0.0658	0.0492
2.6	-0.0254	-0.1019	-0.0636	0.0383
2.7	-0.0320	-0.0895	-0.0608	0.0287
2.8	-0.0369	-0.0777	-0.0573	0.0204
2.9	-0.0403	-0.0666	-0.0534	0.0132
3.0	-0.0423	-0.0563	-0.0493	0.0071
3.1	-0.0431	-0.0469	-0.0450	0.0019
3.2	-0.0431	-0.0383	-0.0407	-0.0024
3.3	-0.0422	-0.0306	-0.0364	-0.0058
3.4	-0.0408	-0.2237	-0.0323	-0.0085
3.5	-0.0389	-0.0177	-0.0283	-0.0106
3.6	-0.0366	-0.0124	-0.0245	-0.0121
3.7	-0.0341	-0.0079	-0.0210	-0.0131
3.8	-0.0314	-0.0040	-0.0177	-0.0137
3.9	-0.0286	-0.0008	-0.0147	-0.0140

Untuk tangki dengan ketebalan konstan, satuan gaya-gaya sepanjang tinggi dinding adalah

$$N_{\theta} = -Et \frac{w}{r} \quad (3.14a)$$

$$Q_y = -D \frac{d^3 w}{dy^3} \quad (3.14b)$$

$$M_{\theta} = \mu M_y \quad (3.14c)$$

$$M_y = -D \frac{d^2 w}{dy^2} \quad (3.14d)$$

Dari persamaan diatas dan persamaan sebelumnya, pernyataan persamaan untuk momen vertikal dan geser radial horisontal pada dinding dasar menjadi :

$$M_0 = (M_y)_{y=0} = \left(1 - \frac{1}{\beta H}\right) \frac{\gamma H r t}{\sqrt{12(1-\mu^2)}} \quad (3.15a)$$

$$Q_0 = (2\beta H - 1) \frac{\gamma r t}{\sqrt{12(1-\mu^2)}} \quad (3.15b)$$

Momen vertikal pada ketinggian y di atas dinding dasar

$$M_y = -\frac{1}{\beta} [\beta M_0 \phi(\beta y) + Q_0 \zeta(\beta y)] \quad (3.16)$$

Gaya geser cincin menyeimbang ΔQ_y yang bersesuaian dengan perpindahan radial w_y pada dinding ketinggian y diatas dasar saat tangki kosong dan pengaruh nilai Q_0 dan M_0 akibat beban cairan penuh. Gaya ini dapat dinyatakan:

$$\Delta Q_y = \frac{6(1-\mu^2)}{\beta^3 r t^2} [\beta M_0 \psi(\beta y) + Q_0 \theta(\beta y)] \quad (3.17)$$

Gaya geser cincin Q_y pada bidang y diatas dasar akan sama dengan perbedaan antara gaya cincin untuk dasar dinding bebas bergeser dan ΔQ_y .

$$Q_y = F - \Delta Q_y \quad (3.18)$$

3.4 Koefisien Selaput Cangkang Silindris

Perhitungan gaya-gaya dan perpindahan dapat pula dihitung secara mudah menggunakan suatu nilai koefisien. Perhitungan sebelumnya adalah menggunakan suatu rumus umum, rumus tersebut berasal dari penurunan teori selaput tipis cangkang silindris. Berbeda dengan cara menggunakan rumus umum yang menggunakan kesetimbangan gaya-gaya pada elemen, metode nilai koefisien menggunakan asumsi dinding beton tangki sebagai suatu balok *cantilever*. Dengan demikian, momen lentur pada tiap level ketinggian di atas dasar tangki silindris dapat dihitung dari rumusan momen lentur untuk balok *cantilever*. Nilai koefisien ini disebut koefisien selaput (*membrane coefficient*), secara umum adalah suatu besaran yang merupakan fungsi ukuran geometris tangki. Untuk mendapatkan nilai momen lentur dilakukan dengan mengalikan harga momen *cantilever* dengan nilai koefisien selaput. Rumusan dasar momen untuk wadah melingkar atau tangki dapat dipisah menjadi dua bagian yaitu faktor H^2/dt yang disebut geometri dan γH^3 atau pH^2 yang disebut efek *cantilever* untuk pembebanan cairan dan gas. Momen berjarak y dari dasar tangki (M_y) dapat dinyatakan :

$$\begin{aligned} M_y &= \text{nilai varian} \times \text{faktor bentuk} \times \text{faktor cantilever} \\ &= \left[\text{varian} \times \frac{H^2}{dt} \right] \times \gamma H^3 \times = C\gamma H^3 \end{aligned} \quad (3.19)$$

Penggunaan koefisien selaput untuk penyelesaian gaya lingkaran dan momen tangki akan memberikan hasil yang mendekati dengan penyelesaian menggunakan persamaan umum teori selaput cangkang silindris. Dalam hal ini nilai koefisien yang dipakai adalah pada kondisi tumpuan dasar jepit penuh dan dinding bagian atas tidak ada tumpuan serta pembebanan segitiga. Nilai koefisien-koefisien ini selanjutnya dapat dilihat pada tabel di lembar lampiran 5.

BAB IV

ANALISIS DAN PERENCANAAN

4.1 Pengertian

Analisis yang dilakukan dimaksudkan untuk mendapatkan tegangan–tegangan yang terjadi pada struktur tangki beton prategang dengan ukuran dan bentuk penampang yang telah ditentukan. Dan analisis yang digunakan pada tangki air beton prategang ini di asumsikan jepit penuh dan jepit sebagian (*fixed partial*).

Sedangkan perencanaan adalah proses merencanakan dan perhitungan tangki air beton prategang silindris berdasarkan kekuatan penampang yang direncanakan dapat menahan dengan aman perilaku struktur yang bekerja.

4.2 Gaya Tarik Cincin Melingkar

Tangki yang direncanakan merupakan penampung air, sehingga tekanan yang ditimbulkan terhadap dinding sebesar γH . Gaya tarik cincin melingkar yang timbul sesuai dengan kondisi sambungan pada dasar dinding. Pada kondisi sambungan jepit dan besarnya diameter yang berbeda dengan material pengisi yang sama, besarnya gaya tarik cincin melingkar dengan menggunakan koefisien membran adalah :

$$F = Coef. \gamma H r, \text{ persatuan melingkar} \quad (4.1)$$

Menggunakan koefisien membran selain langsung didapat besarnya gaya tarik cincin melingkar, juga letak atau ketinggian gaya tarik cincin maksimum dari dasar dinding.

Besarnya gaya tarik cincin melingkar jika dihitung menggunakan rumus umum akan menghasilkan nilai yang sama. Perhitungan dimulai dengan mencari gaya cincin satuan untuk kondisi dasar dinding bebas bergeser (*freely sliding base*) $F = \gamma Hr$, kemudian menentukan ketinggian yang akan dicari gaya tarik cincinnya. Gaya geser penyeimbang ΔQ_y (persamaan 3.17) selanjutnya dicari dengan angka perbandingan Poisson $\mu=0.2$ dan ditentukan selisihnya dengan F sehingga menghasilkan Q_y (persamaan 3.18). Nilai Q_y ini merupakan gaya tarik cincin melingkar yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan rumus umum. Sedangkan menentukan letak tinggi dilakukan *trial*, sehingga di dapat gaya tarik cincin melingkar maksimum.

Gaya cincin selain dihitung pada suatu ketinggian diatas dasar, juga dihitung besarnya gaya cincin melingkar pada dasar dinding itu sendiri Q_0 dari persamaan 3.15b.

4.3 Momen Vertikal Dinding

Nilai momen lentur maksimum terjadi pada tangki dengan kondisi dasar jepit pada dasar dinding. Sedangkan tarikan cincin maksimum terjadi untuk kondisi dasar bebas pada dinding bagian atas. Pada dinding tangki yang mempunyai bantalan karet (*neoprene*) akan mempunyai momen lentur yang lebih kecil akibat gaya geser radial yang terjadi pada sambungan. Nilai momen vertikal akibat geser radial tersebut terjadi pada ketinggian y diatas dasar sesuai persamaan 3.16.

4.3.1 Momen vertikal dinding kondisi dasar jepit penuh

Dinding dengan kondisi dasar jepit berarti terkekang penuh terhadap rotasi, juga tidak terjadi perpindahan (*displacement*) pada bagian atas maupun bawah dinding. Hal tersebut dapat dicapai apabila bagian bawah dinding monolit terhadap plat dasar dan mempunyai kekakuan yang sama. Tangki dengan kondisi demikian merupakan suatu struktur sistem tak tentu yang sulit dicapai secara penuh dan tidak ekonomis jika plat dasar memiliki luas yang lebar. Pengaruh kekangan plat dasar horisontal akan mengubah gaya cincin dan tambahan momen pada bagian dinding vertikal.

Prategang vertikal yang dibutuhkan pada kondisi jepit akan lebih besar daripada jenis kondisi dasar dinding yang lain. Hal tersebut terjadi karena untuk mengimbangi tingginya tegangan tarik pada dasar dinding sisi luar akibat momen negatif dan mengimbangi momen positif yang sedikit berada di atasnya. Prategang vertikal pada tangki adalah mahal mengingat kebutuhan pengangkuran bagian atas dan bawah tangki. Untuk mengurangi tingkat prategang vertikal yang dibutuhkan, maka dilakukan desain tambahan untuk mengurangi biaya total. Desain tambahan yang dapat dilakukan adalah dengan penulangan baja lunak pada bagian bawah dinding. Penulangan tersebut akan mengurangi besarnya prategang dan mengurangi pengaruh momen negatif.

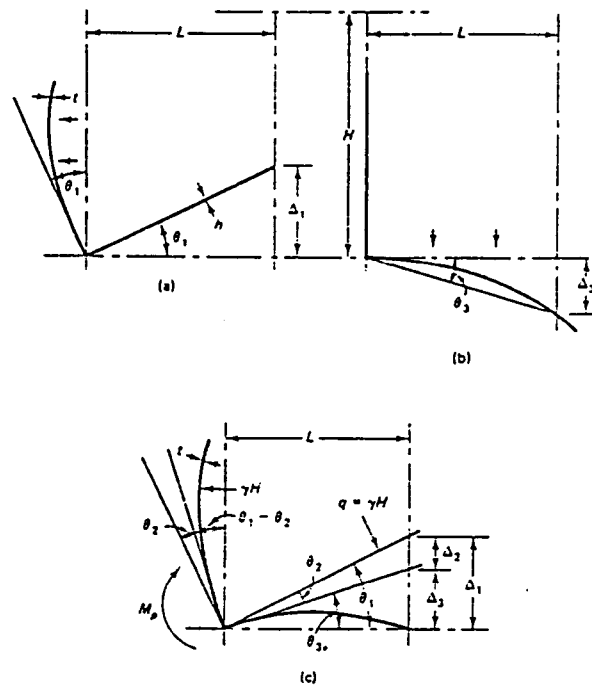
4.3.2 Momen vertikal dinding kondisi dasar jepit sebagian

Dasar dinding tangki mempunyai kondisi *joint* bermacam-macam, salah satunya adalah kondisi dengan jepit parsial atau sebagian. Jepit sebagian digunakan karena mengingat adanya perlawanan rotasi di dasar dinding pada

kondisi jepit penuh sulit dicapai. Pada kondisi jepit penuh perlawanan rotasi di dasar dinding sulit dicapai karena :

- Harus menyediakan kekakuan yang dibutuhkan pada pertemuan lantai dan dinding tangki yang benar-benar kaku.
- Gerakan tanah di bawah dinding tangki yang menyebabkan rotasi pada dasar dinding tangki.
- Kebutuhan peletakkan angkur untuk prategang vertikal dan prategang melingkar horisontal pada bagian dasar dinding, karena dinding dan cincin plat lantai dasar ditegangkan secara terpisah.

Karena luas plat lantai tangki yang besar maka pengaruh perlawanan dan rotasi terbatas pada bagian lantai *cantilever* yang sempit dari dinding bawah tangki. Bentuk lantai dasar *cantilever* yang merupakan suatu pendukung tangki dapat digambarkan sebagai tapak kaki manusia atau *toe cantilever*. Pemilihan atau penentuan lebar *toe cantilever* atau cincin dasar yang tepat dengan tanpa mengasumsi derajat kekakuan dasar dinding, sebenarnya dapat memberikan nilai kekakuan yang tepat dipakai untuk desain. Lebar *toe cantilever* ditentukan agar tidak terjadi penurunan di bawah dasar tangki, seperti yang terjadi pada *cantilever* besar. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 bawah ini, yaitu *deformasi dan rotasi* pada cincin dasar yang telah ditentukan lebarnya dengan kondisi dasar dinding bebas, jepit penuh dan superposisi dari keduanya. Superposisi itu secara teoritis merupakan rumusan untuk menentukan lebar kritis *toe cantilever*.



Gambar 4.1 Deformasi dan rotasi dasar dinding
 (a) dasar dinding bebas.
 (b) dasar dinding jepit penuh. (c) superposisi a dan b.
 (Edward G. Nawy, 1995)

Momen yang timbul ada dua macam dikarenakan adanya penggabungan dua kondisi yaitu jepit dan jepit parsial.

$$M_p = \frac{\gamma H L^2}{2} \quad (4.2)$$

$$M_0 = C \gamma H^3 \quad (4.3)$$

Seperti yang terjadi pada momen, pada defleksi terjadi pembebanan akibat beban vertikal terhadap *cantilever*. Kesetimbangan yang didapatkan dari defleksi ini ditambah dengan suatu asumsi $\mu = 0,2$ dan $\beta = 2/\sqrt{dt}$ akan didapatkan nilai lebar *toe cantilever* yaitu:

$$L^2 = \frac{2CH^3}{1 + \frac{(t/h)^3}{(dt)^{1/2}} (L=1)} \quad (4.4)$$

$$S = \frac{(t/h)^3}{(dt)^{1/2}} \quad (4.5)$$

Persamaan di atas dapat juga disebut faktor pengubah atau *modifying factor* untuk jepit sebagian. Faktor ini menggambarkan perbedaan antara momen jepit penuh M_0 dan momen jepit sebagian M_p , selain itu faktor ini biasanya mempunyai nilai yang kecil. Untuk memudahkan dalam mengubah faktor S, maka harga L pada penyebut persamaan 4.4 diasumsikan =1.

$$M_p = M_0(1 - s) \quad (4.6)$$

Notasi-notasi yang terdapat dalam gambar dan rumus-rumus yang dipakai adalah sebagai berikut:

M_0 = momen jepit penuh pada dasar dinding dengan pembebanan cairan

M_p = momen jepit sebagian pada dasar dinding yang disebabkan oleh pembebanan *toe cantilever*

θ_1 = rotasi bebas pada dasar dinding bila sendi, yang sesuai dengan penurunan Δ_1 pada *toe* kaku tak terbebani

θ_2 = rotasi pada dasar dinding akibat perlawanan momen M_p , yang sesuai dengan penurunan Δ_2 pada *toe* secara langsung kondisi yang tak terbebani

θ_3 = rotasi bagian tepi pada pengaku *toe* sebagai *cantilever* di bawah beban vertikal, yang sesuai dengan penurunan Δ_3 , pada tepi *toe* akibat beban vertikal

L = lebar *toe* pengaku

Q = beban satuan yang dipakai *toe* pengaku = γH

H = ketinggian tangki

h = tebal plat dasar tangki

t = tebal dinding

d = diameter

4.4 Sistem Prategang

Sistem prategang yang digunakan untuk menyelesaikan perhitungan dinding tangki adalah dengan pelilitan tendon atau prategang eksternal. Dengan sistem prategang tersebut maka dibutuhkan pelindung bagi tendon. Pelindung yang digunakan adalah *shotcrete* dengan ketebalan minimum 1 inchi (25 mm).

Dalam desain baja prategang horisontal dan vertikal tegangan-tegangan yang terjadi pada baja dibatasi oleh tegangan ijin maksimum, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam lampiran 4. Tegangan baja yang terjadi dibedakan yaitu tegangan pada saat penarikan tendon, saat pengangkuran dan pada saat layan. Sesuai dengan sistem prategang yang digunakan, maka sistem tersebut termasuk prategang pasca tarik. Dapat diambil contoh untuk pengangkuran tendon sesaat setelah tendon diangkur adalah sebesar $0.70f_{pu}$.

Kriteria untuk desain tangki prategang biasanya bervariasi, yaitu dengan cara menyediakan sedikit tekanan sisa (*residual compression*). Cara yang lain,

yaitu dengan membatasi besarnya tekanan sisa minimal 200 psi (1.4 MPa) pada dinding beton setelah semua prategang hilang atau pada saat layan. Tekanan sisa merupakan selisih yang terjadi akibat adanya tekanan internal yang menimbulkan tegangan karena beban cairan yang dipikul oleh luas transformasi, dan gaya prategang efektif pada beton. Tekanan sisa berfungsi sebagai batas keamanan tambahan terhadap tarikan yang dapat dipikul oleh beton. Batas keamanan tersebut harus disediakan secara cukup terhadap adanya retak yang terjadi, karena kemampuan-layanan (*serviceability*) akan berkurang segera setelah beton mulai retak.

Retak yang terjadi pada tangki bagian dalam dapat timbul pada saat tangki kosong. Oleh karena itu penyediaan tekanan sisa sangat diperlukan. Selain itu pemakaian prategang vertikal juga berperan untuk mengurangi retak pada bagian dalam tangki. Peletakan tendon prategang vertikal dapat diletakkan pada tengah-tengah tebal dinding beton atau sejarak tertentu dari tengah-tengah tebal dinding ke arah luar dinding tangki, sehingga timbul eksentrisitas yang akan mengurangi besarnya tegangan tarik dinding tangki bagian dalam.

Tegangan yang terjadi pada tampang dinding tangki akan berbeda dalam kondisi tangki penuh dan kosong. Selain mempunyai tegangan ijin desak aksial sisa (*residu*) minimum sebesar 200 Psi, tegangan tarik maksimum pada bagian dalam juga dibatasi sebesar $3\sqrt{f'_c}$. Ketentuan yang lain dapat dilihat pada lampiran 5.

4.5 Kekuatan Momen Nominal

Pada dinding tangki dilakukan cek terhadap kekuatan momen nominal berdasarkan momen dinding vertikal maksimum. Selanjutnya menentukan momen ultimit menggunakan faktor beban. Persyaratan faktor beban yang dipakai untuk tangki air adalah 1,3 dikalikan dengan momen dinding vertikal. Perencanaan penampang tangki dengan ukuran yang telah ditetapkan dengan kekuatan yang tersedia harus memiliki kekuatan yang lebih besar dari momen ultimit beban-bebannya atau kekuatan yang diperlukan. Faktor reduksi kekuatan yang dipakai sama dengan 0,9 sehingga dapat di tulis sebagai berikut :

$$M_{n \text{ perlu}} = \frac{M_u}{0,9} \quad (4.7)$$

Momen nominal penampang ini dapat dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$M_{n \text{ tersedia}} = A_{ps} f_{ps} \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (4.8)$$

f_{ps} = tegangan tarik dalam tulangan prategang pada saat M_n dicapai

4.6 Transfer Gaya pada Joint

Gaya keliling dinding pada dasar dinding Q' per satuan melingkar tanpa adanya rotasi akan menyebabkan deformasi dan perpindahan (*displacement*). Nilai deformasi satuan cincin dasar dinding melingkar didapat dari persamaan umum rotasi lentur cangkang silindris. Sedangkan pada plat dasar juga terjadi perpindahan keliling satuan yang disebabkan oleh gaya keliling Q_2 per satuan melingkar. Besar gaya keliling tersebut adalah :

$$Q' = 2.2E \left(\frac{t}{d} \right)^{3/2} \quad (4.9)$$

$$Q_2 = 2.5E \left(\frac{h}{d_o} \right) \quad (4.10)$$

Perbandingan total gaya $Q'+Q_2$ yang diterima dinding atau perbandingan gaya horisontal yang ditransfer dari plat dasar ke dinding tangki dapat diambil sebesar $R = \frac{100}{S_1} \%$, hal ini terjadi apabila harga S_1 adalah kecil dengan nilai S_1

sebesar:

$$S_1 = Q_2/Q'$$

$$S_1 = 1,1 \left(\frac{h}{t} \right) \left(\frac{d}{t} \right)^{1/2} \quad (4.11)$$

Total gaya yang digunakan pada pertemuan antara dinding dan plat dasar terdistribusikan pada plat dasar dan dinding itu sendiri menurut perbandingan energi relatif yang dibutuhkan untuk menghasilkan deformasi tiap komponennya.

Distribusi energi prategang antara dinding cincin dan plat dasar adalah fungsi kekakuan keliling relatif komponen struktur itu sendiri, sehingga selanjutnya diperlukan penentuan kekakuan relatif. Kekakuan relatif dinding terhadap dasar dinyatakan dalam istilah gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu deformasi satuan pada dinding dan plat dasar. Respon kekakuan cincin dasar pada tangki prategang terhadap tekanan keliling menurut bidangnya adalah lebih besar dari pada respon dinding silindris. Hal tersebut dalam kondisi tangki dibawah pembebanan tekanan internal keliling.

4.7 Evaluasi Terhadap Persyaratan Ketebalan Dinding dan Lendutan

Perencanaan ketebalan dinding tangki setelah didapatkan berdasarkan perhitungan-perhitungan di depan kemudian dicek ketebalan tebal dinding intinya menggunakan rumus :

$$t_{co} = \frac{F_i}{f_{ci}} \quad (4.12)$$

Tabel 4.1 Ketebalan dinding minimum (Edward G. Nawy, 1995)

Precast Walls

Type of tank	Minimum wall thickness
Tanks with vertical pretensioning and external circumferential prestress	5 in.
Tanks with vertical pretensioning and internal circumferential prestress	6 in.
Tanks with vertical post-tensioning and internal circumferential prestress	7 in.

Situ-Cast Walls

Type of tank	Minimum wall thickness
Shotcrete-steel diaphragm tanks	3½ in.
Tanks without vertical prestressing	8 in.
Tanks with vertical prestressing	7 in.

Tebal dinding inti ini tidak kurang dari ketebalan dinding minimum seperti yang tercantum dalam tabel 4.1. Apabila setelah dicek dalam perhitungan ternyata besarnya kurang dari persyaratan maka digunakan tebal dinding minimum. Defleksi radial elastis pada dinding tak terkekang saat awal akibat prategang awal adalah :

$$\Delta_i = \frac{F_i r}{t_{co} E_c} \quad (4.13)$$



$$E_c = 57000 \sqrt{f'_c} \text{ psi}$$

F_i = gaya melingkar awal

$$F_i = \gamma r (H - y) \frac{f_{pi}}{f_{ps}} \quad (4.14)$$

$$f_{pi} = 0,70 f_{pu}$$

$$f_{ps} = 0,85 f_{pu}$$

Defleksi radial akhir Δ_f dapat mencapai 1,5 – 3 kali dari harga defleksi radial awal. Pada kondisi normal besarnya defleksi radial akhir yang diijinkan dapat dihitung dengan mengalikan harga defleksi awal dengan 1,7 menjadi : $\Delta_f = 1,7\Delta_i$.

BAB V

PERHITUNGAN PERENCANAAN

5.1 Umum

Untuk memperjelas uraian yang telah diungkapkan pada bab-bab sebelumnya, pada bagian ini akan diberikan suatu aplikasi perencanaan tangki air beton prategang dengan kondisi dasar dinding jepit penuh dan jepit sebagian. Pembahasan yang akan dilakukan meliputi perhitungan kapasitas penampang tangki terhadap perilaku struktur.

Analisa perencanaan tangki air beton prategang dengan variasi diameter 50 ft, 75 ft, 100 ft, 125 ft, 150 ft, 175 ft, 200 ft, dan tekanan sisa sebesar 200 psi. Perhitungan gaya cincin dan momen vertikal menggunakan rumus umum dan koefisien membran. Sedangkan untuk momen nominal dan perhitungan selanjutnya menggunakan koefisien membran.

5.2 Perencanaan Dinding Tangki Beton Prategang

- Diketahui :

Suatu struktur tangki beton prategang kondisi dasar dinding jepit penuh, dinding atas tanpa tumpuan. Sistem prategang melingkar eksternal pasca tarik cor ditempat menggunakan *slipform*. Tinggi dinding, $H = 20$ ft.

Asumsi ketebalan dinding, $t = 10$ in = 0.833 ft.

Ketebalan lantai, $h = 12$ in.

- Material yang digunakan :

- Beton :

$$f'_c = 40 \text{ MPa} = 5801,5098 \text{ psi}$$

$$f'_{ci} = 0,75 f'_c = 30 \text{ MPa} = 4351,1323 \text{ psi}$$

$$\text{Berat jenis beton} = 24 \text{ KN/m}^3$$

- Baja :

Digunakan tendon prategang 7 kawat strand $\phi \frac{1}{2} \text{ in} = 12,7 \text{ mm}$

$$f_{pu} = 250 \text{ Ksi}$$

$$f_{py} = 0,85 f_{pu} \text{ untuk jenis strand } \textit{Stress Relieved} \text{ (Nawy, 1995)}$$

$$f_{pi} = 0,70 f_{pu} \text{ untuk beton pasca tarik (Nawy, 1995)}$$

- Pembebanan :

Beban yang diperhitungkan hanya beban mati akibat material pengisi tangki yaitu cairan.

$$\text{BJ cairan} = 1000 \text{ kg/m}^3 = 62,4 \text{ lb/ft}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/dt}^2$$

- Prategang vertikal 50.000 lb/ft, dengan tendon sentris
- Kehilangan gaya prategang 20%
- Perbandingan Poisson, $\mu = 0,2$

1. Berdasarkan Rumus Umum

- Penyelesaian dengan $d = 50 \text{ ft}$.

A. Perhitungan gaya cincin dan momen dasar

- Momen pada dasar dinding.

$$r = \frac{1}{2} \cdot 50 = 25 \text{ ft}$$

$$\beta = \frac{[3(1-\mu^2)]^{1/4}}{(r \cdot t)^{1/2}} = \frac{[3(1-0,2^2)]^{1/4}}{(25 \cdot 0,8333)^{1/2}} = 0,2854$$

$$\begin{aligned} M_0 &= -\left(1 - \frac{1}{\beta H}\right) \frac{\gamma H r t}{\sqrt{12(1-\mu^2)}} \\ &= -\left(1 - \frac{1}{0,2854 \cdot 20}\right) \frac{62,4 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 0,8333}{\sqrt{12(1-0,2^2)}} \\ &= -6318,1104 \text{ ft} \cdot \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \text{ (per ft melingkar)} \end{aligned}$$

- Gaya cincin melingkar dasar dinding.

$$\begin{aligned} Q_0 &= (2\beta H - 1) \frac{\gamma r t}{\sqrt{12(1-\mu^2)}} \\ &= (2 \cdot 0,2854 \cdot 20 - 1) \frac{62,4 \cdot 25 \cdot 0,8333}{\sqrt{12(1-0,2^2)}} \\ &= 3989,5731 \text{ lb} / \text{ft} \text{ (per ft melingkar)} \end{aligned}$$

- Momen vertikal dan gaya cincin melingkar.

- 0,0 H dari tepi atas

$$y = H - 0,0H$$

$$= 20 \text{ ft}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 20 = 5,7080 \approx 5,7$$

$$\text{dari tabel 3.1 : } \Phi(\beta y) = 0,001$$

$$\Psi(\beta y) = 0,0046$$

$$\zeta(\beta y) = -0,0018$$

$$\theta(\beta y) = 0,0028$$

$$M_y = \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)]$$

$$= 0 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft} \text{ (pada tepi atas dinding)}$$

$$F' = \gamma(H - y)r$$

$$= 62,4(20 - 20)25$$

$$= 0 \text{ lb}/\text{ft}$$

$$\Delta Q_y = \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)]$$

$$= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)0,0046$$

$$+ 3989,3369 \cdot 0,0028]$$

$$= 34,1972 \text{ lb}/\text{ft}$$

$$Q_y = F - \Delta Q_y$$

$$= 0 - 34,1972$$

$$= -34,1972 \text{ lb}/\text{ft}$$

b. 0,1 H dari tepi atas

$$y = H - 0,1H$$

$$= 20 - 0,1 \cdot 20 = 18 \text{ ft}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 18 = 5,1372 \approx 5,1$$

dari tabel 3.1 : $\Phi(\beta y) = -0,0033$ $\Psi(\beta y) = 0,0080$

$$\zeta(\beta y) = -0,0057$$

$$\theta(\beta y) = 0,0023$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379)(-0,0033) + 3989,3369(-0,0057)] \\
 &= -58,8256 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F' &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 18)25 \\
 &= 3120 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)0,008 \\
 &\quad + 3989,3369 \cdot 0,0023] \\
 &= -62,4353 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 3120 - (-62,4353) \\
 &= 3182,4353 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

c. 0,2H dari tepi atas

$$\begin{aligned}
 y &= H - 0,2H \\
 &= 20 - 0,2 \cdot 20 = 16 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 16 = 4,5664 \approx 4,6$$

dari tabel 3.1 : $\Phi(\beta y) = -0,0111$ $\psi(\beta y) = 0,0084$

$\zeta(\beta y) = -0,0100$ $\theta(\beta y) = 0,0019$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379)(-0,0111) + 3989,3369(-0,01)] \\
 &= -69,6502 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F' &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 16)25 \\
 &= 6240 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)0,0084 \\
 &\quad + 3989,3369 \cdot 0,0019] \\
 &= -89,9904 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 6240 - (-89,9904) \\
 &= 6329,9904 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

d. 0,3H dari titik atas

$$\begin{aligned}
 y &= H - 0,3H \\
 &= 20 - 0,3 \cdot 20 = 14 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 14 = 3,9956 \approx 4$$

$$\text{dari tabel 3.1 : } \Phi(\beta y) = -0,0258 \quad \psi(\beta y) = -0,0422$$

$$\zeta(\beta y) = -0,0139 \quad \theta(\beta y) = 0,0058$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379)(-0,0258) + 3989,3369(-0,0139)] \\
 &= -31,2887 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F' &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 14)25 \\
 &= 9360 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)(-0,0422) \\
 &\quad + 3989,3369(-0,0058)] \\
 &= -610,0644 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 9360 + 610,0644 \\
 &= 9970,0644 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

e. 0,4H dari titik atas

$$\begin{aligned}
 y &= H - 0,4H \\
 &= 20 - 0,4 \cdot 20 = 12 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 12 = 3,4248 \approx 3,4$$

dari tabel 3.1 : $\Phi(\beta y) = -0,0408$

$$\psi(\beta y) = -0,0237$$

$$\zeta(\beta y) = -0,0085$$

$$\theta(\beta y) = -0,0232$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379)(-0,0408) + 3989,3369(-0,0085)] \\
 &= 138,9648 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 12)25 \\
 &= 12480 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)(-0,0237) \\
 &\quad + 3989,3369(-0,0232)] \\
 &= -592,4537 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 12480 + 592,4537 \\
 &= 13072,4537 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

f. 0,5H dari titik atas

$$\begin{aligned}
 y &= H - 0,5H \\
 &= 20 - 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 10 = 2,854 \approx 2,9$$

$$\text{dari tabel 3.1 : } \Phi(\beta y) = -0,0403 \quad \psi(\beta y) = -0,0666$$

$$\zeta(\beta y) = -0,0132 \quad \theta(\beta y) = -0,0534$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379)(-0,0403) + 3989,3369(-0,0132)] \\
 &= 439,1311 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F' &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 10)25 \\
 &= 15600 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)(-0,0666) \\
 &\quad + 3989,3369(-0,0534)] \\
 &= -1105,2787 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 15600 + 1105,2787 \\
 &= 16705,2787 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

g. 0,6H dari titik atas

$$\begin{aligned}
 y &= H - 0,6H \\
 &= 20 - 0,6 \cdot 20 = 8 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 8 = 2,832 \approx 2,3$$

$$\text{dari tabel 3.1 : } \Phi(\beta y) = 0,0080 \quad \psi(\beta y) = -0,1416$$

$$\zeta(\beta y) = 0,0748 \quad \theta(\beta y) = -0,0669$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379)0,0080 + 3989,3369 \cdot 0,0748] \\
 &= 995,0190 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F' &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 8)25 \\
 &= 18720 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)(-0,1416) \\
 &\quad + 3989,3369(-0,0669)] \\
 &= -137,4354 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 18720 + 137,4354 \\
 &= 18857,4354 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

h. 0,7H dari titik atas

$$\begin{aligned}
 y &= H - 0,7H \\
 &= 20 - 0,7 \cdot 20 = 6 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 6 = 1,7124 \approx 1,7$$

$$\text{dari tabel 3.1 : } \Phi(\beta y) = 0,1576 \quad \psi(\beta y) = 0,2849$$

$$\zeta(\beta y) = 0,1812 \quad \theta(\beta y) = 0,2430$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379)0,1576 + 3989,3369 \cdot 0,1812] \\
 &= 1537,1025 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F' &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 6)25 \\
 &= 21840 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)0,2849 \\
 &\quad + 3989,3369 \cdot 0,2430] \\
 &= 3263,0494 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 21840 + 3263,0494 \\
 &= 18576,9506 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

i. 0,8H dari titik atas

$$\begin{aligned}
 y &= H - 0,8H \\
 &= 20 - 0,8 \cdot 20 = 4 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 4 = 1,1416 \approx 1,1$$

$$\text{dari tabel 3.1 : } \Phi(\beta y) = 0,4476 \qquad \psi(\beta y) = 0,5712$$

$$\zeta(\beta y) = 0,2967 \qquad \theta(\beta y) = 0,3185$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379)0,4476 + 3989,3369 \cdot 0,2967] \\
 &= 1319,3242 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F' &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 4)25 \\
 &= 24960 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379)0,5712 \\
 &\quad + 3989,3369 \cdot 0,3185] \\
 &= 10289,3898 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 24960 - 1089,4283 \\
 &= 14670,6102 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

j. 0,9H dari titik atas

$$\begin{aligned}
 y &= H - 0,9H \\
 &= 20 - 0,9 \cdot 20 = 2 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\beta y = 0,2854 \cdot 2 = 0,5708 \approx 0,6$$

dari tabel 3.1 : $\Phi(\beta y) = 0,7628$ $\psi(\beta y) = 0,1431$

$\zeta(\beta y) = 0,3099$ $\theta(\beta y) = 0,4530$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379) \cdot 0,7628 + 3989,3369 \cdot 0,3099] \\
 &= -487,6329 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F' &= \gamma(H - y)r \\
 &= 62,4(20 - 2)25 \\
 &= 28080 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_y &= \frac{6(1 - \mu^2)}{\beta^3 \cdot r \cdot t} [\beta \cdot M_0 \cdot \Psi(\beta y) + Q_0 \cdot \theta(\beta y)] \\
 &= \frac{6(1 - 0,2^2)}{0,2854^3 \cdot 25 \cdot 0,8333} [0,2854(-6318,0379) \cdot 0,1431 \\
 &\quad + 3989,3369 \cdot 0,4530] \\
 &= -18423,1415 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_y &= F - \Delta Q_y \\
 &= 28080 + 18423,1415 \\
 &= 9656,8585 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

k. 1,0H dari titik atas (dasar dinding)

$$y = 0$$

$$\beta y = 0$$

dari tabel 3.1 : $\Phi(\beta y) = 1$ $\Psi(\beta y) = 1$

$$\zeta(\beta y) = 0 \quad \theta(\beta y) = 0$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{\beta} [\beta \cdot M_0 \cdot \Phi(\beta y) + Q_0 \cdot \zeta(\beta y)] \\
 &= \frac{1}{0,2854} [0,2854(-6318,0379) + 3989,3369 \cdot 0] \\
 &= -6318,1104 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{ft} \\
 Q_{y(y=0)} &= Q_0 = 3989,5731 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan pengaruh prategang dengan menggunakan tekanan sisa (*residu*), sebesar $f_{cv} = 200$ psi.

- Gaya cincin melingkar akibat tekanan sisa.

$$Q_{yr} = Q_y + (f_{cv} \times t \times 1 \text{ ft.})$$

a. Pada 0,0H dengan $Q_y = -34,8028$ lb/ft.

$$\begin{aligned}
 Q_{yr} &= -34,8028 + (200 \cdot 10 \cdot 12) \\
 &= 23965,1972 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

b. Pada 0,1H dengan $Q_y = 3182,4353$ lb/ft.

$$\begin{aligned}
 Q_{yr} &= 3182,4353 + (200 \cdot 10 \cdot 12) \\
 &= 27182,4353 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

c. Pada 0,2H dengan $Q_y = 6329,9904$ lb/ft.

$$\begin{aligned}
 Q_{yr} &= 6329,9904 + (200 \cdot 10 \cdot 12) \\
 &= 30329,9904 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

d. Pada 0,3H dengan $Q_y = 9970,0644$ lb/ft.

$$\begin{aligned}
 Q_{yr} &= 9970,0644 + (200 \cdot 10 \cdot 12) \\
 &= 33970,0644 \text{ lb}/\text{ft}
 \end{aligned}$$

e. Pada 0,4H dengan $Q_y = 13072,4537$ lb/ft.

$$Q_{yr} = 13072,4537 + (200.10.12)$$

$$= 37072,4537 \text{ lb/ft}$$

f. Pada 0,5H dengan $Q_y = 16705,2787 \text{ lb/ft}$.

$$Q_{yr} = 16705,2787 + (200.10.12)$$

$$= 4075,2787 \text{ lb/ft}$$

g. Pada 0,6H dengan $Q_y = 18857,4354 \text{ lb/ft}$.

$$Q_{yr} = 18857,4354 + (200.10.12)$$

$$= 42857,4354 \text{ lb/ft}$$

h. Pada 0,7H dengan $Q_y = 18565,2543 \text{ lb/ft}$.

$$Q_{yr} = 18565,2543 + (200.10.12)$$

$$= 42567,2543 \text{ lb/ft}$$

i. Pada 0,8H dengan $Q_y = 14671,6102 \text{ lb/ft}$.

$$Q_{yr} = 14671,6102 + (200.10.12)$$

$$= 38671,6102 \text{ lb/ft}$$

j. Pada 0,9H dengan $Q_y = 9656,8585 \text{ lb/ft}$.

$$Q_{yr} = 9656,8585 + (200.10.12)$$

$$= 33656.8585 \text{ lb/ft}$$

k. Pada 1,0H dengan $Q_y = 3989,3369 \text{ lb/ft}$.

$$Q_{yr} = 3989,3369 + (200.10.12)$$

$$= 27989,3369 \text{ lb/ft}$$

- Momen vertikal akibat tekanan sisa.

$$M_{yr} = M_y \times \left(\frac{Q_{yr} \text{ maks.}}{Q_y \text{ maks.}} \right)$$

a. Pada 0,1H dengan $M_y = -58,8256 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= -58,8256 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= -133,6933 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

b. Pada 0,2H dengan $M_y = -69,6502 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= -69,6502 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= -158,2946 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

c. Pada 0,3H dengan $M_y = -31,2887 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= -31,2887 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= -71,1102 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

d. Pada 0,4H dengan $M_y = 138,9648 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= 138,9648 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= 315,8264 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

e. Pada 0,5H dengan $M_y = 439,1311 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= 439,1311 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= 998,0166 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

f. Pada 0,6H dengan $M_y = 995,0190 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= 995,0190 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= 2261,3873 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

g. Pada 0,7H dengan $M_y = 1537,1025 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= 1537,1025 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= 3493,3844 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

h. Pada 0,8H dengan $M_y = 1319,3242 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= 1319,3242 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= 2998,4380 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

i. Pada 0,9H dengan $M_y = -487,6329 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= -487,6329 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= -1108,2470 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

j. Pada 1,0H dengan $M_y = -6318,1104 \text{ ft. lb/ft}$

$$\begin{aligned} M_{yr} &= -6318,114 \times \left(\frac{42857,4354}{18857,4354} \right) \\ &= -14359,2170 \text{ ft. lb/ft} \end{aligned}$$

C. Perhitungan tegangan-tegangan dinding.

- Tegangan beton maksimum pada dinding

Momen vertikal positif maksimum ($M_{y \text{ maks}}$) untuk $d=50$ ft terjadi pada $0,7H$. Prategang vertikal $P_v=50.000$ psi dan tekanan sisa $f_{cv}=200$ psi.

$$M_{y \text{ maks}} = 1537,1025 \text{ ft. lb/ft}$$

$$M_{yr \text{ maks}} = 3493,3844 \text{ ft. lb/ft}$$

$$f = \frac{M}{S} = \frac{M}{\frac{1}{6}b^2h}$$

tegangan – tegangan ijin beton :

$$\text{- serat tarik : } 3\sqrt{f'_c} = 3\sqrt{5801,5098} = 288,5029 \text{ psi}$$

$$\text{- serat tekan : } 0,45 f'_c = 0,45 \cdot 5801,5098 = 2610,6794 \text{ psi}$$

akibat momen prategang horizontal :

$$f_h = \frac{3493,3844 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 209,6026 \text{ psi}$$

akibat cairan :

$$f_l = \frac{1537,1025 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 92,226 \text{ psi}$$

akibat prategangan vertikal :

$$f_v = \frac{P_v}{A_c} = \frac{50.000}{12 \cdot 10} = -416,6667 \text{ psi}$$

untuk tangki kosong :

$$f_t = f_h + f_v$$

$$f_1 = 209,6026 - 416,6667$$

$$= -207,0641 \text{ psi} < 228,5029 \text{ psi}$$

$$f_2 = -209,6026 - 416,6667$$

$$= -616,2693 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi}$$

untuk tangki penuh :

$$f_t = f_h + f_c + f_v$$

$$f_1 = 209,6026 - 92,226 - 416,6667$$

$$= -299,2901 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi}$$

$$f_2 = -209,6026 + 92,226 - 416,6667$$

$$= -534,0433 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi}$$

- Tegangan maksimum pada dasar tangki

$$M_{y(y=0)} = M_o = -6138,1104 \text{ ft. lb/ft}$$

$$M_{yr(y=0)} = M_{or} = 14359,2170 \text{ ft. lb/ft}$$

akibat momen prategang horizontal :

$$f_h = \frac{14359,0381.12}{\frac{1}{6}.10^2.12} = \pm 861,5423 \text{ psi}$$

akibat cairan :

$$f_l = \frac{3493,3771.12}{\frac{1}{6}.10^2.12} = \pm 209,6026 \text{ psi}$$

akibat prategangan vertikal :

$$f_v = \frac{P_v}{A_c} = \frac{50.000}{12.10} = -416,6667 \text{ psi}$$

untuk tangki kosong :

$$f_t = f_h + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= -861,5423 - 416,6667 \\ &= -1278,2090 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= 861,5423 - 416,6667 \\ &= 444,8756 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

untuk tangki penuh :

$$f_t = f_h + f_c + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= -861,5423 + 379,0823 - 416,6667 \\ &= -889,1267 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= 861,5423 - 379,0823 - 416,6667 \\ &= -65,7933 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

2. Berdasarkan Koefisien Membran

A. Perhitungan gaya dan momen

$$\frac{H^2}{dt} = \frac{20^2}{50.0,8333} = 9,6004 \approx 10$$

- Gaya cincin melingkar dan momen vertikal

a. Pada 0,0H dengan $C_f = -0,011$; $C_m = 0$

$$\begin{aligned} F &= \gamma.H.r.C \\ &= 62,4.20.25. - 0.011 \\ &= -342,20 \text{ lb/ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C.\gamma.H^3 \\
 &= 0.62,4.20^3 \\
 &= 0 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

b. Pada 0,1H dengan $C_f = 0,098$; $C_m = 0$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma.H.r.C \\
 &= 62,4.20.25.0,098 \\
 &= 3057,6 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C.\gamma.H^3 \\
 &= 0.62,4.20^3 \\
 &= 0 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

c. Pada 0,2H dengan $C_f = 0,208$; $C_m = 0$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma.H.r.C \\
 &= 62,4.20.25.0,208 \\
 &= 6489,6 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C.\gamma.H^3 \\
 &= 0.62,4.20^3 \\
 &= 0 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

d. Pada 0,3H dengan $C_f = 0,323$; $C_m = 0,0001$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma.H.r.C \\
 &= 62,4.20.25.0,323 \\
 &= 10077,6 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C \cdot \gamma \cdot H^3 \\
 &= 0,0001 \cdot 62,4 \cdot 20^3 \\
 &= 49,92 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

e. Pada 0,4H dengan $C_f = 0,437$; $C_m = 0,0004$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma \cdot H \cdot r \cdot C \\
 &= 62,4 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 0,437 \\
 &= 13634,4 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C \cdot \gamma \cdot H^3 \\
 &= 0,0004 \cdot 62,4 \cdot 20^3 \\
 &= 199,68 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

f. Pada 0,5H dengan $C_f = 0,542$; $C_m = 0,0007$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma \cdot H \cdot r \cdot C \\
 &= 62,4 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 0,542 \\
 &= 16910,4 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C \cdot \gamma \cdot H^3 \\
 &= 0,0007 \cdot 62,4 \cdot 20^3 \\
 &= 349,44 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

g. Pada 0,6H dengan $C_f = 0,608$; $C_m = 0,0019$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma \cdot H \cdot r \cdot C \\
 &= 62,4 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 0,608 \\
 &= 18969,6 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C \cdot \gamma \cdot H^3 \\
 &= 0,0019 \cdot 62,4 \cdot 20^3 \\
 &= 948,48 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

h. Pada 0,7H dengan $C_f = 0,589$; $C_m = 0,0029$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma \cdot H \cdot r \cdot C \\
 &= 62,4 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 0,589 \\
 &= 18567,6 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C \cdot \gamma \cdot H^3 \\
 &= 0,0029 \cdot 62,4 \cdot 20^3 \\
 &= 1447,68 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

i. Pada 0,8H dengan $C_f = 0,440$; $C_m = 0,0028$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma \cdot H \cdot r \cdot C \\
 &= 62,4 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 0,440 \\
 &= 13723 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C \cdot \gamma \cdot H^3 \\
 &= 0,0028 \cdot 62,4 \cdot 20^3 \\
 &= 1397,76 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

j. Pada 0,9H dengan $C_f = 0,179$; $C_m = -0,0012$

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma \cdot H \cdot r \cdot C \\
 &= 62,4 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 0,179 \\
 &= 5584,8 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C \cdot \gamma \cdot H^3 \\
 &= -0,0012 \cdot 62,4 \cdot 20^3 \\
 &= -599,04 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

k. Pada 1,0H dengan $C_m = -0,0122$

$$\begin{aligned}
 M_y &= C \cdot \gamma \cdot H^3 \\
 &= -0,0122 \cdot 62,4 \cdot 20^3 \\
 &= -6090,24 \text{ ft. lb/ft}
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan pengaruh prategang dengan menggunakan tekanan sisa (*residu*) sebesar $f_{cv} = 200$ psi.

- Gaya cincin melingkar akibat tekanan sisa.

$$F_r = F + (f_{cv} \times t \times 1 \text{ ft.})$$

a. Pada 0,0H dengan $F = -342,2$ lb/ft

$$\begin{aligned}
 F_r &= -342,2 + (200 \cdot 10 \cdot 12) \\
 &= 23657,8 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

b. Pada 0,1H dengan $F = 3057,6$ lb/ft

$$\begin{aligned}
 F_r &= 3057,6 + (200 \cdot 10 \cdot 12) \\
 &= 27057,6 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

c. Pada 0,2H dengan $F = 6489,6$ lb/ft

$$\begin{aligned}
 F_r &= 6489,6 + (200 \cdot 10 \cdot 12) \\
 &= 30489,6 \text{ lb/ft}
 \end{aligned}$$

d. Pada 0,3H dengan $F = 10077,6 \text{ lb/ft}$

$$F_r = 10077,6 + (200 \cdot 10 \cdot 12)$$

$$= 34077,6 \text{ lb/ft}$$

e. Pada 0,4H dengan $F = 13634,4 \text{ lb/ft}$

$$F_r = 13634,4 + (200 \cdot 10 \cdot 12)$$

$$= 37634,4 \text{ lb/ft}$$

f. Pada 0,5H dengan $F = 16910,4 \text{ lb/ft}$

$$F_r = 16910,4 + (200 \cdot 10 \cdot 12)$$

$$= 40910,4 \text{ lb/ft}$$

g. Pada 0,6H dengan $F = 18969,6 \text{ lb/ft}$

$$F_r = 18969,6 + (200 \cdot 10 \cdot 12)$$

$$= 42969,6 \text{ lb/ft}$$

h. Pada 0,7H dengan $F = 18567,6 \text{ lb/ft}$

$$F_r = 18567,6 + (200 \cdot 10 \cdot 12)$$

$$= 42567,6 \text{ lb/ft}$$

i. Pada 0,8H dengan $F = 13728 \text{ lb/ft}$

$$F_r = 13728 + (200 \cdot 10 \cdot 12)$$

$$= 37728 \text{ lb/ft}$$

j. Pada 0,9H dengan $F = 5584,8 \text{ lb/ft}$

$$F_r = 5584,8 + (200 \cdot 10 \cdot 12)$$

$$= 39584,8 \text{ lb/ft}$$

- Momen vertikal akibat tekanan sisa.

$$M_{yr} = M_y \times \left(\frac{F_r \text{ maks.}}{F \text{ maks.}} \right)$$

a. Pada 0,1H dengan $M_y = 0$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = 0 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = 0 \text{ ft. lb/ft}$$

b. Pada 0,2H dengan $M_y = 0$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = 0 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = 0 \text{ ft. lb/ft}$$

c. Pada 0,3H dengan $M_y = 49,92$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = 49,92 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = 113,0779 \text{ ft. lb/ft}$$

d. Pada 0,4H dengan $M_y = 199,68$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = 199,68 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = 452,3116 \text{ ft. lb/ft}$$

e. Pada 0,5H dengan $M_y = 349,44$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = 349,44 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = 791,5453 \text{ ft. lb/ft}$$

f. Pada 0,6H dengan $M_y = 948,48$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = 948,48 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = 2148,48 \text{ ft. lb/ft}$$

g. Pada 0,7H dengan $M_y = 1447,68$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = 1447,68 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = 3279,2589 \text{ ft. lb/ft}$$

h. Pada 0,8H dengan $M_y = 1397,76$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = 1397,76 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = 3166,1811 \text{ ft. lb/ft}$$

i. Pada 0,9H dengan $M_y = -599,04$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = -599,04 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = -1357,0797 \text{ ft. lb/ft}$$

j. Pada 1,0H dengan $M_y = -6090,24$ ft. lb/ft

$$M_{yr} = -6090,24 \times \left(\frac{42969,6}{18969,6} \right) = -13795,5032 \text{ ft. lb/ft}$$

C. Perhitungan tegangan - tegangan dinding.

- Tegangan beton maksimum pada dinding

Momen vertikal positif maksimum (M_y) untuk $d=50$ ft terjadi pada 0,7H.

Prategang vertikal $P_v=50.000$ psi dan tekanan sisa $f_{cv}=200$ psi.

$$M_y = 1447,68 \text{ ft.}$$

$$M_{yr} = 3279,2589 \text{ ft.}$$

$$f = \frac{M}{S} = \frac{M}{\frac{1}{6}b^2h}$$

tegangan - tegangan ijin beton :

$$\text{- serat tarik : } 3\sqrt{f'_c} = 3\sqrt{501,5098} = 288,5029 \text{ psi}$$

$$\text{- serat tekan : } 0,45 f'_c = 0,45 \cdot 5801,5098 = 2610,6794 \text{ psi}$$

akibat momen prategang horizontal :

$$f_h = \frac{3279,2589 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 196,7555 \text{ psi}$$

akibat cairan :

$$f_l = \frac{1447,68 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 86,8608 \text{ psi}$$

akibat prategangan vertikal :

$$f_v = \frac{P_v}{A_c} = \frac{50.000}{12.10} = -416,6667 \text{ psi}$$

untuk tangki kosong :

$$f_t = f_h + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= 196,75555 - 416,6667 \\ &= -219,9112 \text{ psi} < 228,5029 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= -196,7555 - 416,6667 \\ &= -613,4222 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

untuk tangki penuh

$$f_t = f_h + f_c + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= 196,7555 - 86,8608 - 416,6667 \\ &= -306,7718 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= -196,7555 + 86,8608 - 416,6667 \\ &= -526,5616 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

- Tegangan maksimum pada dasar tangki

$$M_{y(y=0)} = M_o = -6090,24 \text{ ft. lb/ft}$$

$$M_{y(y=0)} = M_{or} = 13795,5053 \text{ ft. lb/ft}$$

akibat momen prategang horizontal :

$$f_h = \frac{13795,5053.12}{\frac{1}{6}.10^2.12} = \pm 827,7302 \text{ psi}$$

akibat cairan :

$$f_1 = \frac{6090,24 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 365,4144 \text{ psi}$$

akibat prategangan vertikal :

$$f_v = \frac{P_v}{A_c} = \frac{50.000}{12 \cdot 10} = -416,6667 \text{ psi}$$

untuk tangki kosong :

$$f_t = f_h + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= -827,7302 - 416,6667 \\ &= -1244,3969 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= 827,7302 - 416,6667 \\ &= 411,0635 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

untuk tangki penuh :

$$f_t = f_h + f_c + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= -827,7302 + 365,4144 - 416,6667 \\ &= -878,9825 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= 827,7302 - 365,4144 - 416,6667 \\ &= 45,6491 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Kondisi Jepit Penuh

Pada perhitungan ini yang digunakan adalah hasil dari perhitungan berdasarkan nilai koefisien membran.

Digunakan tendon prategang 7 kawat strand $\phi \frac{1}{2} \text{ in} = 12,7 \text{ mm}$ dengan

$f_{pu} = 250 \text{ Ksi}$. Dari tabel Nawy B – 5 lampiran 5 didapat : $A_{ps} = 0,144 \text{ in}^2$

A. Prategang arah horisontal

Gaya cincin melingkar maksimum akibat tekanan sisa (*residu*), $F_r = 42969,6$ lb/ft.

$$A_{ps} = 0,144 \text{ in}^2$$

$$f_{ps} = 0,85 f_{pu} = 0,85 \cdot 250 = 212,5 \text{ Ksi}$$

$$f_{pi} = 0,70 f_{pu} = 0,70 \cdot 250 = 175 \text{ Ksi}$$

Kehilangan prategang sebesar 20 %, maka

$$\begin{aligned} f_{pe} &= (100 - 20)\% \cdot f_{pi} \\ &= (1 - 0,2)175.000 \\ &= 140.000 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$A_{ps} = \frac{42969,6}{140.000} = 0,3069 \text{ in}^2 \text{ tiap 1 ft}$$

ketinggian, $H = 20$ ft. dibagi menjadi 5 bagian masing-masing 4 ft.

Jumlah lilitan dalam 4 ft :

$$\frac{0,3069 \cdot 4}{0,144} = 8,5257 \approx 9 \text{ tendon}$$

B. Prategang arah vertikal

dipakai $P_v = 50.000$ lb/ft

luas per 1 ft. melingkar :

$$A_{ps} = \frac{50.000}{140.000} = 0,3571 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned} \text{jumlah strand per 1 ft} &= \frac{0,3571}{0,144} = 2,4803 \\ &= \frac{12}{2,4803} = 4,8384 \end{aligned}$$

$$\text{kontrol} = \frac{0,144 \cdot 12}{4,75} = 0,3638 \text{ in}^2 > 0,3571 \text{ in}^2$$

C. Momen Nominal

$$\text{SF} = 1,3$$

$$M_{y(y=0)} = M_0 = 13795,5053 \text{ ft} \cdot \text{lb/ft}$$

$$M_u = 1,3 \cdot 13795,5053 = 17934,1542 \text{ ft} \cdot \text{lb/ft}$$

$$\begin{aligned} M_{n \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{17934,1542}{0,9} \\ &= 19926,8380 \text{ ft} \cdot \text{lb/ft} \end{aligned}$$

$$d_t = \frac{10}{2} = 5 \text{ in}$$

$$A_{ps} = \frac{0,144}{4,75} = 0,0303 \text{ in}^2 \text{ per in lebar}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\ &= \frac{0,0303 \cdot 212500}{0,85 \cdot 5801,5098 \cdot 1} = 1,3064 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n \text{ tersedia}} &= A_{ps} f_{ps} \left(d_t - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,0303 \cdot 212500 \left(5 - \frac{1,3064}{2} \right) \\ &= 27988,039 \text{ in} \cdot \frac{\text{lb}}{\text{in}} > M_{n \text{ perlu}} = 19926,8380 \text{ in} \cdot \frac{\text{lb}}{\text{in}} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Momen Kondisi Jepit Parsial

Pada perhitungan ini yang digunakan adalah hasil dari perhitungan berdasarkan nilai koefisien membran.

$$t = 10 \text{ in} = 0,8333 \text{ ft}$$

$$h = 12 \text{ in} = 1,0 \text{ ft}$$

$$d = 50 \text{ ft}$$

A. Momen vertikal dan gaya cincin melingkar akibat kondisi jepit parsial

- Perhitungan momen vertikal parsial

$$M_p = M(1 - S)$$

$$S = \frac{\left(\frac{t}{h}\right)^3}{(dt)^{1/2}}$$

$$S = \frac{\left(\frac{0,8333}{1,0}\right)^3}{(50 \cdot 0,8333)^{1/2}}$$

$$= 0,0896$$

- a. Pada 0,0H dengan $M_y = 0 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

- b. Pada 0,1H dengan $M_y = 0 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 0 \cdot (1 - 0,0896) = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

- c. Pada 0,2H dengan $M_y = 0 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 0 \cdot (1 - 0,0896) = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

d. Pada 0,3H dengan $M_y = 9,92 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 9,92. (1 - 0,0896) = 9,0312 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 0,89 \text{ ft.lb/ft}$$

e. Pada 0,4H dengan $M_y = 199,68 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 199,68. (1 - 0,0896) = 181,7887 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 17,89 \text{ ft.lb/ft}$$

f. Pada 0,5H dengan $M_y = 349,44 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 349,44. (1 - 0,0896) = 318,1302 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 31,31 \text{ ft.lb/ft}$$

g. Pada 0,6H dengan $M_y = 948,48 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 948,48. (1 - 0,0896) = 863,4962 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 84,98 \text{ ft.lb/ft}$$

h. Pada 0,7H dengan $M_y = 1447,68 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 1447,68. (1 - 0,0896) = 1317,9679 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 129,71 \text{ ft.lb/ft}$$

i. Pada 0,8H dengan $M_y = 1397,76 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = 1397,76. (1 - 0,0896) = 1272,5207 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 125,24 \text{ ft.lb/ft}$$

j. Pada 0,9H dengan $M_y = -599,04 \text{ ft.lb/ft}$.

$$M_{yp} = -599,04. (1 - 0,0896) = -545,3660 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 53,67 \text{ ft.lb/ft}$$

k. Pada 1,0H dengan $M_y = -6090,24$ ft.lb/ft.

$$M_{yp} = -6090,24 \cdot (1 - 0,0896) = -5544,5545 \text{ ft.lb/ft}$$

$$\text{kehilangan momen akibat jepit parsial} = 545,69 \text{ ft.lb/ft}$$

- Perhitungan gaya cincin melingkar parsial

$$F_p = F \times \frac{M_{yp \text{ maks}}}{M_{y \text{ maks}}}$$

a. Pada 0,0H dengan $F = -342,20$ lb/ft

$$F_p = -342,2 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= -311,5389 \text{ lb/ft}$$

b. Pada 0,1H dengan $F = 3057,6$ lb/ft

$$F_p = 3057,6 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 2783,6390 \text{ lb/ft}$$

c. Pada 0,2H dengan $F = 6489,6$ lb/ft

$$F_p = 6489,6 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 5908,1318 \text{ lb/ft}$$

d. Pada 0,3H dengan $F = 10077,6$ lb/ft

$$F_p = 10077,6 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 9174,6470 \text{ lb/ft}$$

e. Pada 0,4H dengan $F = 13634,4$ lb/ft

$$F_p = 13634,4 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 12412,7578 \text{ lb/ft}$$

f. Pada 0,5H dengan $F = 16910,4$ lb/ft

$$F_p = 16910,4 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 15395,2282 \text{ lb/ft}$$

g. Pada 0,6H dengan $F = 18969,6$ lb/ft

$$F_p = 18969,6 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 17269,9239 \text{ lb/ft}$$

h. Pada 0,7H dengan $F = 18567,6$ lb/ft

$$F_p = 18567,6 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 16903,9431 \text{ lb/ft}$$

i. Pada 0,8H dengan $F = 13723$ lb/ft

$$F_p = 13723 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 12493,4192 \text{ lb/ft}$$

j. Pada 0,9H dengan $F = 5584,4$ lb/ft

$$F_p = 5584,4 \cdot \left(\frac{-5544,5545}{-6090,24} \right)$$

$$= 5084,0378 \text{ lb/ft}$$

B. Momen vertikal dan gaya cincin melingkar kondisi jepit parsial akibat tekanan sisa, $f_{cv} = 200$ psi.

- Gaya cincin melingkar *residu* parsial

$$F_{rp} = F_p + (f_{cv} \times t \times 1 \text{ ft})$$

a. Pada ketinggian 0,0H

$$F_{rp} = -311,5389 + (200 \times 10 \times 12) = 23688,4611 \text{ lb/ft}$$

b. Pada ketinggian 0,1H

$$F_{rp} = 2783,6390 + (200 \times 10 \times 12) = 26783,6390 \text{ lb/ft}$$

c. Pada ketinggian 0,2H

$$F_{rp} = 5908,1318 + (200 \times 10 \times 12) = 29908,1318 \text{ lb/ft}$$

d. Pada ketinggian 0,3H

$$F_{rp} = 9174,6470 + (200 \times 10 \times 12) = 33174,6470 \text{ lb/ft}$$

e. Pada ketinggian 0,4H

$$F_{rp} = 12412,7578 + (200 \times 10 \times 12) = 36412,7578 \text{ lb/ft}$$

f. Pada ketinggian 0,5H

$$F_{rp} = 15395,2282 + (200 \times 10 \times 12) = 39395,2282 \text{ lb/ft}$$

g. Pada ketinggian 0,6H

$$F_{rp} = 17269,9239 + (200 \times 10 \times 12) = 41269,9239 \text{ lb/ft}$$

h. Pada ketinggian 0,7H

$$F_{rp} = 16903,9431 + (200 \times 10 \times 12) = 40903,9431 \text{ lb/ft}$$

i. Pada ketinggian 0,8H

$$F_{rp} = 12493,4192 + (200 \times 10 \times 12) = 36493,4192 \text{ lb/ft}$$

j. Pada ketinggian 0,9H

$$F_{rp} = 5084,0378 + (200 \times 10 \times 12) = 29084,0378 \text{ lb/ft}$$

- Momen vertikal *residu* parsial

$$M_{y_{rp}} = M_{yp} \times \frac{F_{rp \text{ maks}}}{F_{p \text{ maks}}}$$

a. Pada ketinggian 0,0H

$$M_{y_{rp}} = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

b. Pada ketinggian 0,1H

$$M_{y_{rp}} = 0 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

c. Pada ketinggian 0,2H

$$M_{y_{rp}} = 0 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = 0 \text{ ft.lb/ft}$$

d. Pada ketinggian 0,3H

$$M_{y_{rp}} = 9,0312 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = 21,5819 \text{ ft.lb/ft}$$

e. Pada ketinggian 0,4H

$$M_{y_{rp}} = 181,7887 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = 44,4203 \text{ ft.lb/ft}$$

f. Pada ketinggian 0,5H

$$M_{y_{rp}} = 318,1302 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = 760,2355 \text{ ft.lb/ft}$$

g. Pada ketinggian 0,6H

$$M_{ytp} = 863,4962 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = 2063,4962 \text{ ft.lb/ft}$$

h. Pada ketinggian 0,7H

$$M_{ytp} = 1317,9679 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = 3149,5469 \text{ ft.lb/ft}$$

i. Pada ketinggian 0,8H

$$M_{ytp} = 172,5207 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = 3040,9418 \text{ ft.lb/ft}$$

j. Pada ketinggian 0,9H

$$M_{ytp} = -545,3660 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = -1303,2607 \text{ ft.lb/ft}$$

k. Pada ketinggian 1,0H

$$M_{ytp} = -5544,5545 \cdot \left(\frac{41269,9239}{17269,9239} \right) = -13249,8177 \text{ ft.lb/ft}$$

C. Perhitungan tegangan - tegangan dinding.

- Tegangan beton maksimum pada dinding

Momen vertikal positif maksimum (M_y) untuk $d=50$ ft terjadi pada 0,7H.

Prategang vertikal $P_v=50.000$ psi dan tekanan sisa $f_{cv}=200$ psi.

$$M_{yp} = 1317,9679 \text{ ft.}$$

$$M_{ytp} = 3149,5469 \text{ ft.}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{M}{\frac{1}{6}b^2h}$$

tegangan - tegangan ijin beton :

$$\text{- serat tarik : } 3\sqrt{f'_c} = 3\sqrt{501,5098} = 288,5029 \text{ psi}$$

$$\text{- serat tekan : } 0,45 f'_c = 0,45 \cdot 5801,5098 = 2610,6794 \text{ psi}$$

akibat momen prategang horizontal :

$$f_h = \frac{3149,569 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 188,9728 \text{ psi}$$

akibat cairan :

$$f_l = \frac{1317,9679 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 79,0781 \text{ psi}$$

akibat prategangan vertikal :

$$f_v = \frac{P_v}{A_c} = \frac{50.000}{12 \cdot 10} = -416,6667 \text{ psi}$$

untuk tangki kosong :

$$f_t = f_h + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= 188,9728 - 416,6667 \\ &= -227,6939 \text{ psi} < 228,5029 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= -188,9728 - 416,6667 \\ &= -605,6395 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

untuk tangki penuh

$$f_t = f_h + f_c + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= 188,9728 - 79,0781 - 416,6667 \\ &= -306,7720 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= -188,9728 + 79,0781 - 416,6667 \\ &= -526,5614 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

- Tegangan maksimum pada dasar tangki

$$M_{yp(y=0)} = M_{op} = -5544,5545 \text{ ft. lb/ft}$$

$$M_{ytp(y=0)} = M_{ortp} = -13249,8177 \text{ ft. lb/ft}$$

akibat momen prategang horizontal :

$$f_h = \frac{13249,8177 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 794,9891 \text{ psi}$$

akibat cairan :

$$f_i = \frac{5544,5545 \cdot 12}{\frac{1}{6} \cdot 10^2 \cdot 12} = \pm 332,6733 \text{ psi}$$

akibat prategangan vertikal :

$$f_v = \frac{P_v}{A_c} = \frac{50.000}{12 \cdot 10} = -416,6667 \text{ psi}$$

untuk tangki kosong :

$$f_t = f_h + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= -794,9891 - 416,6667 \\ &= -1211,6554 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= 794,9891 - 416,6667 \\ &= 378,3224 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

untuk tangki penuh :

$$f_t = f_h + f_c + f_v$$

$$\begin{aligned} f_1 &= -794,9891 + 332,6733 - 416,6667 \\ &= -878,9825 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$f_2 = 794,9891 - 332,6733 - 416,6667$$

$$= 45,6491 \text{ psi} < 2610,6794 \text{ psi}$$

D. Perhitungan lebar *toe cantilever* :

Dari tabel 11.4 Nawy (lampiran 5) untuk $\frac{H^2}{dt} = 10$ didapat $C = -0,0122$

$$L^2 = \frac{2CH^2}{1+S} = \frac{2 \cdot 0,0122 \cdot 20^2}{1+0,0896} = 8,9574 \text{ ft}$$

$$L = 2,9929 \approx 3 \text{ ft}$$

Prategang yang ditransfer di dasar ke dinding tangki (R) :

$$R = \frac{100}{S_1} \%$$

$$S_1 = 1,1 \left(\frac{h}{t} \right) \left(\frac{d}{t} \right)^{1/2}$$

$$= 1,1 \left(\frac{1}{0,8333} \right) \left(\frac{50}{0,8333} \right)^{1/2} = 10,2253 \%$$

$$R = \frac{100}{10,2253} = 9,7797 \%$$

E. Momen Nominal

$$SF = 1,3$$

$$M_{y_{rp}(y=0)} = M_{orp} = 13249,8177 \text{ ft} \cdot \text{lb/ft}$$

$$M_{up} = 1,3 \cdot 13249,8177 = 17224,7630 \text{ ft} \cdot \text{lb/ft}$$

$$M_{np \text{ perlu}} = \frac{M_{up}}{0,9} = \frac{17224,7630}{0,9}$$

$$= 19138,6256 \text{ ft} \cdot \text{lb/ft}$$

$$d_t = \frac{10}{2} = 5 \text{ in}$$

$$A_{ps} = \frac{0,144}{4,75} = 0,0303 \text{ in}^2 \text{ per in lebar}$$

$$a = \frac{A_{ps} f_{ps}}{0,85 f'_c b} = \frac{0,0303 \cdot 212500}{0,85 \cdot 5801,5098 \cdot 1} = 1,3064 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} M_{np \text{ tersedia}} &= A_{ps} f_{ps} \left(d_t - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,0303 \cdot 212500 \left(5 - \frac{1,3064}{2} \right) \\ &= 27988,039 \text{ in} \cdot \frac{\text{lb}}{\text{in}} > M_{np \text{ perlu}} = 19138,6256 \text{ in} \cdot \frac{\text{lb}}{\text{in}} \end{aligned}$$

5. Kontrol Ketebalan Dinding

$$d = 50 \text{ ft}$$

$$f_{pu} = 250 \text{ ksi} ; f_{pi} = 0,70 f_{pu}$$

$$f_{ps} = 0,85 f_{pu}$$

$$f'_c = 5801,5098 \text{ psi} ; f'_{ci} = 0,75 f'_c = 4351,1323 \text{ psi}$$

$$f_{ci} = 0,6 f'_{ci} = 3480,9095 \text{ psi}$$

$$E_c = 57000 \sqrt{f'_c} = 4341555,636 \text{ psi}$$

$$F_i = \gamma r H \left(\frac{f_{pi}}{f_{ps}} \right)$$

$$= 62,4 \cdot 25 \cdot 20 \cdot \left(\frac{0,70 \cdot 250}{0,85 \cdot 250} \right) = 25694,1177 \text{ lb (per ft melingkar)}$$

$$= 2141,1765 \text{ lb (per in melingkar)}$$

kontrol ketebalan dinding :

$$t_{co} = \frac{F_i}{f_{ci}}$$

$$= \frac{2141,1765}{3840,9095} = 0,5575 \text{ in} < 10 \text{ in (dipakai } t = 10 \text{ in)}$$

6. Kontrol Lendutan

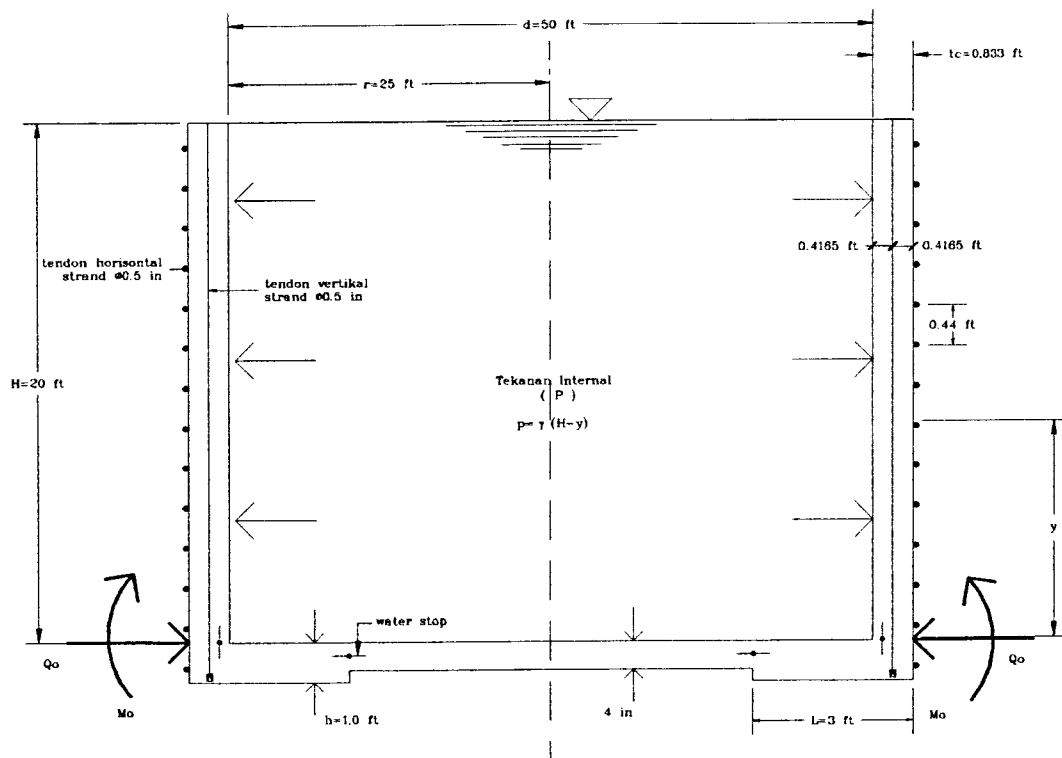
$$\Delta_i = \frac{F_i \cdot r}{t_{co} \cdot E_c}$$

$$= \frac{25694,1177.25}{10.57000 \sqrt{5801,5098}} = 0,0148$$

sehingga defleksi radial akhir :

$$\Delta_r = 1,7 \cdot \Delta_i$$

$$= 1,7 \cdot 0,0148 = 0,0252$$



BAB VI

PEMBAHASAN

6.1 Tinjauan Analisa

Hasil perhitungan yang akan ditinjau adalah dari cara perhitungan yang digunakan dan kondisi sambungan. Hasil perhitungan yang dianalisa yaitu gaya cincin, momen vertikal dan nominal serta tegangan yang terjadi pada dinding. Tinjauan awal dari segi perhitungan yaitu bahwa perhitungan menggunakan rumus umum cangkang silindris untuk mendapatkan gaya cincin dan momen vertikal memerlukan tahap perhitungan yang panjang.

6.2 Gaya Cincin Melingkar

Pada perhitungan dengan menggunakan koefisien membran pada diameter uji terbesar yaitu 200 ft nilai gaya cincin menurun. Penurunan nilai gaya cincin terjadi setelah mencapai nilai maksimum terhadap diameter tangki yang lebih kecil. Semakin besar ukuran diameter tangki maka gaya cincin maksimum yang diterima oleh dinding akan bergeser ke arah atas dinding, sehingga akhirnya akan mencapai tepi atas dinding. Hal tersebut diatas sesuai dengan perilaku struktur dengan kondisi bawah jepit dan bagian atas bebas. Bergesernya gaya cincin maksimum terjadi karena penggunaan luasan penampang dan ketinggian yang tetap sedangkan beban internal berubah sesuai perubahan diameter. Pada perhitungan menggunakan rumus umum kenaikan nilai gaya cincin sesuai dengan perubahan diameter tangki. Perbedaan perubahan bentuk kurva cincin melingkar

dengan koefisien membran dapat dilihat pada grafik gaya cincin di lembar lampiran 2.

Perbedaan antara kedua cara diatas dilihat dari titik perpotongan kurva gabungan gaya cincin rumus umum dan koefisien membran. Pada ketinggian diatas titik perpotongan nilai gaya cincin koefisien membran lebih besar, sebaliknya akan lebih kecil dibawah titik perpotongan. Gaya cincin maksimum hasil perhitungan rumus umum selain diameter 50 ft menghasilkan nilai yang lebih besar dari pada perhitungan koefisien membran.

Nilai gaya cincin kondisi jepit parsial berkurang dibandingkan kondisi jepit penuh karena pengaruh adanya pengurangan momen vertikal kondisi parsial. Dengan diameter tangki yang semakin besar maka besarnya prosentase prategang yang diterima oleh dinding dari cincin pelat (R) menjadi semakin berkurang. Hal tersebut menunjukkan bahwa respon kekakuan cincin pelat dasar lebih besar dari respon dinding silindris, dengan demikian kehilangan prategang akibat perbedaan kekakuan menjadi tidak berarti pada diameter lebar. Perbedaan kekakuan yang dimaksud adalah perbedaan dalam tingkat penegangan cincin horisontal pada masing-masing bagian.

6.3 Momen Vertikal

Nilai momen vertikal selain diameter 75 ft dengan cara koefisien membran memberikan nilai yang lebih kecil, sebaliknya pada diameter 75 ft sendiri bernilai lebih besar dibandingkan rumus umum. Nilai momen yang dibandingkan di atas tampak pada momen vertikal positif maksimum dan momen dasar dinding seperti terlihat dalam gambar grafik momen vertikal (lampiran 6). Seperti gaya cincin,

letak ketinggian nilai momen vertikal maksimum bergerak naik keatas disebabkan adanya suatu nilai konstan misalnya tinggi dan variabel diameter.

Perhitungan dengan kondisi jepit parsial menghasilkan nilai momen vertikal yang lebih kecil dibandingkan jepit penuh dan selisih momennya kecil. Kondisi sambungan tersebut mempunyai perbedaan adanya cincin lingkaran pada plat dasar yang mempunyai suatu lebar tertentu. Pelat dasar cincin keliling tersebut akan menambah kekangan atau kekakuan yang kemudian akan dapat mengurangi dimensi pelat padat, sehingga dapat mengurangi besarnya deformasi yang terjadi dan dalam perencanaan struktur akan lebih ekonomis.

Momen pada dasar dinding mempunyai nilai momen negatif yang besar serta mempunyai perbedaan momen yang besar karena terlihat terjadi perubahan kurva yang sangat drastis. Sehingga, diperlukan suatu cara yang lain jika suatu saat dengan tebal dinding, tendon sentris tidak mengatasi besarnya momen yang terjadi. Cara yang dilakukan dapat dengan penebalan dinding pada bagian bawah setinggi 1 ft dari dasar lantai, menggunakan tendon vertikal eksentris, atau dengan menambah penulangan dengan baja lunak pada bagian dasar dinding.

Nilai *modifier factor* S semakin kecil sesuai dengan bertambahnya diameter tangki. Sesuai rumus $M_p = M_0(1 - S)$, maka jika nilai S semakin kecil maka nilai selisih $M_0 - M_p$ akan semakin mendekati nol pada diameter tangki yang semakin besar. Hasil perhitungan yang diperoleh menunjukkan nilai selisih menjadi bertambah besar. Hal tersebut terjadi karena perbandingan peningkatan nilai lebih besar dari pada penurunan nilai S .

6.4 Prategang

Besarnya nilai prategang vertikal untuk jepit penuh akan lebih besar dari kondisi dasar dinding yang lain. Dalam analisa ini digunakan nilai prategang vertikal konstan sehingga untuk mengetahui bahwa jepit penuh lebih besar dari jepit parsial digunakan hasil perhitungan tegangan. Tegangan yang dihasilkan pada kondisi jepit penuh juga akan lebih besar dibandingkan jepit parsial.

Menentukan besarnya nilai prategang vertikal dalam analisa ini menggunakan cara mencoba-coba dan penyesuaian sampai didapat tegangan dinding yang aman. Pertambahan diameter tangki dengan nilai gaya prategang vertikal konstan maka dilakukan adalah dengan merubah jarak tendon prategang vertikal menjadi lebih rapat.

Nilai momen vertikal yang digunakan untuk prategang horisontal adalah momen maksimum residu pada dasar dinding. Demikian pula pada perencanaan tendon melingkar menggunakan gaya cincin residu maksimum, yaitu gaya cincin setelah mendapatkan gaya tambahan sebesar 200 psi.

6.5 Tegangan

Tegangan yang terjadi pada saat tangki penuh baik kondisi jepit penuh dan jepit parsial mempunyai nilai tegangan yang sama. Hal tersebut terjadi disebabkan selisih nilai tegangan akibat momen prategang horisontal dan nilai tegangan akibat cairan pada kedua jenis kondisi *joint* diatas menghasilkan nilai yang sama. Nilai tegangan yang dihasilkan pada saat tangki kosong menunjukkan bahwa tegangan pada sisi luar (f_2) tegangan desak semakin besar sedangkan pada sisi dalam dari kondisi desak semakin berkurang menjadi tarik. Hal tersebut

menunjukkan bahwa dinding tangki berdeformasi arah ke dalam tangki pada saat tangki kosong akan tetapi tidak melampaui tegangan yang diijinkan.

6.6 Momen Nominal

Perhitungan momen nominal yang dihasilkan untuk M_n atau M_{np} tersedia menjadi tergantung pada perubahan kerapatan tendon prategang vertikal. Dari hasil perhitungan didapatkan momen nominal dari diameter 50 ft sampai dengan 200 ft aman, akan tetapi terdapat perubahan jarak tendon prategang vertikal. Perubahan jarak tendon menjadi semakin rapat dimulai pada tangki diameter 100 ft untuk tangki jepit penuh dan 125 ft untuk tangki jepit parsial. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan desain prategang dan ketebalan dinding tetap sedangkan diameter tangki berubah, perencanaan tangki dengan kondisi jepit parsial menghasilkan diameter yang lebih besar.

Terlihat pada grafik bahwa nilai momen nominal jepit parsial lebih kecil dari pada nilai momen nominal jepit penuh. Sedangkan momen nominal tersedia harus lebih besar dari momen nominal yang diperlukan.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari uraian dan pembahasan di atas, dapat diambil kesimpulan berikut ini :

1. Penggunaan cara koefisien selaput atau membran akan lebih mempermudah dan mempercepat perhitungan, serta memberikan hasil yang mendekati perhitungan cara persamaan umum lentur cangkang silindris.
2. Perhitungan menggunakan kondisi jepit parsial lebih efisien mengingat diameter yang dapat digunakan lebih besar dari pada kondisi jepit penuh.
3. Semakin bertambah besar diameter tangki nilai momen jepit parsial akan menjadi sama dengan nilai momen jepit penuh.
4. Pada kondisi jepit parsial, pengaruh prategangan pelat lantai terhadap prategangan dinding semakin kecil sehingga momen jepit parsial akan sama dengan momen jepit penuh.
5. Tegangan yang terjadi baik pada kondisi jepit penuh maupun parsial pada saat tangki terisi penuh mempunyai nilai yang sama.

7.2 Saran

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam melakukan studi lebih lanjut mengenai tangki beton prategang sebagai berikut :

1. Perhitungan dan analisa yang dilakukan hanya sebatas momen nominal sehingga dapat dikembangkan perhitungan serta analisa perhitungan selanjutnya.

2. Penentuan besarnya prategang vertikal hendaknya dilakukan secara lebih terperinci.
3. Perhitungan tegangan dinding hanya dianalisa pada saat layan, maka perlu dilakukan analisa tegangan pada saat transfer.
4. Momen nominal yang dianalisa dapat memperhitungkan keikutsertaan baja tulangan non prategang.
5. Menerapkan sistem prategang internal dalam perhitungan selain pelilitan eksternal.
6. Lebih memberikan variasi terhadap besarnya diameter yang diuji dengan interval yang lebih kecil.
7. Memperhitungkan adanya beban-beban lain selain beban cairan serta kebutuhan lubang-lubang baik untuk sirkulasi pekerja maupun distribusi material pengisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abeles, P.W., Bardhan, B.K-Roy, Turner, F.H., 1976, *Prestressed Concrete Designer's Handbook*, Cement and Concrete Association.
- Gerwick, Jr., Ben C., 1992, *Construction Of Prestressed Concrete Structures*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Lin, T.Y., Burns, H., 1991, *Desain Struktur Beton Prategang*, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, Edward.G., 1995, *Prestressed Concrete: A Fundamental Approach*, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Raju, N.Krishna, 1989, *Beton Prategang*, Erlangga, Jakarta.
- Sinha, N.C., Roy, S.K., 1994, *Fundamental Of Prestress Concrete*, S. Chand & Company Ltd., Ram Nagar, New Delhi.
- Timoshenko, S., Woinowsky, S.-Krieger, S.Hindarko, 1988, *Teori Pelat dan Cangkang*, Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN GAYA CINCIN DAN MOMEN

Tabel A

PERHITUNGAN BERDASARKAN RUMUS UMUM

d (ft)	50	75	100	125	150	175	200
r (ft)	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100
l (ft)	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333
u	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
H (ft)	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
b	0.2854	0.2330	0.2018	0.1805	0.1648	0.1528	0.1427
M (ft. lb/ft)	-6318.1104	-9024.7856	-11524.5489	-13845.6907	-16007.2995	-18023.3884	-19904.8148
Q (lb/ft)	3989.5731	4780.7862	5417.7516	5956.1443	6424.5176	6839.8337	7213.1444
fcv x 12 x 10	24000.0000	24000.0000	24000.0000	24000.0000	24000.0000	24000.0000	24000.0000
0.1H	-0.0033	-0.0204	-0.0366	-0.0431	-0.0423	-0.0320	-0.0254
2	-0.0057	-0.0131	-0.0121	-0.0024	0.0071	0.0287	0.0383
	0.0060	0.0057	-0.0124	-0.0383	-0.0563	-0.0685	-0.1019
	0.0023	-0.0074	-0.0245	-0.0407	-0.0483	-0.0608	-0.0636
M (ft. lb/ft)	-58.6258	-84.8384	98.9790	517.5595	953.9190	1883.4884	2441.4513
F (lb/ft)	3120.0000	4880.0000	6240.0000	7800.0000	9360.0000	10920.0000	12480.0000
dQy (lb/ft)	-62.4353	-689.8584	-1747.2480	-2758.1794	-3464.9322	-3778.9019	-4026.8188
Qy (lb/ft)	3182.4353	5369.8584	7987.2480	10558.1794	12824.8322	14896.9019	18506.8188
Qyr (lb/ft)	27182.4353	29369.8584	31987.2480	34558.1794	36824.8322	38896.9019	40506.8188
Myr (ft. lb/ft)	-133.6933	-163.8841	173.8495	884.1818	1584.8740	2984.4123	3849.1115
0.2H	-0.0111	-0.0341	-0.0431	-0.0403	-0.0254	-0.0056	0.0080
4	-0.0100	-0.0131	-0.0024	0.0132	0.0383	0.0613	0.0748
	0.0084	-0.0079	-0.0383	-0.0668	-0.1019	-0.1282	-0.1416
	0.0019	-0.0210	-0.0407	-0.0534	-0.0636	-0.0689	-0.0669
M (ft. lb/ft)	-69.6502	39.0012	432.2811	993.5250	1898.8009	2849.2213	3621.5187
F (lb/ft)	8240.0000	9360.0000	12480.0000	15600.0000	18720.0000	21840.0000	24960.0000
dQy (lb/ft)	-89.8904	-1220.2351	-2210.1928	-2650.5426	-2879.7405	-2337.7265	-1910.8508
Qy (lb/ft)	6329.9904	10580.2351	14890.1928	18450.5426	21599.7405	24177.7265	26870.8508
Qyr (lb/ft)	30329.9904	34580.2351	36690.1928	42450.5426	45599.7405	48177.7265	50870.8508
Myr (ft. lb/ft)	-158.2948	75.5174	774.8289	1697.2689	3155.8967	4578.4213	5709.6868
0.3H	-0.0258	-0.0422	-0.0369	-0.0186	0.0060	0.0139	0.0687
8	-0.0139	-0.0058	0.0204	0.0492	0.0748	0.1057	0.1230
	0.0019	-0.0306	-0.0777	-0.1149	-0.1416	-0.1657	-0.1794
	-0.0120	-0.0384	-0.0573	-0.0658	-0.0689	-0.0618	-0.0689
M (ft. lb/ft)	-31.2687	261.8600	972.8853	1853.2265	2788.1854	4488.3704	4888.3695
F (lb/ft)	9360.0000	14040.0000	18720.0000	23400.0000	28080.0000	32760.0000	37440.0000
dQy (lb/ft)	-810.0644	-1597.2038	-2181.5223	-1969.4317	-1159.4972	732.3421	843.0662
Qy (lb/ft)	8970.0644	15637.2038	20901.5223	25368.4317	28238.4972	32027.8579	36798.9138
Qyr (lb/ft)	33970.0644	39637.2038	44901.5223	49368.4317	53238.4972	58027.8579	60798.9138
Myr (ft. lb/ft)	-71.1101	507.0357	1744.0436	3185.9227	4631.8188	7212.3743	7708.4184
0.4H	-0.0408	-0.0369	-0.0056	0.0244	0.0687	0.1234	0.1578
8	-0.0065	0.0204	0.0813	0.0896	0.1230	0.1810	0.1812
	-0.0237	-0.0777	-0.1261	-0.1548	-0.1794	-0.1985	-0.2047
	-0.0232	-0.0573	-0.0669	-0.0652	-0.0583	-0.0376	-0.0235
M (ft. lb/ft)	138.9648	751.5167	1710.1104	2615.2833	3727.7573	4994.0990	6021.7340
F (lb/ft)	12480.0000	18720.0000	24960.0000	31200.0000	37440.0000	43680.0000	49920.0000
dQy (lb/ft)	-582.4537	-1809.7354	-1084.7852	-27.1831	2298.8896	6421.3383	9797.8215
Qy (lb/ft)	13072.4537	20329.7354	28044.7852	31227.1831	35143.1304	37258.6617	40122.1785
Qyr (lb/ft)	37072.4537	44329.7354	50044.7852	55227.1831	59143.1304	61258.6617	64122.1785
Myr (ft. lb/ft)	315.8284	1455.1508	3065.8308	4467.7824	8192.6433	8025.0310	9493.6689
0.5H	-0.0403	0.0060	0.0667	0.1234	0.1959	0.2384	0.2849
10	0.0132	0.0748	0.1230	0.1810	0.2018	0.2228	0.2430
	-0.0666	-0.1416	-0.1794	-0.1985	-0.2077	-0.2068	-0.2011
	-0.0534	-0.0689	-0.0689	-0.0378	-0.0059	0.0158	0.0419
M (ft. lb/ft)	439.1311	1462.3086	2533.1963	3603.7548	4731.8174	5883.1497	6811.5248
F (lb/ft)	15600.0000	23400.0000	31200.0000	39000.0000	46800.0000	54600.0000	62400.0000
dQy (lb/ft)	-1105.2787	-320.8498	921.8459	5117.4054	10503.7297	15054.9433	20774.3068
Qy (lb/ft)	18705.2787	23720.8498	30278.1541	33882.5848	36286.2713	38545.0587	41825.8932
Qyr (lb/ft)	40705.2787	47720.8498	54278.1541	57882.5848	60286.2713	63545.0587	65825.8932
Myr (ft. lb/ft)	998.0186	2831.4482	4541.1361	6156.3963	7860.6131	9132.2684	10423.5117
0.6H	0.0060	0.0932	0.1959	0.2849	0.3355	0.3689	0.4476
12	0.0748	0.1415	0.2018	0.2430	0.2626	0.2807	0.2967
	-0.1416	-0.1898	-0.2077	-0.2011	-0.1887	-0.1718	-0.1457
	-0.0689	-0.0484	-0.0059	0.0419	0.0729	0.1091	0.1510
M (ft. lb/ft)	995.0190	2061.7358	3158.5777	4073.3259	4867.6293	5557.4297	6087.2717
F (lb/ft)	18720.0000	28080.0000	37440.0000	46800.0000	56160.0000	65520.0000	74880.0000

dQy (lb/ft)	-137.4354	2446.7815	7586.7436	14142.8924	19953.1819	27089.0787	35748.1810
Qy (lb/ft)	18857.4354	25633.2185	28853.2584	32657.1076	36208.8181	38420.9213	39131.8180
Qyr (lb/ft)	42857.4354	49633.2185	53853.2584	56657.1076	60208.8181	62420.9213	63131.8180
Myr (ft. lb/ft)	2261.3873	3992.1082	5684.0192	6958.5779	8086.2272	8930.2486	9596.9915
0.7H	0.1576	0.2849	0.3999	0.4476	0.5093	0.5712	0.5712
14	0.1812	0.2430	0.2807	0.2967	0.3096	0.3185	0.3185
	-0.2047	-0.2011	-0.1718	-0.1457	-0.1108	-0.0667	-0.0667
	-0.0235	0.0419	0.1091	0.1510	0.1988	0.2527	0.2527
M (ft. lb/ft)	1537.1026	2413.9377	3041.8528	3592.5029	3933.8734	3984.4938	25865.8101
F (lb/ft)	21840.0000	32780.0000	43880.0000	54600.0000	65520.0000	78440.0000	87380.0000
dQy (lb/ft)	3274.7457	9077.4012	16652.7265	23757.6776	32326.5261	42472.3935	47790.5922
Qy (lb/ft)	18565.2543	23682.5988	27027.2735	30842.3224	33193.4739	33967.8065	36589.4078
Qyr (lb/ft)	42565.2543	47882.5988	51027.2735	54842.3224	57193.4739	57987.8065	63589.4078
Myr (ft. lb/ft)	3493.3844	4874.0715	5452.9798	6137.1743	6535.2148	6402.8838	40778.8687
0.8H	0.4476	0.5712	0.6354	0.6997	0.6997	0.7629	0.7629
16	0.2967	0.3185	0.3223	0.3199	0.3199	0.3099	0.3099
	-0.1457	-0.0667	-0.0093	0.0599	0.0599	0.1431	0.1431
	0.1510	0.2527	0.3131	0.3798	0.3798	0.4530	0.4530
M (ft. lb/ft)	1319.3242	1379.0098	1329.3107	867.5053	1271.7460	145.8449	480.4685
F (lb/ft)	24960.0000	37440.0000	49920.0000	62400.0000	74880.0000	87360.0000	99840.0000
dQy (lb/ft)	10289.3898	19807.8601	28981.4233	39719.3396	47003.5663	60178.9904	68048.7059
Qy (lb/ft)	14871.8102	17832.1399	21028.5767	22660.6804	27878.4337	27181.0096	31793.2941
Qyr (lb/ft)	38871.8102	41832.1399	45028.5767	48680.6804	51878.4337	51181.0096	56793.2941
Myr (ft. lb/ft)	2998.4360	2670.1562	2382.9898	1481.9838	2112.6562	234.0372	757.4876
0.9H	0.7828	0.8231	0.8784	0.8784	0.9287	0.9287	0.2854
18	0.3099	0.2908	0.2610	0.2610	0.2189	0.2189	0.2189
	0.1431	0.2415	0.3564	0.3564	0.4888	0.4888	0.4888
	0.4530	0.5232	0.6174	0.6174	0.7077	0.7077	0.7077
M (ft. lb/ft)	-487.8328	-1462.5839	-3118.7278	-3650.1883	-8289.6334	-8888.2322	5383.4407
F (lb/ft)	28080.0000	42120.0000	58160.0000	70200.0000	84240.0000	98280.0000	112320.0000
dQy (lb/ft)	18423.1415	29032.7754	42312.6916	52394.7851	67091.3551	77789.9831	88386.5608
Qy (lb/ft)	9656.8585	13087.2246	13847.3084	17805.2149	17148.6449	20491.0169	23933.4392
Qyr (lb/ft)	33856.8585	37087.2246	37847.3084	41905.2149	41148.6449	44481.0169	47933.4392
Myr (ft. lb/ft)	57858.8585	81087.2246	81847.3084	65805.2149	65148.6449	88481.0169	71933.4392
	63817.6274	81558.3278	100675.2833	119924.8454	139941.5894	157928.3931	177080.0027
1.0H	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
M (ft. lb/ft)	-6318.1104	-9024.7856	-11524.5489	-13845.8907	-16007.2995	-18023.3884	-19804.8148
F (lb/ft)	31200.0000	48800.0000	62400.0000	78000.0000	93600.0000	108200.0000	124800.0000
dQy (lb/ft)	25998.9600	38998.4400	51997.9200	64997.4000	77996.8800	90996.3600	103995.8400
Qy (lb/ft)	5201.0400	7801.5600	10402.0800	13002.6000	15603.1200	18203.6400	20804.1600
Qyr (lb/ft)	29201.0400	31801.5600	34402.0800	37002.6000	39603.1200	42203.6400	44804.1600
Myr (ft. lb/ft)	-14359.2170	-17474.5577	-20659.4808	-23852.9851	-26991.7253	-29961.8307	-31381.2738
0.0H	0.0010	-0.0092	-0.0258	-0.0368	-0.0422	-0.0410	-0.0403
0	-0.0018	-0.0091	-0.0139	-0.0121	-0.0058	0.0019	0.0132
	0.0046	0.0090	0.0019	-0.0124	-0.0383	-0.0469	-0.0666
	0.0028	-0.0011	-0.0120	-0.0245	-0.0407	-0.0450	-0.0534
M (ft. lb/ft)	-31.4787	-103.8568	-75.8083	107.5039	449.3814	824.1425	1469.3565
F (lb/ft)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
dQy (lb/ft)	34.1972	-352.2728	-1167.8821	-2181.0617	-3304.8664	-3978.6067	-4881.5967
Qy (lb/ft)	-34.1972	352.2728	1167.8821	2181.0617	3304.8664	3978.6067	4881.5967
Qyr (lb/ft)	23985.8028	24352.2728	25167.8821	26181.0617	27304.8664	27978.6067	28681.5967
Myr (ft. lb/ft)	-71.5420	-200.7090	-135.8943	183.8520	748.5236	1324.3187	2318.5389

Tabel B

PERHITUNGAN BERDASARKAN KOEFISIEN MEMBRAN

d (ft)	50	75	100	125	150	175	200
r (ft)	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100
Cf 0.0H	-0.0110	0.0180	0.0250	0.0870	0.1340	0.1340	0.2340
Cm	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F (lb/ft)	-343.2000	842.4000	1580.0000	5226.0000	12542.4000	14632.8000	29203.2000
M (ft. lb/ft)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Fr (lb/ft)	23858.8000	24842.4000	2638.3177	29226.0000	36542.4000	38632.8000	53203.2000
Mr (ft. lb/ft)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cf 0.1H	0.0980	0.1190	0.1370	0.1640	0.2030	0.2030	0.2510
Cm	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0006	0.0008	0.0010
F (lb/ft)	3057.8000	5589.2000	8548.8000	12792.0000	19000.8000	22187.8000	31324.8000
M (ft. lb/ft)	0.0000	49.8200	89.8400	149.7600	299.5200	299.5200	499.2000
Fr (lb/ft)	27057.8000	29589.2000	32548.8000	36792.0000	43000.8000	48187.8000	55324.8000
Mr (ft. lb/ft)	0.0000	89.8855	180.3431	257.1728	511.8747	481.3889	838.0421
Cf 0.2H	0.2080	0.2340	0.2450	0.2560	0.2870	0.2870	0.2730
Cm	0.0000	0.0003	0.0008	0.0015	0.0024	0.0024	0.0035
F (lb/ft)	6489.8000	10851.2000	15288.0000	19968.0000	24991.2000	29156.4000	34070.4000
M (ft. lb/ft)	0.0000	149.7600	389.3600	748.8000	1198.0800	1198.0800	1747.2000
Fr (lb/ft)	30489.8000	34951.2000	39288.0000	34299.8783	42882.8575	53158.4000	58070.4000
Mr (ft. lb/ft)	0.0000	299.7634	721.3728	1265.8629	2048.8988	1925.4875	2928.1474
Cf 0.3H	0.3230	0.3440	0.3460	0.3390	0.3220	0.0322	0.2850
Cm	0.0001	0.0008	0.0018	0.0028	0.0047	0.0047	0.0068
F (lb/ft)	10077.8000	16089.2000	21590.4000	26442.0000	30139.2000	3516.2400	35568.0000
M (ft. lb/ft)	49.9200	399.3600	798.7200	1397.7600	2348.2400	2348.2400	3394.5600
Fr (lb/ft)	34077.8000	40089.2000	45590.4000	50442.0000	51487.2683	27516.2400	59568.0000
Mr (ft. lb/ft)	113.0779	797.8038	1442.7452	2400.2775	4008.1185	3770.7072	5885.0683
Cf 0.4H	0.4370	0.4410	0.4280	0.4030	0.3570	0.3570	0.2850
Cm	0.0004	0.0019	0.0029	0.0047	0.0071	0.0071	0.0089
F (lb/ft)	13834.4000	20838.8000	26707.2000	31434.0000	33415.2000	38984.4000	35568.0000
M (ft. lb/ft)	189.8800	848.4800	1447.8800	2348.2400	3544.3200	3544.3200	4842.0800
Fr (lb/ft)	37834.4000	44838.8000	50707.2000	55434.0000	57415.2000	82984.4000	59568.0000
Mr (ft. lb/ft)	452.3118	1895.7824	2614.9758	4029.0372	6054.8172	5896.1748	8276.8168
Cf 0.5H	0.5420	0.5040	0.4470	0.4290	0.3620	0.3620	0.2740
Cm	0.0007	0.0032	0.0048	0.0090	0.0090	0.0090	0.0120
F (lb/ft)	18910.4000	23587.2000	27892.8000	33482.0000	38883.2000	39530.4000	34185.2000
M (ft. lb/ft)	349.4400	1597.4400	2298.3200	4492.8000	4492.8000	4492.8000	5990.4000
Fr (lb/ft)	40910.4000	47587.2000	51892.8000	57462.0000	57883.2000	63530.4000	58185.2000
Mr (ft. lb/ft)	791.5453	3191.2143	4147.8923	5857.7969	7875.1204	7220.5032	10032.5053
Cf 0.6H	0.6080	0.5140	0.4690	0.4090	0.3300	0.3300	0.2320
Cm	0.0019	0.0048	0.0059	0.0077	0.0097	0.0097	0.0115
F (lb/ft)	18889.8000	24055.2000	29285.8000	31902.0000	30888.0000	36036.0000	28953.8000
M (ft. lb/ft)	848.4800	2298.3200	2945.2800	3843.8400	4842.2400	4842.2400	5740.8000
Fr (lb/ft)	42989.8000	48055.2000	53265.8000	55902.0000	54888.0000	60036.0000	52953.8000
Mr (ft. lb/ft)	2148.4800	4587.3706	5380.8318	6600.7831	8272.9284	7782.0336	9614.4842
Cf 0.7H	0.5980	0.4470	0.3980	0.3340	0.2620	0.2620	0.1720
Cm	0.0028	0.0051	0.0059	0.0089	0.0077	0.0077	0.0075
F (lb/ft)	18857.8000	20919.8000	24835.2000	28052.0000	24523.2000	28610.4000	21485.8000
M (ft. lb/ft)	1447.8800	2545.9200	2945.2800	3444.4800	3843.8400	3843.8400	3744.0000
Fr (lb/ft)	42657.8000	44919.8000	48835.2000	50052.0000	48523.2000	52610.4000	45485.8000
Mr (ft. lb/ft)	3278.2588	5085.9878	5360.8318	5914.9695	6586.4919	6177.5417	6270.3158
Cf 0.8H	0.4400	0.3010	0.2580	0.2100	0.1570	0.1570	0.1040
Cm	0.0028	0.0028	0.0028	0.0023	0.0012	0.0012	-0.0021
F (lb/ft)	13728.0000	14088.8000	18181.6000	18380.0000	14695.2000	17144.4000	12979.2000
M (ft. lb/ft)	1397.7800	1447.8900	1397.7800	1148.1800	599.0400	599.0400	-1048.3200
Fr (lb/ft)	37728.0000	38088.8000	40181.6000	40380.0000	38885.2000	41144.4000	38879.2000
Mr (ft. lb/ft)	3188.1811	2892.0380	2544.0287	1971.8585	1023.3494	982.7338	-1755.8884
Cf 0.9H	0.1780	0.1120	0.0920	0.0730	0.0520	0.0520	0.0310
Cm	-0.0012	-0.0041	-0.0058	-0.0080	-0.0012	-0.0012	-0.0182
F (lb/ft)	5584.8000	5241.8000	5740.8000	5694.0000	4867.2000	5678.4000	3868.8000
M (ft. lb/ft)	-599.0400	-2046.7200	-2695.3600	-3893.6000	-599.0400	-599.0400	-9085.4400
Fr (lb/ft)	29584.8000	29241.8000	29740.8000	29894.0000	28867.2000	29878.4000	27868.8000
Mr (ft. lb/ft)	-1357.0797	-4886.5489	-5229.9512	-6857.9357	-10148.2148	-9547.1098	-15488.7790
Cf 1.0H	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cm	-0.0122	-0.0187	-0.0222	-0.0268	-0.0333	-0.0333	-0.0436
F (lb/ft)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
M (ft. lb/ft)	-8080.2400	-9335.0400	-11082.2400	-13378.5600	-16623.3600	-16623.3600	-21785.1200
Fr (lb/ft)	24000.0000	24000.0000	24000.0000	24000.0000	24000.0000	24000.0000	24000.0000
Mr (ft. lb/ft)	-13795.5032	-18648.3307	-20018.0691	-22974.0845	-28397.9456	-26715.8620	-36451.4358

LAMPIRAN 2. GAYA CINCIN

Tabel 1 a gaya cincin melingkar ($Q_y = \text{lb/ft}$)
Rumus umum kondisi jepit penuh

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.0H	-34.1972	352.2728	1167.6821	2161.0617	3304.8664	3978.6067	4661.5967
0.1H	3182.4353	5369.8564	7987.2480	10558.1794	12824.9322	14696.9019	16506.6188
0.2H	6329.9904	10580.2352	14690.1928	18450.5426	21599.7405	24177.7265	26870.6508
0.3H	9970.0644	15637.2038	20901.5223	25369.4317	29329.4972	32027.6579	36796.9138
0.4H	13072.4537	20329.7354	26040.7852	31227.1831	35143.1304	37258.6617	40122.1785
0.5H	16705.2787	23720.8496	30278.1541	33882.5945	36296.2713	39545.0567	41625.6932
0.6H	18857.4354	25633.2185	29853.2564	32657.1076	36206.8181	38420.9213	39131.8190
0.7H	18565.2543	23682.5988	27027.2735	30842.3224	33193.4739	33967.6065	39569.4078
0.8H	14671.6102	17832.1399	21028.6604	22680.6604	27876.4337	27181.0096	31793.2941
0.9H	9656.8585	13087.2246	13847.3084	17805.2149	17148.6449	20491.0169	23933.4392

Tabel 1 b gaya cincin melingkar ($F_y = \text{lb/ft}$)
Koefisien membran kondisi jepit penuh

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.0 H	-343.2000	842.4000	1560.0000	5226.0000	12542.4000	14632.8000	29203.2000
0.1 H	3057.6000	5569.2000	8548.8000	12792.0000	19000.8000	22167.6000	31324.8000
0.2 H	6489.6000	10951.2000	15288.0000	19968.0000	24991.2000	29156.4000	34070.4000
0.3 H	10077.6000	16099.2000	21590.4000	26442.0000	30139.2000	35162.4000	35568.0000
0.4 H	13643.4000	20638.8000	26707.2000	31434.0000	33415.2000	38984.4000	35568.0000
0.5 H	16910.4000	23587.2000	29764.8000	33462.0000	33883.2000	39530.4000	34195.2000
0.6 H	18969.6000	24055.2000	29265.6000	31902.0000	30888.0000	36036.0000	28953.6000
0.7 H	18657.6000	20919.6000	24853.2000	26052.0000	24523.2000	28610.4000	21465.6000
0.8 H	13728.0000	14086.8000	16161.6000	16380.0000	14695.2000	17144.4000	12979.2000
0.9 H	5584.4000	5241.6000	5740.8000	5694.0000	4867.2000	5768.4000	3868.8000

Tabel 1 c gaya cincin melingkar ($F_p = \text{lb/ft}$)
Koefisien membran kondisi jepit parsial

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.0H	-311.5389	780.7363	1461.0960	9423.4146	11892.7037	13931.8889	27894.8966
0.1H	2783.6390	5161.5347	8006.8061	12051.3433	18016.5585	21105.7720	29921.4489
0.2H	5908.1318	10149.5723	14318.7408	18811.8530	23696.6558	27759.8084	32544.0460
0.3H	9174.6470	14920.7388	20221.5687	24911.0080	28577.9894	33478.1210	33974.5536
0.4H	12412.7578	19128.0402	25013.9635	29613.9717	31684.2926	37117.0472	33974.5536
0.5H	15395.2282	21860.6174	27877.7117	31524.5505	32128.0502	37636.8938	32663.2550
0.6H	17269.9235	22294.3598	27410.1610	30054.8745	29288.0016	34309.8756	27656.4787
0.7H	16985.8790	19388.2856	23260.7233	24543.5894	23253.8982	27239.9618	20503.9411
0.8H	12497.9712	13055.6465	15136.9546	15431.5981	13933.9886	16323.1832	12397.7318
0.9H	5084.4019	4857.9150	5376.8333	5364.3175	1770.4790	5406.4046	3695.4778

Tabel 2 a gaya cincin melingkar ($Q_{yr} = \text{lb/ft}$) dengan tekanan sisa 200 psi
Rumus umum kondisi jepit penuh

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.0H	23965.8028	24352.2728	25167.6821	26161.0617	27304.8664	27978.6067	28661.5967
0.1H	27182.4353	29738.8564	31987.2480	34596.1794	36824.9322	38696.9019	40506.6188
0.2H	30329.9904	34580.2351	38690.1928	42450.5426	45599.7405	48177.7265	50870.6508
0.3H	33970.0644	39637.2038	44901.5223	49369.4317	53239.4972	57602.6579	60796.9138
0.4H	37072.4537	44329.7354	50040.7852	55227.1831	59143.1304	61258.6617	64122.1785
0.5H	40705.2787	47720.8496	54278.1541	57882.5946	60296.2713	63545.0567	65625.6932
0.6H	42857.4354	49633.2185	53853.2564	56657.1076	60206.8181	62420.9213	63131.8190
0.7H	42567.2543	47682.5988	51027.2735	54842.3224	57193.4739	57967.6065	63569.4078
0.8H	38671.6102	41832.1399	45028.5767	46680.6604	51876.4337	51181.0096	55793.2941
0.9H	33656.8585	37087.2245	37847.3084	41805.2149	41148.6449	44491.0169	47933.4392

Tabel 2 b gaya cincin melingkar ($F_{yr} = b/r$) dengan tekanan sisa 200 psi
Koefisien membran kondisi jepit penuh

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.0H	23656.8000	24842.4000	25560.0000	29226.0000	36542.4000	38632.8000	53203.2000
0.1H	27057.6000	29569.2000	32548.8000	36792.0000	43000.8000	46167.6000	55324.8000
0.2H	30489.0000	34951.2000	39288.0000	43968.0000	48991.2000	53156.4000	58070.4000
0.3H	34077.6000	40099.2000	45590.4000	50442.0000	54139.2000	59162.4000	59568.0000
0.4H	37634.4000	44638.8000	50707.2000	55434.0000	57415.2000	62984.4000	59568.0000
0.5H	40910.4000	47587.2000	53764.8000	57462.0000	57883.2000	63530.4000	58195.2000
0.6H	42969.6000	48055.2000	53265.6000	55902.0000	54888.0000	60036.0000	52953.6000
0.7H	42657.6000	44919.6000	48835.2000	50052.0000	48523.2000	52610.4000	45465.6000
0.8H	37728.0000	38086.8000	40161.6000	40380.0000	38695.2000	41144.4000	36979.2000
0.9H	39584.8000	29241.6000	20740.8000	29694.0000	28867.2000	29678.4000	27868.8000

Tabel 2.c gaya cincin melingkar ($F_{rp} = b/r$) dengan tekanan sisa 200 psi
Koefisien membran kondisi jepit parsial

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.0H	23688.4611	24780.7363	25461.096	33423.4146	35892.7037	37931.8889	51894.8966
0.1H	26783.639	29161.5347	32006.8061	36051.3433	42016.5585	45105.772	53921.4489
0.2H	29908.1318	35014.9572	38318.7408	42811.853	47696.6558	51759.8084	56544.046
0.3H	33174.647	38920.7388	44221.5687	48911.008	52577.9894	57478.121	57974.5536
0.4H	36412.7578	43128.0402	49013.9635	53613.9717	55684.2926	61117.0472	57974.5536
0.5H	39395.2282	45860.6174	51877.7117	55524.5505	56128.0502	61636.8938	56663.255
0.6H	41269.9238	46294.3598	51410.161	54054.8745	53288.0016	58309.8756	51656.4787
0.7H	40985.879	43388.2856	47260.7233	48543.5894	47252.8982	51239.9618	44503.9411
0.8H	36497.9712	37055.6465	39136.9546	39431.5981	37933.9886	40323.1832	36397.7318
0.9H	29084.4019	28857.915	25376.8333	25364.3175	25770.479	29406.4046	27695.4778

LAMPIRAN 3. MOMEN VERTIKAL

Tabel 3 a momen vertikal (My = ft. lb/ft)
Rumus umum kondisi jepit penuh

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.1H	-58.8256	-84.6384	96.9790	517.5595	953.9190	1863.4684	2441.4513
0.2H	-69.6502	39.0012	432.2811	993.5250	1899.8009	2849.2213	3621.5187
0.3H	-31.2887	261.8600	972.8853	1853.2285	2788.1954	4488.3704	4889.3695
0.4H	138.9648	751.5167	1710.1104	2615.2833	3727.7573	4994.0990	6021.7340
0.5H	439.1311	1462.3096	2533.1963	3603.7548	4731.8174	5683.1497	6611.5248
0.6H	995.0190	2061.7358	3159.5777	4073.3259	4867.6293	5557.4297	6087.2717
0.7H	1537.1025	2413.9377	3041.8528	3592.5029	3933.9734	3984.4938	4728.9150
0.8H	1319.3242	1379.0098	1329.3107	867.5053	1271.7460	145.6449	480.4665
0.9H	-487.6329	-1462.5939	-3116.7276	-3550.1683	-6299.6334	-4888.2322	-7381.5170
1.0H	-6318.1104	-9024.7856	-11524.5489	-13845.6907	-16007.2995	-18023.3884	-19904.8148

Tabel 3 b momen vertikal (My = ft. lb/ft)
Koefisien membran kondisi jepit penuh

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.1H	0.0000	49.0920	99.8400	149.7600	299.5200	299.5200	499.2000
0.2H	0.0000	149.7600	399.3600	748.8000	1198.0800	1198.0800	1747.2000
0.3H	49.9200	399.3600	798.7200	1397.7600	2346.2400	2346.2400	3394.5600
0.4H	199.6800	948.4800	1447.6800	2346.2400	3544.3200	3544.3200	4942.0800
0.5H	349.4400	1597.4400	2296.3200	3294.7200	4492.8000	4492.8000	5990.4000
0.6H	948.4800	2296.3200	2945.2800	3843.8400	4842.2400	4842.2400	5740.8000
0.7H	1447.6800	2545.9200	2945.2800	3444.4800	3843.8400	3843.8400	3744.0000
0.8H	1397.7600	1447.6800	1397.7600	1148.1600	599.0400	599.0400	-1048.3200
0.9H	-599.0400	-2446.0800	-2895.3600	-3993.6000	-5940.4800	-5940.4800	-9235.2000
1.0H	-6090.2400	-9335.0400	-11082.2400	-13378.5600	-16623.3600	-16623.3600	-21765.1200

Tabel 3 c momen vertikal (Mp = ft. lb/ft)
Koefisien membran kondisi jepit parsial

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.1H	0.0000	46.2659	93.5101	141.0889	284.0049	285.1730	476.8358
0.2H	0.0000	138.7976	374.0406	705.4445	1136.0195	1140.6920	1668.9254
0.3H	9.0312	370.1268	748.0812	1316.6297	2224.7048	2233.8551	3242.4837
0.4H	181.7887	879.0513	1355.8941	2210.3927	3360.7242	3374.5471	4720.6748
0.5H	318.1302	1480.5074	2150.7333	3103.9557	4260.0730	4277.5979	5722.0301
0.6H	863.4962	2128.2294	2758.5492	3621.2817	4591.4120	4610.2967	5483.6122
0.7H	1317.9679	2359.5587	2758.5492	3245.0446	3644.7291	3659.7201	3576.2688
0.8H	1272.5207	1341.7098	1309.1420	1082.0961	568.0097	570.3460	-1001.3553
0.9H	-545.3660	-2267.0269	-2711.7942	-3762.3706	-5632.7631	-5655.9310	-8821.4630
1.0H	-5544.5545	-8651.7151	-10379.6260	-12603.9414	-15762.2700	-15827.1011	-20790.0426

Tabel 4 a momen vertikal (Myr = ft. lb/ft) dengan tekanan sisa 200 psi
Rumus umum kondisi jepit penuh

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.1H	-133.6933	-163.8841	173.8495	884.1616	1584.6740	2994.4123	3849.1115
0.2H	-158.2946	75.5174	779.9289	1697.2669	3155.9967	4578.4213	5709.5668
0.3H	-71.1102	507.0357	1744.0436	3165.9227	4631.8198	7212.3743	7708.4184
0.4H	315.8264	1455.1506	3065.6306	4467.7624	6192.6433	8025.0310	9493.6669
0.5H	998.0166	2831.4482	4541.1361	6156.3963	7860.6131	9132.2684	10423.5117
0.6H	2261.3873	3992.1082	5694.6646	6958.5779	8086.2272	8930.2486	9596.9915
0.7H	3493.3844	4424.5772	5452.9796	6137.1743	6535.2148	6402.6936	7455.4513
0.8H	2998.4380	2670.1562	2382.9898	1481.9838	2112.6562	234.0372	757.4876
0.9H	-1108.2470	-3324.0482	-5587.2038	-6064.8530	-10465.1082	-11068.7187	-11637.4559
1.0H	-14359.2170	-17474.5577	-20759.4906	-23652.9851	-26591.7253	-28961.8307	-31381.2736

Tabel 4.b momen vertikal ($M_{yr} = \text{ft. lb/ft}$) dengan tekanan sisa 200 psi
Koefisien membran kondisi jepit penuh

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.1H	0.0000	99.6855	180.3431	257.1726	511.6747	481.3669	836.0421
0.2H	0.0000	299.7634	721.3726	1285.8629	2046.6988	1925.4675	2926.1474
0.3H	113.0779	797.8030	1442.7452	2400.2775	4008.1185	3770.7072	5685.0863
0.4H	452.3116	1895.7824	2614.9756	4029.0372	6054.8172	5696.1748	8276.8168
0.5H	791.5453	3191.2143	4147.8923	5657.7969	7675.1204	7220.5032	10032.5053
0.6H	2148.4800	4587.3706	5320.1228	6600.7631	8272.9284	7782.0336	9614.4842
0.7H	3279.2589	5085.9978	5320.1228	5914.9695	6566.4919	6177.5417	6270.3158
0.8H	3166.1811	2892.0380	2524.8040	1971.6565	1023.3494	962.7338	-1755.6884
0.9H	-1357.0797	-4686.5469	-5229.9512	-6857.9357	-10148.2148	-9547.1098	-15466.7790
1.0H	-13795.5032	-18648.3307	-20018.0891	-22974.0845	-28397.9456	-26715.8620	-36451.4358

Tabel 4.c momen vertikal ($M_{yxp} = \text{ft. lb/ft}$) dengan tekanan sisa 200 psi
Koefisien membran kondisi jepit parsial

y	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
0.1H	0.0000	96.0174	174.0132	248.5015	496.1596	467.0199	813.6779
0.2H	0.0000	288.2140	696.0532	1242.5074	1984.6383	1868.0796	2847.8727
0.3H	21.5819	768.5703	1392.1064	2318.9949	3886.5833	3658.3223	5533.0100
0.4H	434.4203	1825.3548	2523.1871	3893.1899	5871.2214	5526.4019	8055.4116
0.5H	760.2355	3074.2817	4002.3056	5467.0326	7442.3935	7005.2982	9764.1354
0.6H	2063.4962	4419.2800	5133.3919	6378.3048	8021.2463	7550.1546	9357.2964
0.7H	3149.5469	4899.6365	5133.3919	57215.5341	6367.3810	5993.4218	6102.5846
0.8H	3040.9418	2786.0677	2436.1860	1905.9082	992.3191	934.0398	-1708.7237
0.9H	-1303.2607	-4707.4937	-5046.3834	-6626.7063	-9840.4979	-9262.5608	-15053.0419
1.0H	-13249.8177	-17965.3334	-19315.1751	-22199.4658	-27536.8557	-25919.6030	-35476.3584

LAMPIRAN 4. TEGANGAN, M_n , S , L , R , t_{c0} , Δ

Tabel 5.a tegangan beton maksimum dinding (psi) kondisi jepit penuh

Akibat momen vertikal positif maksimum

	d=50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
kosong							
f1	-219.9112	-111.5068	-97.4593	-20.6209	79.7090	50.2553	185.2836
f2	-613.4222	-721.8266	-735.8741	-812.7125	-913.0424	-883.5887	-1018.6170
penuh							
f1	-306.7718	-264.2620	-274.1761	-251.2513	-210.8554	-240.2791	-174.1404
f2	-526.5616	-569.0714	-559.1573	-582.0821	-622.4780	-593.0543	-659.1930

Akibat momen vertikal pada dasar dinding

	d=50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
kosong							
f1	-1244.3969	-1535.5665	-1617.7520	-1795.1118	-2120.5434	-2019.6184	-2603.7528
f2	411.0635	702.2331	784.4186	961.7784	1287.2100	1186.2850	1770.4194
penuh							
f1	-878.9825	-975.4641	-1012.8176	-992.3982	-1123.1418	-1022.2168	-1297.8456
f2	45.6491	142.1503	179.4842	159.0648	289.8084	188.8834	464.5122

Tabel 5.b tegangan beton maksimum dinding (psi) kondisi jepit parsial

Akibat momen vertikal positif maksimum

	d=50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
kosong							
f1	-227.6939	-122.6885	-108.6632	-33.9744	64.6081	36.3426	169.1814
f2	-605.6395	-710.6449	-724.6702	-799.3590	-897.9415	-869.6760	-1002.5148
penuh							
f1	-306.7718	-264.2620	-274.1761	-251.2513	-210.8554	-240.2791	-174.1404
f2	-526.5616	-569.0714	-559.1573	-582.0821	-622.4780	-593.0543	-659.1930

Akibat momen vertikal pada dasar dinding

	d=50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
kosong							
f1	-1211.6554	-1494.5867	-1575.5952	-1746.6346	-2068.8780	-1971.8429	-2545.2482
f2	378.3224	661.2533	782.2618	915.3012	1235.5446	1138.5095	1711.9148
penuh							
f1	-878.9825	-975.4641	-1012.8176	-992.3982	-1123.1418	-1022.2168	-1297.8456
f2	45.6491	142.1503	179.4842	159.0648	289.8084	188.8834	464.5122

Tabel 6.a momen nominal jepit penuh

	d=50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
Mn perlu	19926.8380	26936.4777	28915.0176	33184.7887	41019.2548	38589.5784	52652.0739
Mn tersedia	27988.0390	27988.0390	29311.5653	33688.3094	42533.0606	40451.0219	52764.8000

Tabel 6.b momen nominal jepit parsial

	d=50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
Mnp perlu	19138.6256	25949.9260	27900.1307	32065.8950	39775.4582	37439.4266	51243.6288
Mnp tersedia	27988.0390	27988.0390	27988.0390	33688.3094	40451.0219	40451.0219	52764.8000

Tabel 7 Modifier factor (S), lebar toe cantilever (L) dan R

	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
S	0.0896	0.0732	0.0634	0.0579	0.0518	0.0479	0.0448
L (ft)	2.9929	3.7336	4.0867	4.5018	5.0184	5.0184	5.7779
R (%)	9.7797	7.9851	6.9153	6.1852	5.6463	5.6463	4.8898

Tabel 8 kontrol tebal dinding

	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
t co	0,5575	0.9229	1.2302	1.5378	1.8454	2.1529	2.4605

Tabel 9 kontrol lendutan

	d = 50 ft	d = 75 ft	d = 100 ft	d = 125 ft	d = 150 ft	d = 175 ft	d = 200 ft
Δ_i	0.0148	0.0333	0.0592	0.0925	0.1332	0.1812	0.2367
Δ_f	0.0252	0.0566	0.1006	0.1575	0.2264	0.3081	0.4024

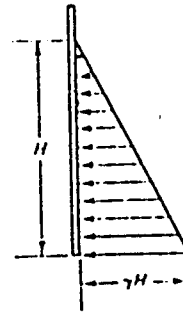
LAMPIRAN 5. PERSYARATAN-PERSYARATAN

TABEL 10. Tabel fungsi ϕ , ψ , ζ dan θ

βx	ϕ	ψ	ζ	θ
0	1,0000	1,0000	1,0000	0
0,1	0,9907	0,8100	0,9003	0,0903
0,2	0,9051	0,6398	0,8024	0,1627
0,3	0,8267	0,4888	0,7077	0,2189
0,4	0,7534	0,3564	0,6174	0,2610
0,5	0,6831	0,2415	0,5323	0,2908
0,6	0,6229	0,1431	0,4530	0,3099
0,7	0,6097	0,0590	0,3798	0,3199
0,8	0,6354	-0,0093	0,3131	0,3223
0,9	0,5712	-0,0657	0,2527	0,3185
1,0	0,5083	-0,1108	0,1988	0,3096
1,1	0,4476	-0,1457	0,1510	0,2967
1,2	0,3899	-0,1710	0,1091	0,2807
1,3	0,3355	-0,1897	0,0729	0,2626
1,4	0,2849	-0,2011	0,0419	0,2430
1,5	0,2384	-0,2068	0,0158	0,2226
1,6	0,1959	-0,2077	-0,0059	0,2018
1,7	0,1576	-0,2017	-0,0235	0,1812
1,8	0,1234	-0,1985	-0,0376	0,1610
1,9	0,0932	-0,1899	-0,0484	0,1415
2,0	0,0667	-0,1791	-0,0563	0,1230
2,1	0,0439	-0,1675	-0,0618	0,1057
2,2	0,0244	-0,1548	-0,0652	0,0895
2,3	0,0080	-0,1416	-0,0668	0,0748
2,4	-0,0036	-0,1282	-0,0669	0,0613
2,5	-0,0166	-0,1149	-0,0658	0,0492
2,6	-0,0254	-0,1019	-0,0636	0,0383
2,7	-0,0320	-0,0895	-0,0608	0,0287
2,8	-0,0360	-0,0777	-0,0573	0,0204
2,9	-0,0403	-0,0660	-0,0534	0,0132
3,0	-0,0423	-0,0563	-0,0493	0,0071
3,1	-0,0431	-0,0469	-0,0450	0,0019
3,2	-0,0431	-0,0383	-0,0407	-0,0024
3,3	-0,0422	-0,0306	-0,0364	-0,0058
3,4	-0,0408	-0,0237	-0,0323	-0,0085
3,5	-0,0389	-0,0177	-0,0283	-0,0106
3,6	-0,0366	-0,0124	-0,0245	-0,0121
3,7	-0,0341	-0,0079	-0,0210	-0,0131
3,8	-0,0314	-0,0040	-0,0177	-0,0137
3,9	-0,0286	-0,0008	-0,0147	-0,0140
4,0	-0,0258	0,0019	-0,0120	-0,0139
4,1	-0,0231	0,0040	-0,0095	-0,0136
4,2	-0,0204	0,0057	-0,0071	-0,0131
4,3	-0,0179	0,0070	-0,0054	-0,0125
4,4	-0,0155	0,0079	-0,0038	-0,0117
4,5	-0,0132	0,0085	-0,0023	-0,0108
4,6	-0,0111	0,0089	-0,0011	-0,0100
4,7	-0,0092	0,0090	0,0001	-0,0091
4,8	-0,0075	0,0089	0,0007	-0,0082
4,9	-0,0059	0,0087	0,0014	-0,0073
5,0	-0,0046	0,0084	0,0019	-0,0065
5,1	-0,0033	0,0080	0,0023	-0,0057
5,2	-0,0023	0,0075	0,0026	-0,0049
5,3	-0,0014	0,0069	0,0028	-0,0042
5,4	-0,0006	0,0064	0,0029	-0,0035
5,5	0,0000	0,0058	0,0029	-0,0029
5,6	0,0005	0,0052	0,0029	-0,0023
5,7	0,0010	0,0046	0,0028	-0,0018
5,8	0,0013	0,0041	0,0027	-0,0014
5,9	0,0015	0,0036	0,0026	-0,0010
6,0	0,0017	0,0031	0,0024	-0,0007
6,1	0,0018	0,0026	0,0022	-0,0004
6,2	0,0019	0,0022	0,0020	-0,0002
6,3	0,0019	0,0018	0,0018	-0,0001
6,4	0,0018	0,0015	0,0017	0,0003
6,5	0,0018	0,0012	0,0015	0,0004
6,6	0,0017	0,0009	0,0013	0,0005
6,7	0,0016	0,0006	0,0011	0,0006
6,8	0,0015	0,0004	0,0010	0,0006
6,9	0,0014	0,0002	0,0008	0,0006
7,0	0,0013	0,0001	0,0007	0,0006

Tabel 11. Koefisien Membran

Moments in Cylindrical Wall
 Triangular Load
 Fixed Base, Free Top
 Mom. = coef. $\times \gamma H^2$ ft. lb. per ft.
 Positive sign indicates tension in the outside

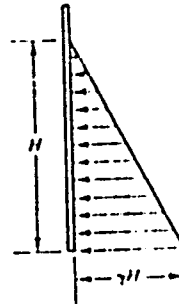


Liquid Load

$\frac{H^2}{dt}$	Coefficients at point									
	0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H	1.0H
0.4	+0.0005	+0.0014	+0.0021	+0.0007	-0.0042	-0.0150	-0.0302	-0.0529	-0.0816	-0.1205
0.8	+0.0011	+0.0037	+0.0063	+0.0080	+0.0070	+0.0023	-0.0068	-0.0224	-0.0465	-0.0795
1.2	+0.0012	+0.0042	+0.0077	+0.0103	+0.0112	+0.0090	+0.0022	-0.0108	-0.0311	-0.0602
1.6	+0.0011	+0.0041	+0.0075	+0.0107	+0.0121	+0.0111	+0.0058	-0.0051	-0.0232	-0.0505
2.0	+0.0010	+0.0035	+0.0068	+0.0099	+0.0120	+0.0115	+0.0075	-0.0021	-0.0185	-0.0436
3.0	+0.0006	+0.0024	+0.0047	+0.0071	+0.0090	+0.0097	+0.0077	+0.0012	-0.0119	-0.0333
4.0	+0.0003	+0.0015	+0.0028	+0.0047	+0.0066	+0.0077	+0.0069	+0.0023	-0.0080	-0.0268
5.0	+0.0002	+0.0008	+0.0016	+0.0029	+0.0046	+0.0059	+0.0059	+0.0028	-0.0058	-0.0222
6.0	+0.0001	+0.0003	+0.0008	+0.0019	+0.0032	+0.0046	+0.0051	+0.0029	-0.0041	-0.0187
8.0	.0000	+0.0001	+0.0002	+0.0008	+0.0016	+0.0028	+0.0038	+0.0029	-0.0022	-0.0146
10.0	.0000	.0000	+0.0001	+0.0004	+0.0007	+0.0019	+0.0029	+0.0028	-0.0012	-0.0122
12.0	.0000	-0.0001	+0.0001	+0.0002	+0.0003	+0.0013	+0.0023	+0.0026	-0.0005	-0.0104
14.0	.0000	.0000	.0000	.0000	+0.0001	+0.0008	+0.0019	+0.0023	-0.0001	-0.0090
16.0	.0000	.0000	-0.0001	-0.0002	-0.0001	+0.0004	+0.0013	+0.0019	+0.0001	-0.0079

Notes: 1-Tables 11.4-11.16 Adapted from Ref. 11.5.
 2-0.0H is the top and 1.0H is the bottom of the wall, except if wall is fixed at top and with shear and moment at top.
 3-Shear acting inwards is positive; moment applied at an edge is positive when outward rotation results at that edge.

Tension in Circular Rings
 Triangular Load
 Fixed Base, Free Top
 $F = \text{coef.} \times \gamma H R$ lb. per ft.
 Positive sign indicates tension



'Liquid Load'—Fixed

$\frac{H^2}{dt}$	Coefficients at point									
	0.0H	0.1H	0.2H	0.3H	0.4H	0.5H	0.6H	0.7H	0.8H	0.9H
0.4	+0.149	+0.134	+0.120	+0.101	+0.082	+0.066	+0.049	+0.029	+0.014	+0.004
0.8	+0.263	+0.239	+0.215	+0.190	+0.160	+0.130	+0.096	+0.063	+0.034	+0.010
1.2	+0.283	+0.271	+0.254	+0.234	+0.209	+0.180	+0.142	+0.099	+0.045	+0.016
1.6	+0.265	+0.268	+0.268	+0.266	+0.250	+0.266	+0.185	+0.134	+0.075	+0.023
2.0	+0.234	+0.251	+0.273	+0.285	+0.285	+0.274	+0.232	+0.172	+0.104	+0.031
3.0	+0.134	+0.203	+0.267	+0.322	+0.357	+0.362	+0.330	+0.262	+0.157	+0.052
4.0	+0.067	+0.164	+0.256	+0.339	+0.403	+0.429	+0.409	+0.334	+0.210	+0.073
5.0	+0.025	+0.137	+0.245	+0.346	+0.428	+0.477	+0.469	+0.398	+0.259	+0.092
6.0	+0.018	+0.119	+0.234	+0.344	+0.441	+0.504	+0.514	+0.447	+0.301	+0.112
8.0	+0.011	+0.104	+0.218	+0.335	+0.443	+0.534	+0.575	+0.530	+0.381	+0.151
10.0	-0.011	+0.098	+0.208	+0.323	+0.437	+0.542	+0.603	+0.589	+0.440	+0.179
12.0	-0.005	+0.097	+0.202	+0.312	+0.429	+0.543	+0.628	+0.633	+0.494	+0.211
14.0	-0.002	+0.098	+0.200	+0.306	+0.420	+0.539	+0.639	+0.666	+0.541	+0.241
16.0	0.000	+0.099	+0.199	+0.304	+0.412	+0.531	+0.641	+0.687	+0.582	+0.265

TABEL 12.a ALLOWABLE CONCRETE STRESSES IN CIRCULAR TANKS

Type and limit of stress	Concrete situ-cast and precast		Shotcrete situ-cast	
	Temporary ^a stresses f_{ci} , psi	Service load stresses f_c , psi	Temporary ^a stresses f_{gi} , psi	Service load stresses f_g , psi
Axial compression, f_c	$0,55 f_{ci}$	$0,45 f_c$	$0,45 f_{gi}$ but not more than $1.600+40t_c$ psi	$0,38 f_g$
Axial tension	0	0	0	0
Flexural compression, f_c	$0,55 f_{ci}$	$0,4 f_c$	$0,45 f_{gi}$	$0,38 f_g$
Maximum flexural tension ^b , f_t	$3\sqrt{f'_{ci}}$	$3\sqrt{f'_c}$		
Minimum residual compression, f_{cv}	$200\left(\frac{f_{ci}}{f_c}\right)$	200 psi	$200\left(\frac{f_{ci}}{f_c}\right)$	200 psi

^a Before creep and shrinkage losses.

^b Fiber stress in precomposed tension zone.

TABEL 12.b STRESSES IN REINFORCEMENT

Type of stress	* Max allowable stress
Tendon jacking force	$0,94 f_{py} \leq 0,85 f_{pu}$
Immediately after prestress transfer	$0,82 f_{py} \leq 0,75 f_{pu}$
Post-tensioning tendons at anchorage and couplers, immediately after tendon anchorage	$0,70 f_{pu}$
Service load stress, f_{pe}	$0,55 f_{pu}$
Nonprestressed mild steel at initial prestressing, f_u	$f_y / 1,6$
Final service load stress, f_s (psi), potable water storage	
60 grade steel	24.000
corrosive storage	18.000
dry storage	$f_y / 1,8$

* 1.000 psi = 6.895 Pa.

TABEL 12.c LOAD FACTOR

Feature	Load factor
Initial liquid pressure	1,3
Internal lateral pressure from dry material	1,7
Prestressing forces :	
Final prestressing after losses	1,7
Strength reduction factor for both reinforcement and concrete, ϕ	0,9

TABEL 13 Seven-wire strand, $f_{pu} = 250$ ksi

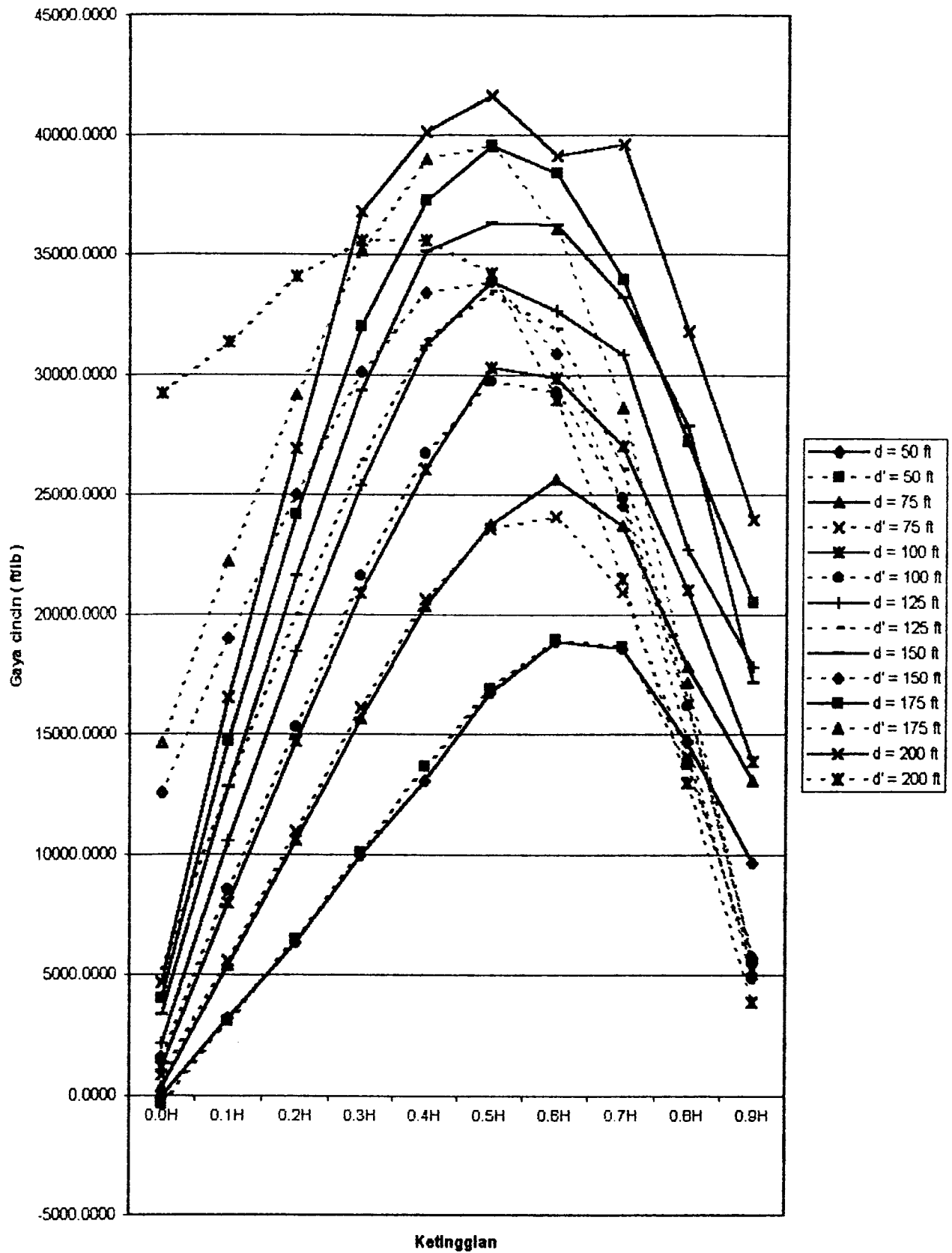
Nominal Diameter, in	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	0.600
Area, in ²	0,036	0,056	0,080	0,108	0,144	0,215
Weight, p/f	0,12	0,20	0,27	0,37	0,49	0,74
$0.7 f_{pu} A_{ps}$, kips	6,3	10,2	14,0	18,9	25,2	37,6
$0.8 f_{pu} A_{ps}$, kips	7,2	11,6	16,0	21,6	28,8	43,0
$f_{pu} A_{ps}$, kips	9,0	14,5	20,0	27,0	36,0	53,8

Sumber : Edward G. Nawy, 1996

LAMPIRAN 6. GRAFIK-GRAFIK

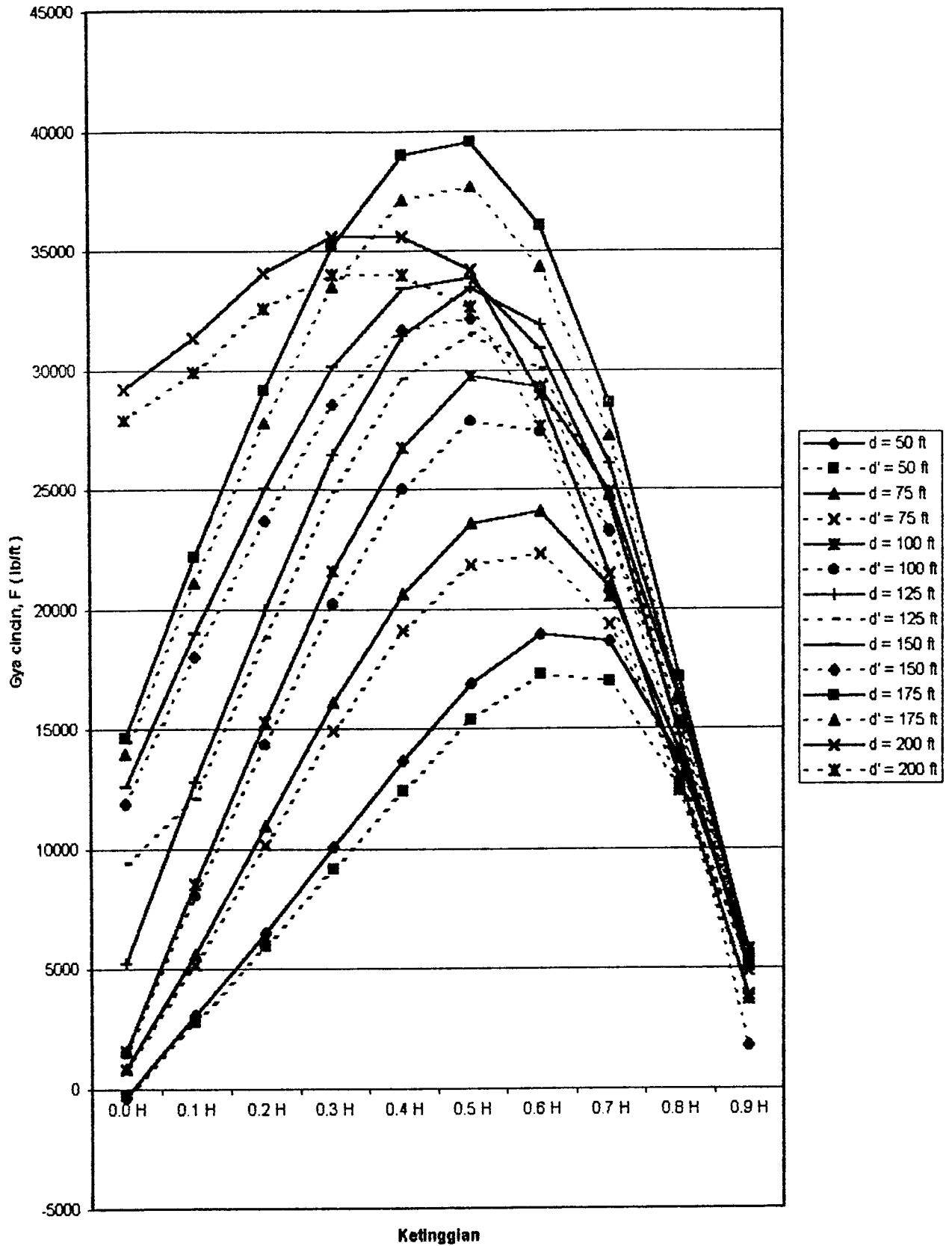
GRAFIK 1 :

Gaya cincin
Rumus umum dan koef. Membran ()



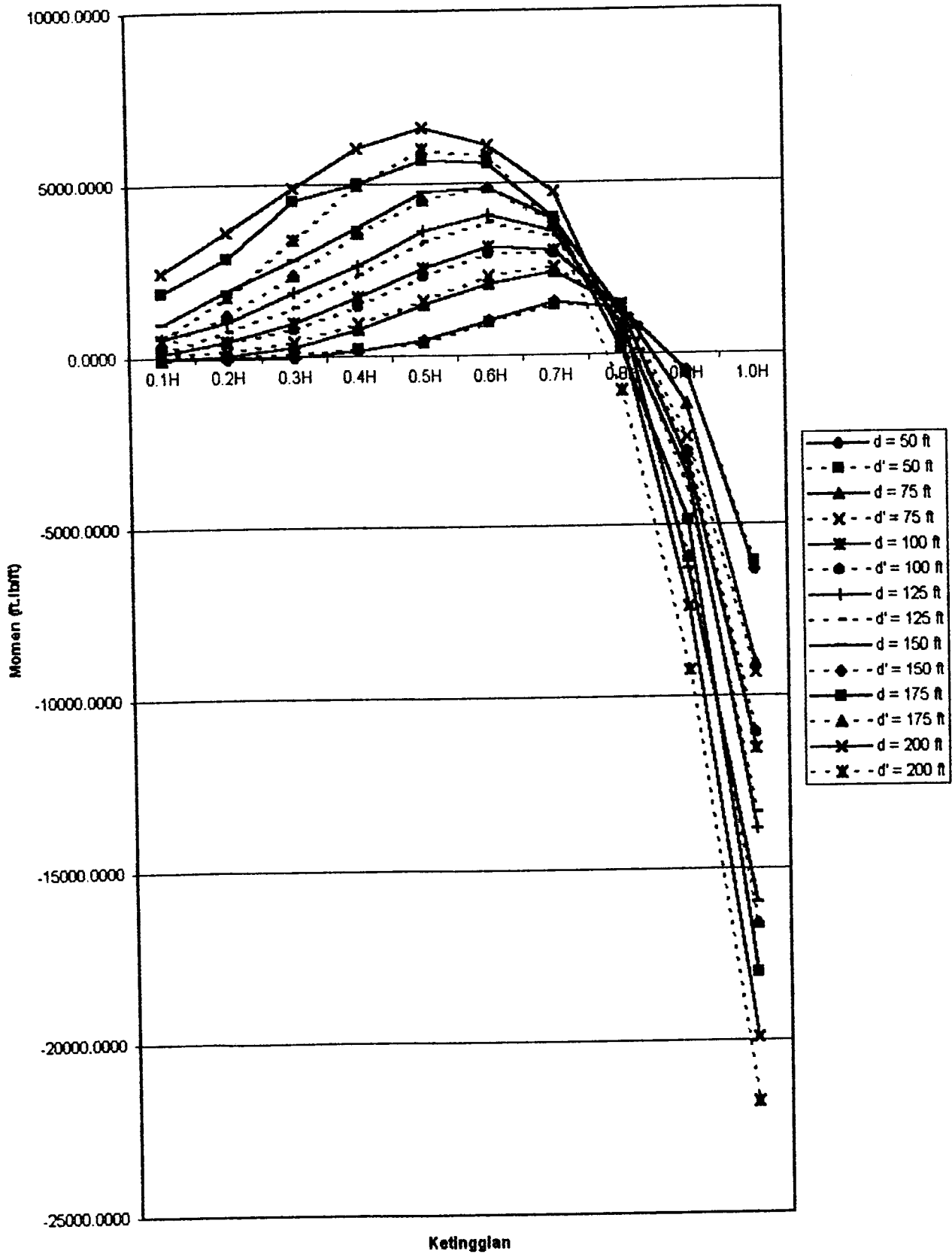
GRAFIK 2 :

**Grafik gaya cincin
kondisi jepit penuh dan parsial ()**



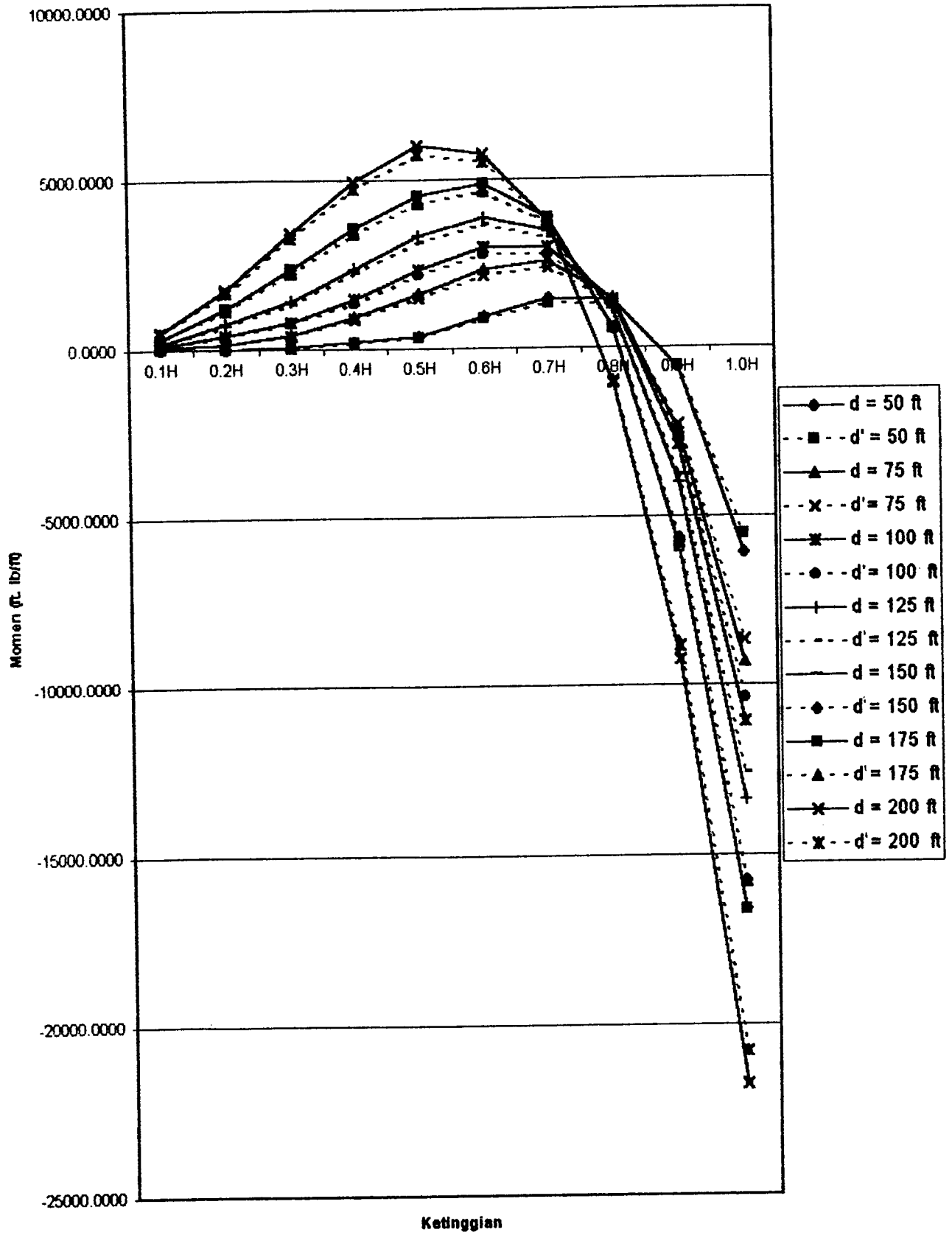
GRAFIK 3 :

Momen Vertikal
Rumus umum dan koef. Membran ()



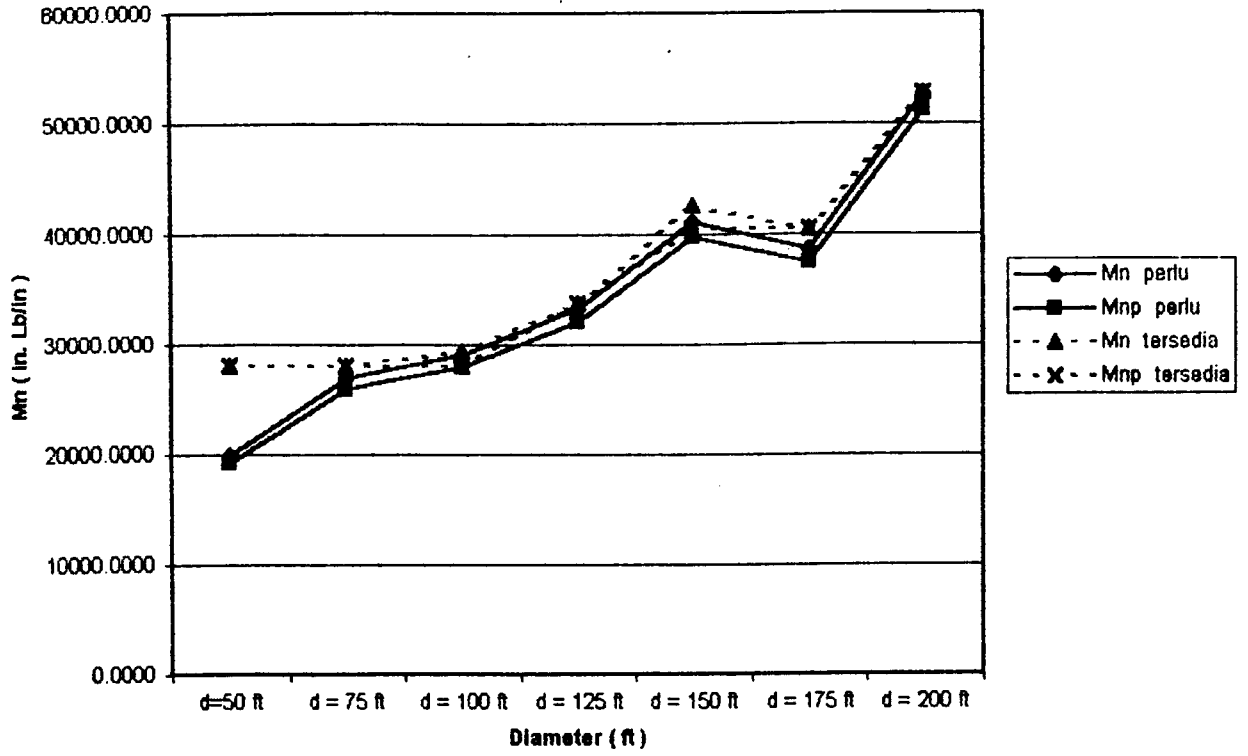
GRAFIK 4 :

Momen Vertikal
jepit penuh dan jepit parsial ()

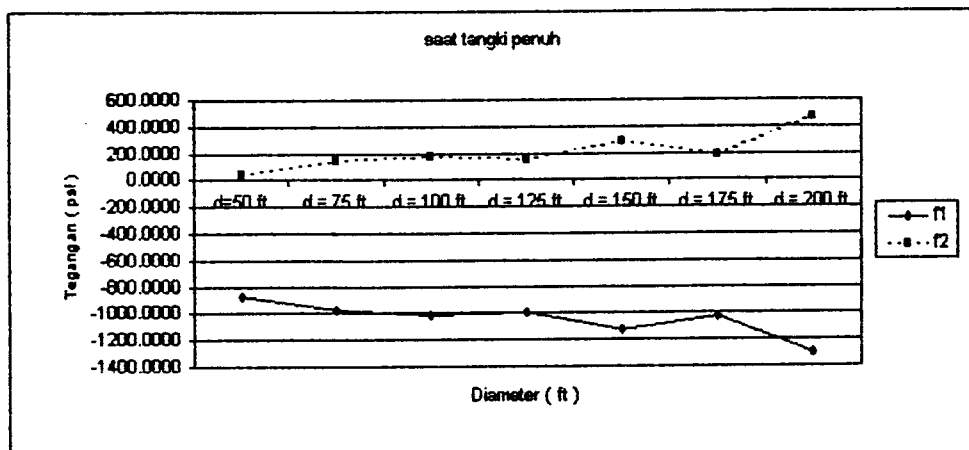
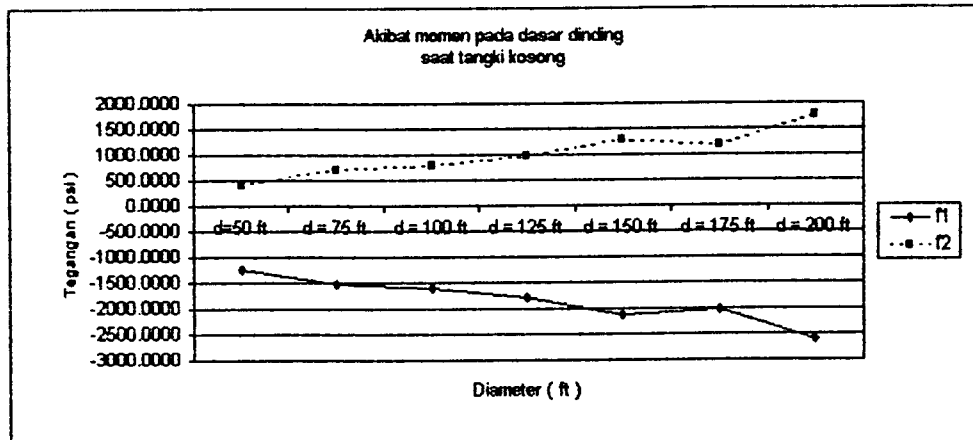
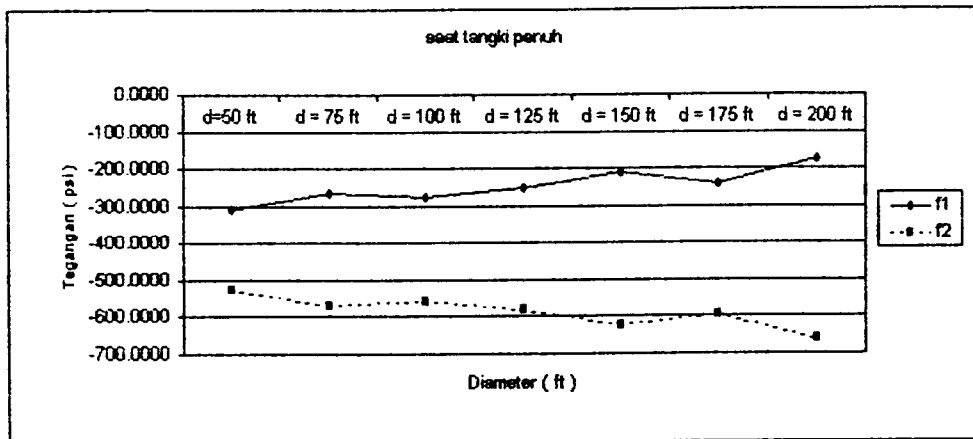
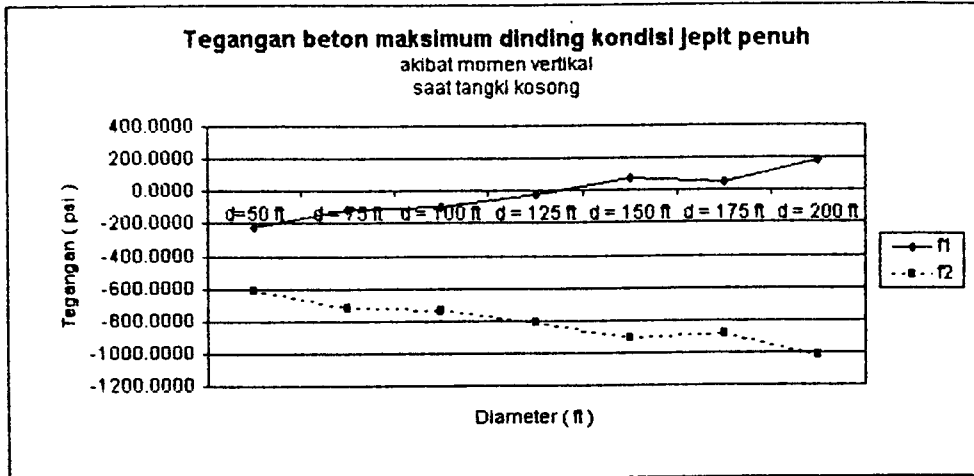


GRAFIK 5 :

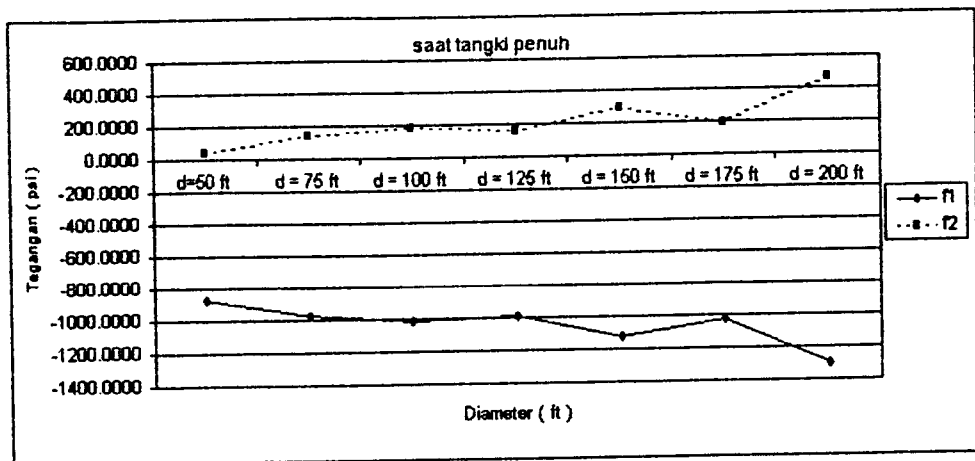
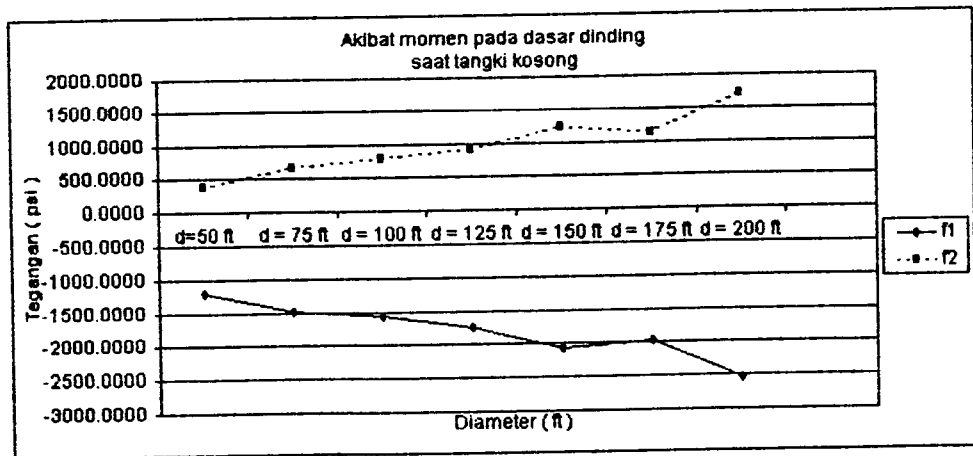
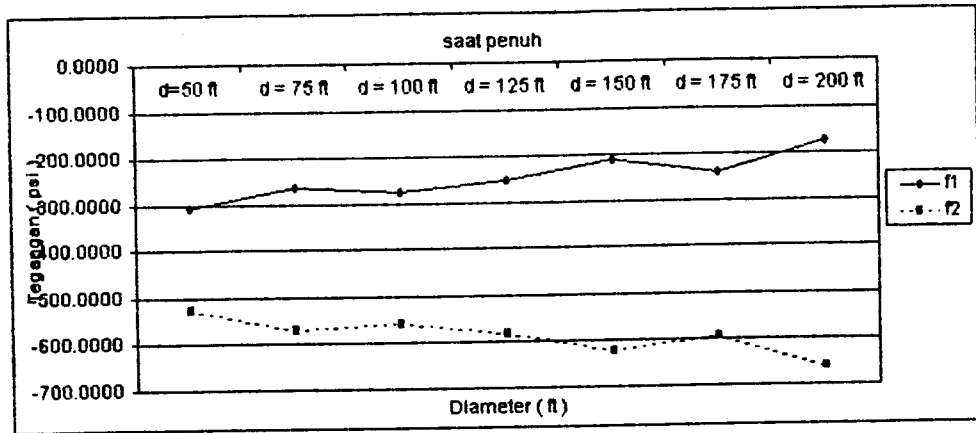
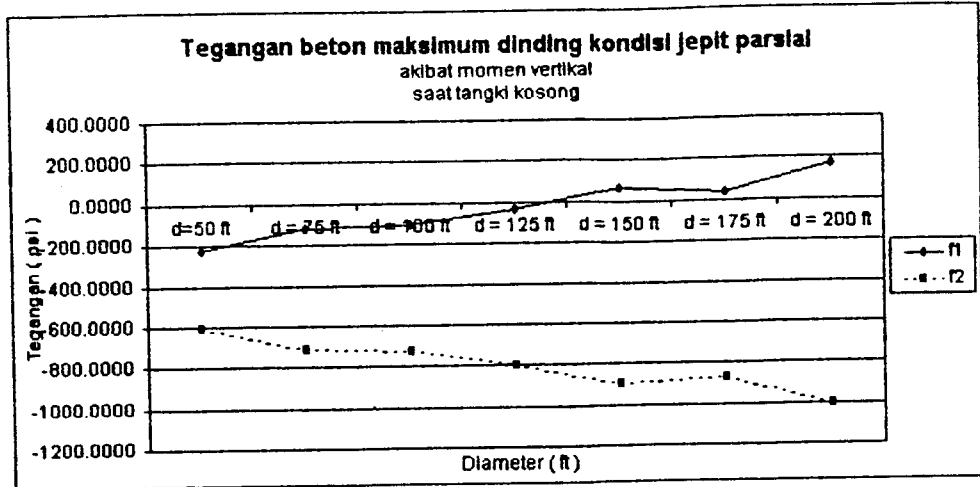
Grafik Momen Nominal



GRAFIK 6 :



GRAFIK 7 :





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	SLAMET WIDODO	92310023		STRUKTUR
2.	HARATUL ISMAH	02310320		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I : : IR. H.M. SAMSUDIN, MT
Dosen Pembimbing II : : IR. A. KADIR ABOE, MS




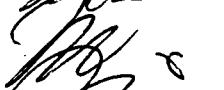




Yogyakarta, 02 Oktober 1997
An. Dekan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan



IR. BADEP... LISTIONO, MSCE

CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke:	KETERANGAN	Paraf
1	1/06/98		→ WMS WPPM Jember	
2	8/06/98	→	Pucubun	
3	19/06/98	→	TMS	
4	18/07/98	→	TMS	
5	6/08/98	→	bisa lagi & rencana pelan	
6	11/08/98	→	ada dapat ditembak ke Bpk. Pucubun I	
7	19/8-98	→	Per bali sesuai konsultasi lntisri dll.	