

20.825/H/04



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PARKIR PLAZA MARINA DENGAN BETON PRATEKAN

Oleh :

WELMAN HUTABARAT

3197 100 056

R55
690.538
Hut
m
2004



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	16-7-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	220305

PROGRAM SARJANA (S-1)
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PARKIR PLAZA MARINA DENGAN BETON PRATEKAN

SURABAYA, JULI 2004

MENGETAHUI / MENYETUJUI

DOSEN PEMBIMBING



BUDI SUSWANTO, ST, MT.
NIP. 132 206 828

**PROGRAM SARJANA (S-1)
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004**

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PARKIR
PLAZA MARINA DENGAN BETON PRATEKAN

Oleh :

Welman Hutabarat

3197 100 056

Dosen pembimbing :

Budi Suswanto, ST .MT

Abstrak

Dalam pembangunan gedung parkir Plaza Marina didesain dengan konstruksi beton bertulang yang memerlukan cukup banyak kolom karena beton bertulang kurang efisien untuk bentang yang diatas 10 m. Sehingga sangat berpengaruh terhadap luasan parkir yang dihasilkan.

Masalah yang akan dibahas dalam penyusunan tugas akhir ini adalah bagaimana mendesain struktur dengan beton pratekan dan meletakkan posisi balok pratekan sehingga diperoleh luasan parkir yang lebih baik. Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menggunakan beberapa langkah pelaksanaan, antara lain : studi literatur yang berpedoman pada 'Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung' (SK SNI-T-15-1991-03), analisa perhitungan untuk elemen struktur dengan program bantu SAP 2000, analisa dimensi struktur, perencanaan pondasi dan menggambar hasil perencanaan struktur tersebut.

Hal yang diharapkan penulis dengan perencanaan baru atas Plaza Marina adalah agar penulis dapat merencanakan suatu struktur bangunan dengan baik dan benar khususnya merencanakan struktur dengan beton pratekan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan kita, Yesus Kristus atas kasih dan penyertaanNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Tugas akhir dengan judul *Modifikasi Perencanaan Gedung Parkir Plaza Marina Dengan Beton Pratekan* ini disusun sebagai persyaratan untuk melengkapi kurikulum pendidikan tingkat sarjana (S-1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Atas bimbingan, masukan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Budi Suswanto, ST, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ir. Retno Indryani, MS selaku dosen wali penyusun.
3. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc , Ph .D selaku ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya.
4. Keluarga penulis yang telah mendukung baik doa, perhatian, dan tentunya dana selama menjalani perkuliahan di ITS.
5. Team sukses : Budi Pramana, Reinhard atas bantuan dan dukungannya, juga Eko Ferdianto, Wayan Eka dan Boyke Sinaga.
6. Teman-teman satu kost Nunung, bang Rudi, Angga, Waren dan Robert; thanks for everything.
7. Irwan Sitorus yang selalu bersedia membantu, kak Novri atas dukungan doanya, Rina dan Lister atas printernya, bang Joseph yang selalu motivasi dan menyemangati .
8. Teman-teman di MBP Surabaya, NHKBP Manyar, PMK-ITS dan S-40 Teknik Sipil ITS yang telah menginspirasi penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
9. seluruh rekan-rekan serta jajaran staf dan karyawan Teknik Sipil ITS Surabaya.

Penulis berusaha menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Namun penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari

sempurna. Sumbangan saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan penulis dalam memberikan kesempurnaan penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis berharap agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya bagi pembaca dan rekan-rekan Teknik Sipil pada khususnya serta kemajuan Teknik Sipil di tanah air pada umumnya.

Surabaya, Juli 2004

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi	3
BAB II DASAR PERENCANAAN	
2.1 Umum	5
2.2 Data Bangunan	5
2.3 Data Tanah	5
2.4 Peraturan-Peraturan Perencanaan	5
BAB III DASAR TEORI	
3.1 Dasar Modifikasi Gedung Parkir Plasa Marina	7
4.1.1. Perencanaan Beban pada Struktur	7
4.1.2. Kombinasi Pembebanan Struktur	8
4.1.3. Perencanaan terhadap Gempa	8
4.1.4. Pengertian Daktilitas	9
4.1.5. Tingkatan Daktilitas	9



	4.1.6. Dasar Pemilihan Tingkat Daktilitas	10
3.2	Tipe Pelat	12
	3.2.1. Penulangan Lentur Pelat	14
	3.2.2. Penulangan Susut dan Suhu	14
3.3	Perencanaan Balok	15
	3.3.1. Kontrol Balok T	15
	3.3.2. Penulangan Lentur Balok	16
	3.3.3. Penulangan Geser Balok	17
	3.3.4. Penulangan Puntir Balok	18
3.4	Balok Pratekan	19
	3.4.1 Sistem Pasca Tarik Beton Pratekan	19
	3.4.2 Penentuan Gaya Prategang Awal	20
	3.4.3 Kehilangan Gaya Prategang (Loss of Prestress)	22
	3.4.4 Kehilangan Prategang Langsung	22
	3.4.5 Kehilangan Prategang Tak Langsung	26
	3.4.6 Gaya Prategang Efektif	33
	3.4.7 Momen Nominal Balok Pratekan	34
	3.4.8 Perencanaan Geser	35
3.5	Struktur Statis Tak Tentu	36
	3.5.1 Pengaruh deformasi Aksial Pada Portal	37
	3.5.2 Pengaruh Gaya Prategang terhadap Kekakuan Kolom	38
3.6	Kolom	39
	3.6.1 Panjang Tekuk Kolom	40
	3.6.2 Pembatasan Tulangan Kolom	41
	3.6.3 Kolom Pendek	41
	3.6.4 Kolom Panjang	42
	3.6.5 Faktor Pembesaran Momen	42
	3.6.6 Penulangan Lentur-Aksial Kolom	43
	3.6.7 Kontrol dengan Bresler Resiprokal Method	44
	3.6.8 Penulangan Geser dan Torsi Kolom	45
	3.6.9 Pertemuan Balok Kolom	46

3.7	Perencanaan Pondasi	48
	3.7.1 Daya Dukung Tiang Pancang	48
	3.7.2 Kontrol Beban Maksimal Tiang Pancang	50
	3.7.3 Daya Dukung Tiang Pancang akibat Gaya Horizontal	50
BAB IV	PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER	
4.1	Umum	52
4.2	Kriteria Perencanaan	52
4.3	Preliminary Design	52
4.4	Perencanaan Pelat	54
	4.4.1 Data Perencanaan Pelat	54
	4.4.2 Kontrol Tebal Pelat Lantai	54
	4.4.3 Pembebanan Pelat Lantai	57
	4.4.4 Penulangan Pelat Lantai	58
	4.4.5 Kontrol Lendutan	60
	4.4.6 Kontrol Retak	62
	4.4.7 Kontrol Kuat Geser	62
4.5	Perencanaan Ramp	63
	4.5.1 Perencanaan Dimensi Ramp	64
	4.5.2 Perencanaan Pelat Ramp	64
	4.5.3 Kontrol Tebal Pelat Ramp	64
	4.5.4 Pembebanan Pelat Ramp	67
	4.5.5 Penulangan Pelat Ramp	68
	4.5.6 Kontrol Lendutan	70
	4.5.7 Kontrol Retak	72
	4.5.8 Perencanaan Balok Anak Ramp	72
	4.5.9 Perencanaan Balok Utama Ramp	75
4.6	Balok Anak	77
	4.6.1 Perencanaan Lentur Balok Anak	78
	4.6.2 Perencanaan Tulangan Geser	80

BAB V	PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA	
5.1	Umum	82
5.2	Perencanaan Balok Pratekan	82
	5.2.1 Tegangan Ijin Beton Pratekan	82
	5.2.2 Perhitungan Daerah Limit Kabel	84
	5.2.3 Perhitungan Kehilangan Gaya Pratekan	85
	5.2.4 Kontrol Tegangan yang Terjadi	96
	5.2.5 Kontrol Kekuatan Batas Balok Pratekan	98
	5.2.6 Penulangan Geser Balok Pratekan	101
	5.2.7 Kontrol Lendutan	103
	5.2.8 Perhitungan Momen	105
	5.2.9 Perhitungan Tulangan Momen Negatif	105
5.3	Perencanaan Balok Induk	107
	5.3.1 Perhitungan Tulangan daerah Tumpuan	107
	5.3.2 Perhitungan Tulangan di daerah Lapangan	109
	5.3.3 Perhitungan Tulangan Torsi	110
	5.3.4 Perhitungan Geser	110
	5.3.5 Perhitungan Panjang Penyaluran	111
	5.3.6 Kontrol Retak	113
	5.3.7 Kontrol Lendutan	113
5.4	Perencanaan Kolom	114
	5.4.1 Data Perencanaan Kolom	114
	5.4.2 Penulangan Lentur-Aksial Kolom	114
	5.4.3 Perhitungan Geser dan Torsi	117
	5.4.4 Perencanaan Beam-Coloumn Joint	119
5.5	Perencanaan Pondasi	122
	5.5.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang	122
	5.5.2 Perhitungan Jumlah Tiang	122
	5.5.3 Kontrol Kekuatan Tiang terhadap Gaya Lateral	124
	5.5.4 Perencanaan Poer/Pile Cap	125
	5.5.5 Perencanaan Sloof/Tie Beam	128

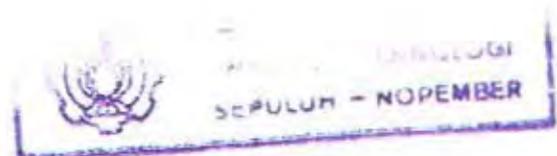
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1	Kesimpulan	130
6.2	Saran	131
DAFTAR PUSTAKA		132

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
3.1	Kehilangan tegangan akibat slip ankur	24
3.2	Penentuan sudut pusat tendon	26
3.3	Kurva perbandingan rangkai terhadap waktu	27
3.4	Kurva perbandingan susut terhadap waktu	30
3.5	Kurva variasi relaksasi baja terhadap waktu	32
3.6	Pengaruh gaya prategang terhadap kolom	37
3.7	Distribusi beban pada balok	45
4.1	Pelat Terjepit Elastis	58
4.2	Distribusi Tegangan Pons	63
4.3	Perencanaan Ramp	63
4.4	Pelat Terjepit Elastis	68
4.5	Beban trapezium	78
4.6	Beban Segitiga	78
4.7	Pembebanan Balok Anak	78
5.1	Dimensi Balok Pratekan	83
5.2	Daerah Limit Kabel Pratekan	85
5.3	Pertemuan Balok-Kolom	119
5.4	Rencana Penempatan Tiang Pancang	123
5.5	Kontrol Geser Pons	126
5.6	Permodelan Poer	127

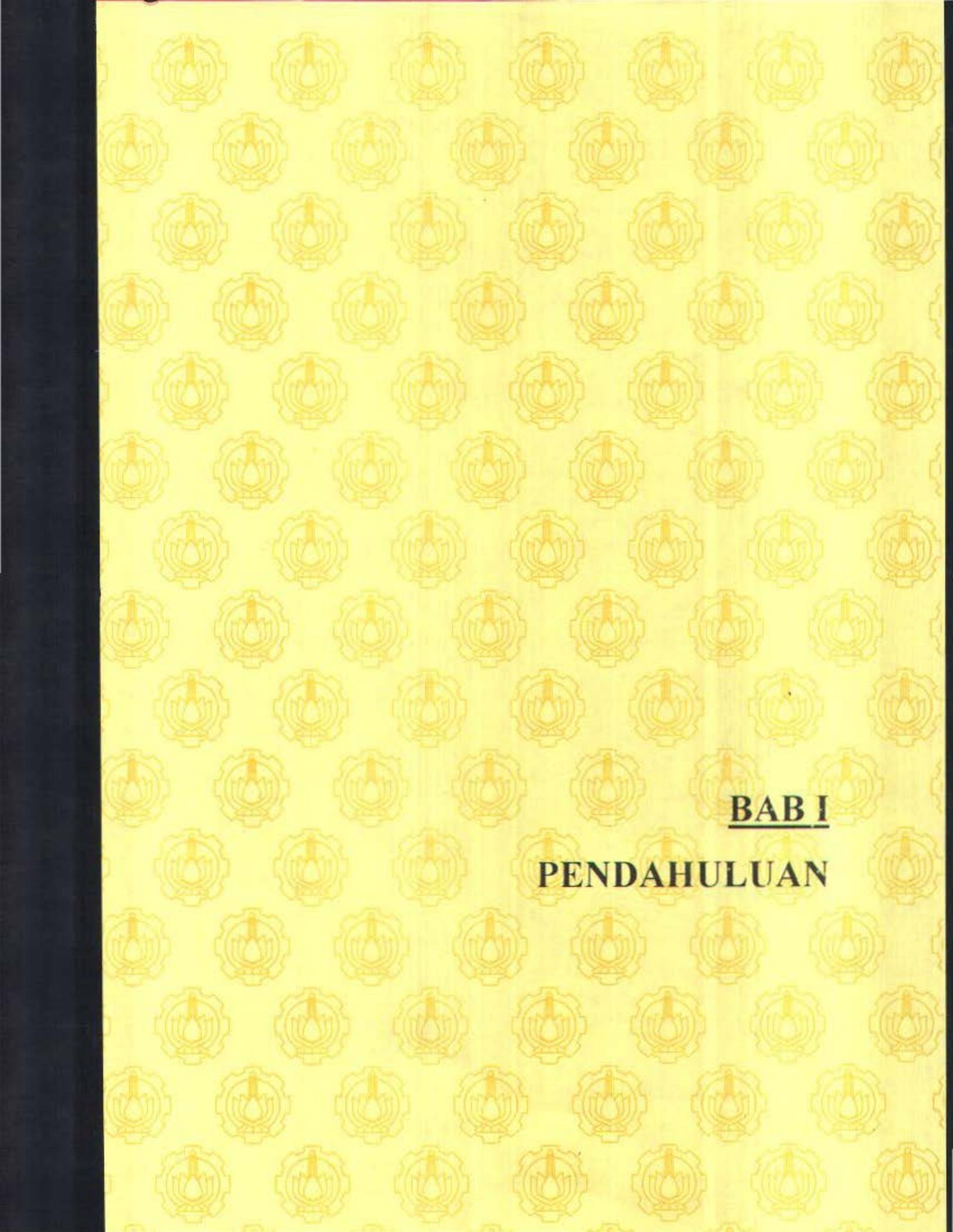
DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
3.1.	Koefisien Gesekan untuk Tendon Pasca-tarik	25
3.2.	Selang Waktu Mimnum Pasca-tarik	27
3.3	Faktor Creep SCF	28
3.4.	Faktor Creep MCF	29
3.5.	Faktor Variasi Creep menurut waktu setelah transfer AUC	29
3.6.	Faktor Susut SSF	31
3.7.	Koefisien Shrinkage untuk beberapa waktu perkerasan AUS	31
3.8.	Faktor Prosentase Kehilangan Prategang	33
4.1	Dimensi Balok	53
4.2	Dimensi Kolom	53
5.1	Tahapan Waktu Perhitungan	87



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A : Perencanaan Pelat
- Lampiran B : Pembebanan
- Lampiran C : Analisa Struktur Utama
- Lampiran D : Perencanaan Balok Anak
- Lampiran E : Perencanaan Balok Induk
- Lampiran F : Perencanaan Kolom
- Lampiran G : Daya Dukung Pondasi
- Lampiran H : Metode Pelaksanaan
- Lampiran I : Gambar



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cepatnya perkembangan dan pertumbuhan ekonomi di kota-kota besar dapat terlihat dari berbagai dampak yang ditimbulkannya, salah satunya pertumbuhan kendaraan roda empat yang tidak sebanding dengan lahan parkir yang tersedia. Dimana pertumbuhan kendaraan roda empat lebih cepat dan tidak sebanding dengan luas lahan parkir yang tersedia.

Lahan yang semakin sempit menjadi masalah tersendiri bagi pemerintah daerah khususnya bagi para pemilik hotel, tempat perbelanjaan, dan tempat hiburan untuk dapat menyediakan tempat parkir yang lebih luas dan nyaman bagi para pelanggannya.

Alternatif untuk mengatasi keterbatasan lahan parkir dengan membangun lahan parkir keatas atau parkir bertingkat seperti gedung bertingkat. Salah satu gedung parkir yang bertingkat yaitu Gedung Parkir plaza Marina didesain 4 lantai dengan konstruksi beton bertulang.

Sebagai bahan studi, penulis melakukan modifikasi perencanaan struktur Gedung Parkir Plaza Marina dengan memodifikasi struktur utama (balok) menjadi balok pratekan satu arah dan didesain 7 lantai. Karena balok pratekan mampu memikul beban-beban luar pada bentang yang relatif besar, maka kolom-kolom interior gedung dapat dihilangkan. Sehingga akan diperoleh ruangan yang luas dan bebas halangan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah

1. Bagaimana mendapatkan desain struktur beton pratekan untuk parkir yang sesuai dengan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03) ?
2. Bagaimana memperoleh luasan parkir yang lebih baik dengan menggunakan struktur beton pratekan ?

1.3 Tujuan

Secara garis besar tujuan dari penyusunan tugas akhir dengan mengambil obyek Gedung Parkir Plaza Marina ini adalah untuk :

- dapat merencanakan struktur beton pratekan yang didasarkan pada metode pelaksanaan di lapangan. Perencanaan dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan dan perilaku komponen struktur pada tahap yang kritis sejak saat prategangan diberikan.
- dapat merencanakan struktur gedung secara keseluruhan yang rasional dengan memenuhi persyaratan keamanan struktur, berdasarkan kekuatan dan deformasi yang timbul akibat beban yang bekerja pada struktur tersebut, dengan tingkat daktilitas yang telah ditentukan.
- dapat melakukan pendetailan-pendetailan komponen struktur sesuai dengan tingkat daktilitas yang direncanakan.

1.4 Batasan Masalah

Pada modifikasi Gedung Parkir Plaza Marina ini hanya ditinjau dari segi teknis saja. Sedangkan segi ekonomi biaya tidak ditinjau, karena perencanaan ini sifatnya hanya sebagai bahan studi. Adapun batasan analisa yang akan dilakukan :

1. Perencanaan struktur meliputi :

- Struktur Utama : balok pratekan, balok induk dan kolom.
- Struktur Sekunder : pelat, balok anak dan anak tangga.
- Struktur Bawah : poer dan tiang pancang.

2. Kontrol pelat lantai kendaraan dengan beban T_1 .

3. Teknik pelaksanaan perencanaan beton pratekan :

- Metode sistem pratekan yang dilaksanakan dengan pasca tarik atau post-tension.
- Tendon pada balok beton pratekan ditarik setelah beton mencapai kekuatan 80 %.
- Kolom dan balok pratekan menyatu/monolit setelah tendon pada balok beton pratekan ditarik.
- Pelat lantai dicor menyatu dengan beton pratekan setelah balok beton pratekan monolit dengan kolom.

4. Untuk perencanaan gempa pada struktur gedung digunakan daktailitas terbatas, faktor daktailitasnya adalah 2.

1.5 Metodologi

Langkah-langkah yang diambil dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur dengan mengambil bahan-bahan acuan teori dari buku-buku dan peraturan yang berkaitan dengan perencanaan pembangunan gedung fungsi layan sebagai gedung parkir.

2. Preliminary design

Pada tahap ini dilakukan hal-hal sebagai berikut :

- memperkirakan dimensi awal dari elemen struktur (balok, pelat, kolom).
- penentuan mutu bahan yang dipergunakan dalam perencanaan

3. Pemodelan struktur

Pada tahap ini dilakukan pemodelan struktur yang akan dipergunakan dalam analisa struktur sekunder dan struktur utama. Selain itu juga dilakukan tinjauan pembebanan secara umum, termasuk distribusi pembebanan pada portal tiap lantainya.

4. Perencanaan struktur sekunder

Pada tahap ini dilakukan :

- perhitungan pelat atap dan lantai
- perhitungan balok anak
- perhitungan tangga.

Keseluruhan elemen struktur direncanakan dengan mempertimbangkan lendutan, geser, torsi dan retak yang terjadi. Penentuan gaya-gaya dalam elemen struktur dipakai program Bantu SAP 2000.

5. Analisa struktur utama

Dalam tahap analisa struktur utama dilakukan perhitungan gaya-gaya dalam yang terjadi pada portal akibat beban luar yang bekerja padanya. Gaya-gaya dalam yang dihitung adalah momen, gaya geser, serta gaya aksil. Beban luar yang

diperhitungkan adalah beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Dalam analisa ini dipergunakan program bantu SAP 2000.

6. Perhitungan struktur utama.

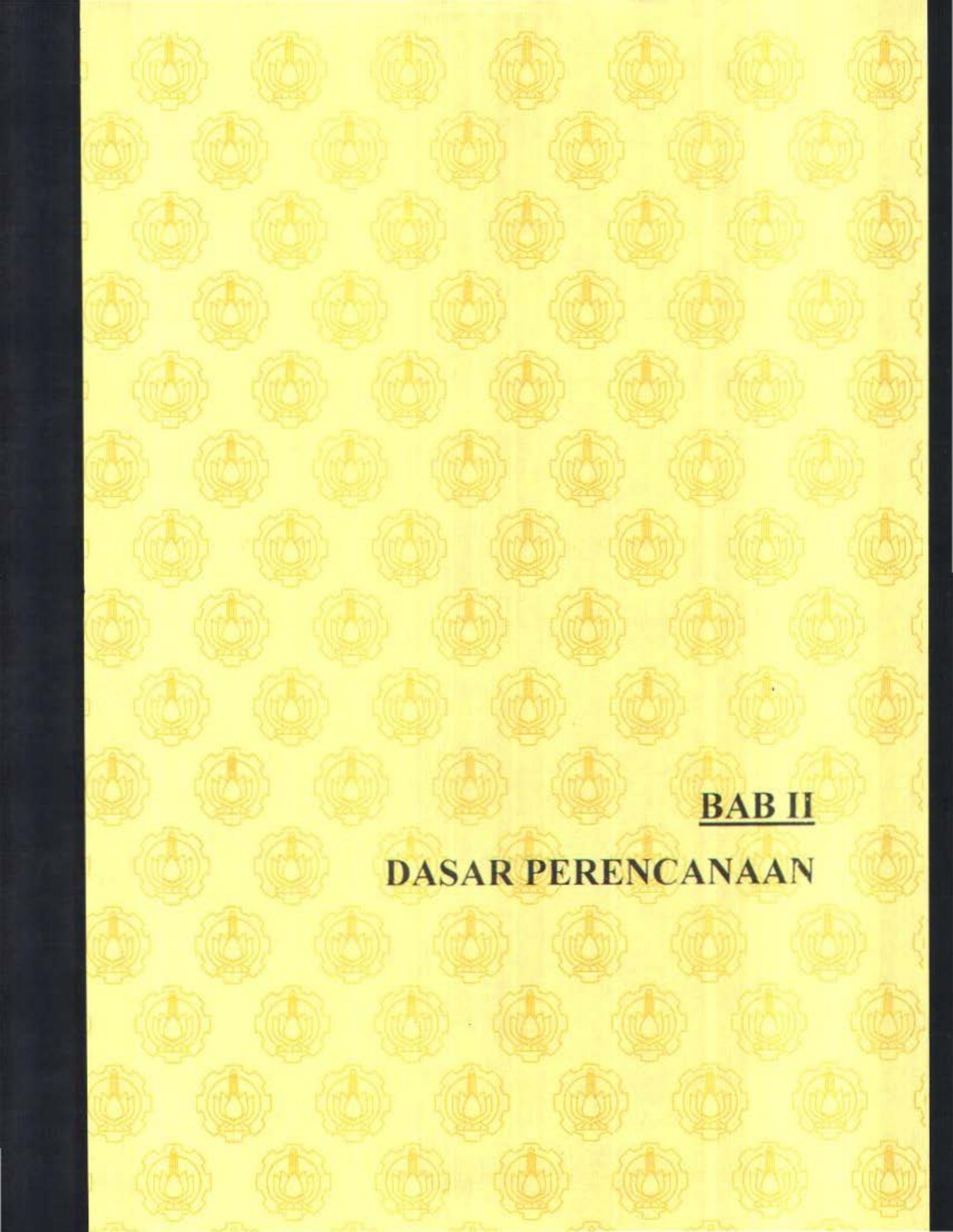
Pada tahap perhitungan struktur utama ini dilakukan perhitungan-perhitungan elemen balok beton bertulang, balok pratekan dan kolom. Dalam perencanaan balok pratekan diperhitungkan *loss of prestress* yang terjadi pada beton, sehingga akan dapat ditentukan Gaya Prategang Efektif yang diperlukan untuk perencanaan.

7. Perencanaan pondasi.

Pada tahap ini dilakukan perencanaan tiang pancang, poer dan sloof yang mampu menahan struktur atas gedung.

8. Gambar.

Menuangkan analisa struktur dan hasil perhitungan dalam bentuk gambar.



BAB II
DASAR PERENCANAAN

BAB II

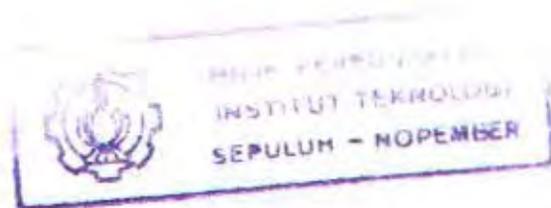
DASAR PERENCANAAN

2.1 Umum

Pada setiap perencanaan struktur, data-data lapangan dan data-data pembebanan merupakan hal mendasar yang harus ada sebelum perencanaan awal dimulai. Secara keseluruhan data tersebut mencakup data umum bangunan, data bahan, dan data tanah. Data-data berikut merupakan data-data bangunan sebelum perencanaan yang nantinya akan dipakai juga untuk bangunan yang baru dengan beberapa perubahan.

2.2 Data Bangunan

Nama Gedung	: Gedung Parkir Plaza Marina
Lokasi Gempa	: Zone 4
Fungsi	: Gedung Parkir
Jumlah lantai	: 6 lantai dan atap
Panjang	: 53 m
Lebar	: 25 m
Tinggi gedung	: 24 m
Ketinggian tiap lantai	: 4 m
Luas tiap lantai	: 1325 m



2.3 Data Tanah

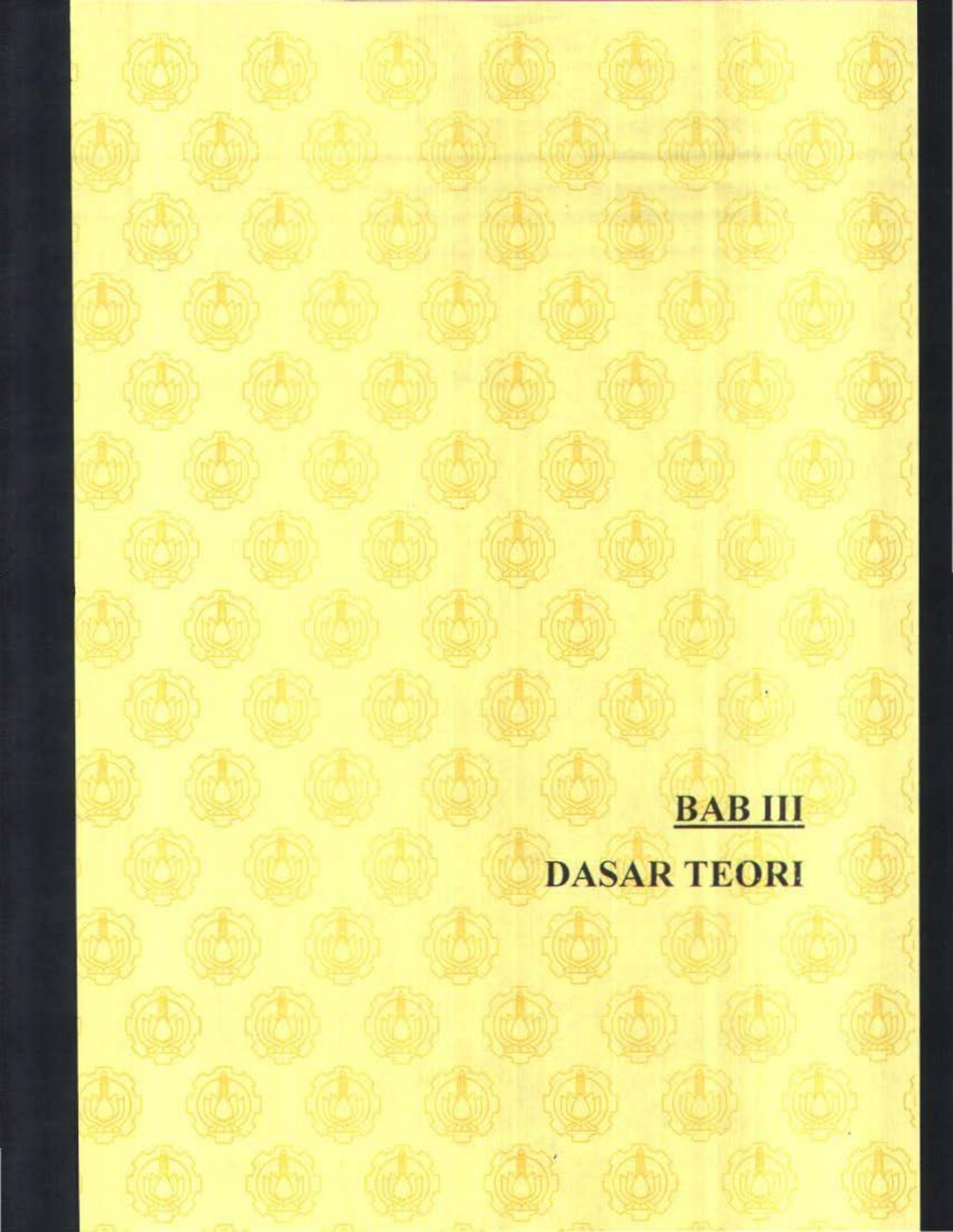
Perencanaan Pondasi pada Gedung Parkir Plaza Marina ini sesuai dengan data penyelidikan tanah di lapangan. Dari data hasil penyelidikan tanah dapat diketahui jenis tanah yang ada serta nilai SPT - nya.

2.4 Peraturan-Peraturan Perencanaan

Adapun peraturan-peraturan yang dijadikan acuan dalam perancangan struktur adalah .

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SKSNI T-15-1991-03
2. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.

3. Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung. SKBI-1.3.53.1987
4. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.1-2
5. Buku Pedoman Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983.
6. Uniform Building code 1997 yang dikeluarkan oleh International Conference of Building Officials.



BAB III
DASAR TEORI

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Dasar Modifikasi Gedung Plaza Marina

Data awal berupa bentuk struktur disesuaikan menurut desain awal gedung dengan sedikit modifikasi sesuai keperluan sedangkan ukuran elemen-elemen beton direncanakan kembali dengan dimensi yang baru. Data lainnya adalah spesifikasi material dan beban-beban yang bekerja, termasuk di dalamnya adalah beban gempa.

Berdasarkan data-data tersebut kemudian dilakukan analisa dengan menggunakan program bantu SAP 2000 dimana analisa struktur beton dilakukan pada keseluruhan struktur. Berdasarkan hasil analisa program bantu tersebut, kemudian dilakukan detailing terhadap balok dan kolom serta pertemuan balok kolom berdasarkan SKSNI-T-15-1991-03.

Khusus untuk struktur sekunder ramp, pelat, dan balok anak, dilakukan analisa dan penulangan secara terpisah.

3.1.1 Perencanaan Beban Pada Struktur

Jenis pembebanan yang dipertimbangkan dalam perencanaan gedung ini meliputi:

1. Beban Mati (DL)

ialah berat dari semua bagian konstruksi struktur gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari konstruksi gedung tersebut. Beban mati pada struktur gedung direncanakan berdasarkan PPIUG 1983.

2. Beban Hidup (LL)

ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam

pembebanan lantai dan atap tersebut. Beban hidup pada struktur gedung direncanakan berdasarkan PPIUG 1983.

3. Beban Angin (W)

ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin pada struktur gedung direncanakan berdasarkan PPIUG 1983.

4. Beban Gempa (E)

ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

3.1.2 Kombinasi Pembebanan Struktur

Untuk Modifikasi Gedung Parkir Plaza Marina dengan Beton Pratekan , kombinasi pembebanan pada struktur gedung tersebut mengacu pada peraturan SKSNI-T-1991-03 pasal 3.1.2 yang menyebutkan bahwa semua peraturan mengenai pembebanan diatur dalam Tata Cara Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung SNI-03-1727-1989F atau penggantinya.

Atau menurut SKSNI-T-15-1991-03 pasal 3.2.2 tentang ketentuan kekuatan dan kemampuan layan adalah sebagai berikut:

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 0,75.(1,2 D + 1,6 L + 1,0 W)$$

$$U = 0,9 D + 1,3 W$$

$$U = 1,05.(D + L_R \pm E)$$

$$U = 0,9(D \pm E)$$

3.1.3 Perencanaan Terhadap Gempa

Selama bangunan berdiri dan terjadi gempa, bangunan mengalami gerakan vertikal dan horisontal. Dari kedua arah gempa ini, gaya arah vertikal relatif kecil pengaruhnya terhadap struktur karena pada umumnya struktur direncanakan

berdasarkan gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai, sehingga struktur jarang sekali terjadi runtuh akibat gaya gempa vertikal.

Sebaliknya, gaya gempa horisontal yang diterima oleh titik-titik lemah pada struktur yang apabila kekuatannya tidak memungkinkan akan langsung menyebabkan keruntuhan struktur. Atas alasan inilah maka prinsip utama dalam perencanaan tahan gempa adalah meningkatkan kemampuan struktur yang umumnya lemah terhadap pengaruh gaya lateral kesamping.

Konfigurasi struktur Gedung Parkir Plaza Marina cukup beraturan dan tinggi bangunan adalah 24 m. Menurut PPTGIUG 1983 pasal 33 menyebutkan bahwa untuk gedung yang beraturan dan tingginya kurang dari 40 m, perencanaan terhadap gempa cukup dilakukan dengan analisa statik ekuivalen dan tidak perlu dengan analisa dinamis.

3.1.4 Pengertian Daktilitas

Menurut filosofi perencanaan bangunan tahan gempa sesuai PPTGIUG 1983, bahwa perencanaan dari suatu struktur gedung pada daerah gempa haruslah menjamin struktur bangunan tersebut agar tidak mudah rusak atau runtuh akibat gempa kecil atau sedang, tetapi boleh rusak namun tidak runtuh akibat gempa yang kuat.

Hal ini dapat dicapai jika struktur gedung tersebut mampu melakukan perubahan bentuk secara daktil, dengan cara memancarkan energi gempa serta membatasi gaya gempa yang bekerja padanya. Melelehnya elemen-elemen struktur akibat gempa kuat, ditandai dengan terbentuknya sendi plastis. Jadi pada fase ini perilaku struktur tidak lagi linier.

Suatu ukuran bagi kemampuan struktur untuk memancarkan energi adalah perbandingan antara simpangan maksimum (Δ_u) dan simpangan awal pada suatu kelelahan pertama (Δ_y) yang disebut sebagai faktor daktilitas.

Untuk menjamin tersedianya daktilitas yang cukup dalam struktur tersebut harus dipenuhi syarat-syarat pendetailan yang diatur dalam buku Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Untuk Gedung 1983.

3.1.5 Tingkatan Daktilitas

Mengenai tingkat daktilitas, berdasarkan SK SNI-15-1991-03 pasal 3.14.1 sebagai berikut:

1. Tingkat Daktilitas 1 (*Elastis*)

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail pada struktur bangunan sangat sedikit sekali (struktur sepenuhnya elastis). Beban rancang lateral dasar harus dikalikan dengan suatu factor tipe struktur (K) sebesar = 4.

2. Tingkat Daktilitas 2 (*Terbatas*)

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respon inelastic terhadap beban siklis yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan getas. Beban rancang lateral dasar harus dikalikan dengan suatu factor tipe struktur (K) sebesar minimum = 2.

3. Tingkat Daktilitas 3 (*Pemuh*)

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respon inelastic terhadap beban siklis yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme sendi plastis dengan kapasitas disipasi energi yang diperlukan tanpa mengalami kernetuhan. Beban rancang dikalikan minimum = 1.

3.1.6 Dasar Pemilihan Tingkat Daktilitas

Bila suatu gedung direncanakan dengan daktilitas 1 maka beban gempa yang direncanakan adalah empat kali beban gempa yang dihitung sesuai dengan analisa respon spectrum. Karena besarnya beban gempa tersebut, maka dimensi penampang menjadi sangat besar sehingga perencanaan bangunan menjadi tidak ekonomis lagi.

Perencanaan dengan tingkat daktilitas 3 akan memerlukan prosedur desain yang lebih kompleks dan rumit karena harus menghitung kapasitas dari struktur tersebut. Selain itu untuk mencapai nilai daktilitas yang diisyaratkan, dibutuhkan pengaturan pemasangan tulangan yang cukup rumit pada tempat-tempat yang diharapkan akan terjadi sendi plastis.

Pada struktur dengan daktilitas terbatas atau daktilitas 2, faktor daktilitasnya adalah 2. Artinya beban hanya dikalikan 2, sehingga tuntutan daktilitas untuk mengatasi gempa kuat yang melampaui taraf gempa rencana tidak setinggi perencanaan pada struktur

dengan daktilitas penuh. Atau dengan kata lain, persyaratan pendetailan dituntut lebih longgar, tetapi sebagai konsekwensinya faktor jenis struktur untuk menghitung gaya geser dasar menjadi lebih besar.

Perencanaan Tingkat Daktilitas 2

Perencanaan struktur dengan tingkat daktilitas 2 diatur dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9 dengan memenuhi bab-bab sebelumnya, yaitu sebagai berikut:

Persyaratan umum

- Gaya tekan aksial berfaktor yang bekerja pada komponen struktur tidak boleh melebihi $\frac{1}{10} A_g f_c$
- Bentang bersih dari komponen struktur rangka terbuka tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya.
- Rasio lebar dan tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,25.
- Lebar balok tidak boleh kurang dari 200 mm.
- Rasio tinggi antar kolom terhadap dimensi terpendek tidak boleh lebih besar dari 25.
- Faktor type struktur yang dipakai harus diambil sama dengan 2 ($K = 2$).

Persyaratan khusus

- Rasio tulangan longitudinal total tidak boleh kurang dari 1 % dan tidak boleh lebih dari 6 % dan 8 % pada daerah sambungan.
- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup tunggal ataupun majemuk.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh melebihi dari $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter batang sengkang, dan 300 mm.
- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak boleh lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.

- Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi $\frac{1}{2}$ dimensi terkecil dari suatu komponen struktur yang menerima lentur, atau 10 kali diameter tulangan memanjang dan harus lebih kecil dari 200 mm.
- Pada daerah sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) harus diambil sebesar $\frac{1}{2}$ dari yang diisyaratkan dalam pasal 3.4. SKSNI T-15-1991-03.

3.2 Tipe Pelat

Pelat dibedakan menjadi dua yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat satu arah mempunyai perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek lebih dari dua, dalam keadaan demikian beban yang bekerja pada pelat dapat dianggap dipikul seluruhnya oleh balok arah pendek. Apabila perbandingan dari bentang panjang terhadap bentang pendek kurang atau sama dengan dua, maka pelat tersebut disebut sebagai pelat dua arah dan beban dipikul dalam kedua arah oleh balok pendukung sekeliling pelat. Pada pelat dua arah penulangannya terjadi pada kedua sumbu bentangnya.

Adapun ketentuan tentang penetapan jenis pelat tersebut diatur sesuai dengan :

- SKSNI pasal 3.2.5.1 :

Pelat direncanakan sebagai pelat satu arah apabila rasio bentang panjang dan pendeknya lebih dari dua. Jika ketebalan struktur lebih besar dari tebal minimum yang diisyaratkan maka lendutan tidak perlu dihitung. Pada perencanaan pelat satu arah ini, tebal pelat diambil lebih besar daripada yang diisyaratkan sehingga tidak perlu dikontrol terhadap lendutan yang terjadi.

- SKSNI pasal 3.2.5.3 :

Pelat direncanakan sebagai pelat dua arah apabila rasio bentang panjang dan pendeknya lebih kecil atau sama dengan dua. Tebal pelat minimum untuk pelat dua arah jika lendutan tidak dikontrol, yaitu :

$$h_{\min} = \frac{Ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta \left[\alpha_w - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]}$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$h_{\text{min}2} = \frac{Ln \left(0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak lebih dari :

$$h_{\text{max}} = \frac{Ln \left(0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36}$$

dimana :

Ln = bentang bersih pelat sisi panjang

Sn = bentang bersih pelat sisi pendek

$$\beta = \frac{Ln}{Sn}$$

α_m = nilai rata-rata α untuk semua balok dari tepi sebuah panel

α = rasio dari kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat

Dalam segala hal tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari harga berikut :

- o untuk $\alpha_m < 2,0$ 120 mm
- o untuk $\alpha_m \geq 2,0$ 90 mm

Untuk mendapatkan harga α_m terlebih dahulu menghitung harga α dengan perumusan sebagai berikut :

$$\alpha_m = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{slab}}}$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} K b_w h^3$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{h_c}{h_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{h_c}{h_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left[\left(\frac{h_c}{h_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \right]}$$

$$I_{\text{slab}} = \frac{1}{12} b_l t^3$$



3.2.1 Penulangan Lentur Pelat

Penulangan pelat beton mengacu pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, dengan metode perencanaan langsung. Berdasarkan metode ini, maka jumlah momen terfaktor positif dan negatif mutlak dalam setiap arahnya adalah:

$$M_o = \pm 0,001 \cdot w_u \cdot l_i^2 \cdot x$$

dimana M_o = statik momen terfaktor total.

w_u = beban terfaktor per unit luas.

l_i = panjang bentang yang tegak lurus terhadap bentang yang sedang dihitung momennya, diukur dari pusat ke pusat perletakan..

x = koefisien pengali.

Momen statik terfaktor total yang dihitung berdasarkan rumusan di atas, akan didistribusikan pada bagian tengah bentang pelat yaitu momen negatif dan momen positif dalam arah yang ditinjau menurut koefisien x .

Perhitungan tulangan pelat juga harus ditinjau terhadap keseimbangan penulangan, SKSNI-T-15-1991-03 mengisyaratkan:

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

dimana $\beta = 0,85 - ((32,5 - 30) \cdot 0,008) = 0,83$

3.2.2 Penulangan Susut dan Suhu

Pada pelat struktural dimana tulangan lenturnya terpasang satu arah saja, dipasang tulangan susut dan suhu yang arahnya tegak lurus terhadap tulangan lentur. Dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau 500 mm. Memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton tidak kurang dari 0,0020 bila menggunakan batang tulangan ulir mutu 300.

3.3 Perencanaan Balok

Balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban tributari dari pelat lantai ke kolom penyangga yang vertikal.

Kontrol Balok T

Perencanaan balok 'T' mengacu pada pasal 3.1.10 SK SNI-T-1991-03. Lebar pelat efektif (b_e) tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, dan lebar efektif dari sayap pada masing-masing sisi dari balok 'T' tidak boleh lebih dari:

- Setengah dari bentang balok
- delapan kali tebal pelat.
- setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

Kondisi Penampang Balok 'T' Palsu

$$\text{Dimana: } c = \frac{A_s \times f_y}{\beta_1 \times 0,85 \times f'c \times b_e}$$

$$a = c \times \beta_1$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

dengan, $M_u < \phi M_n$ ($\phi = 0,9$)

Kondisi Penampang Balok 'T' Asli.

- Rasio penulangan untuk mengimbangi kuat tekan sayap ($2b_f$),

$$\rho_f = 0,85 \cdot f'c \cdot (2 \cdot b_f) \frac{t}{f_y \times b \times d}$$

- Rasio penulangan balance untuk balok 'T',

$$\rho_b = \frac{b}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b - \rho_f)$$

$$\bar{\rho}_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

- Tekan pada badan,

$$\text{Luas tulangan, } (A_{sw}) = A_s - A_{sf}$$

$$\text{Tegangan tekan, } (C_w) = 0,85.f'c.b.a$$

$$\text{Kondisi seimbang } T_w = C_w$$

$$A_{sw}.f_y = 0,85.f'c.b.a$$

Momen nominal badan balok

$$\phi.M_{mw} = \phi.A_{sw}.f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

- Tekan pada sayap,

$$\text{Luas bidang tekan, } = (b_e - b).t$$

$$\text{Tegangan tekan, } (C_f) = 0,85.f'c.(b_e - b).t$$

$$\text{Kondisi seimbang } T_f = C_f$$

$$A_{sf}.f_y = 0,85.f'c.(b_e - b).t$$

Momen nominal sayap,

$$\phi.M_{mf} = \phi.A_{sf}.f_y \left(d - \frac{t}{2} \right)$$

- Momen nominal penampang 'T',

$$\phi.M_n = \phi.M_{mw} + \phi.M_{mf} \quad (\phi = 0,9)$$

3.3.2 Penulangan Lentur Balok

Untuk perencanaan tulangan lentur (arah longitudinal), syarat-syarat yang harus dipenuhi berdasarkan perencanaan antara lain:

- Gaya tekan aksial terfaktor ϕP_n pada balok tidak boleh lebih dari,

$$\phi P_n \leq 0,10.f'c.A_g$$

- Tulangan longitudinal/lentur $A_{s_{min}}$ tidak boleh kurang dari,

$$\frac{\sqrt{f'c}}{4.f_y} b_w.d \text{ dan,}$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w.d$$

dan untuk elemen penahan gempa,

$$A_{s_{min}} \geq 1,4 \times b_w.d / f_y$$

dengan

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot fy(d - d')}$$

- Rasio tulangan longitudinal/lentur ρ tidak boleh lebih dari,

$$\rho < 0,025$$

$$\rho < 0,75 \cdot \rho_{balance}$$

dengan

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f'c}{fy} \cdot \frac{600}{600 + fy}$$

- Tulangan momen positif pada muka join tidak boleh kurang dari:

$$As \geq 0,5 \cdot As_{min}$$

dimana A_g = luas penampang balok total.

b_w = lebar penampang balok.

d = tinggi balok dikurangi selimut beton dan $\frac{1}{2}$ diameter tulangan.

$\rho_{balance}$ = rasio tulangan kondisi balance.

$\phi = 0,9$.

3.3.3 Penulangan Geser Balok

Untuk perencanaan spasi tulangan geser (arah transversal), tidak boleh lebih dari nilai-nilai di bawah ini:

- Spasi, $s' = d/4$
 $s' = 8 \times$ diameter tulangan longitudinal terkecil
 $s' = 24 \times$ diameter sengkang, dan
 $s' = 300$ mm
- Kuat geser (V_n) harus memenuhi dan berdasarkan persamaan berikut:

$$\phi \cdot V_n \geq V_u$$

$$V_n = V_c + V_s$$

dengan,

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'c}}{6} \right) b_w d$$

$$\text{atau } V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'c}}{6} \right) b_w d$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

- Jarak l_o minimum dari muka perletakan diambil sebesar $2d$.
- Bila tulangan geser tidak diperlukan ($V_c > V_u$), maka penulangan minimum maka sengkang harus dipasang dengan spasi minimum $d/2$ di sepanjang bentang balok tersebut dengan luas tulangan minimum sebagai berikut:

$$A_{vmin} = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$$

dimana, V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan beton.

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser.

N_u = gaya tekan aksial.

A_g = luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak s .

$\phi = 0,85$.

s = jarak tulangan geser, dalam mm.

3.3.4 Penulangan Puntir Balok

Puntir pada balok diperhitungkan untuk penampang bukan pratekan yang menerima puntir terfaktor lebih besar dari nilai T_u yang diberikan sebagai berikut:

$$\frac{\phi \sqrt{f'c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)}$$

- Tulangan sengkang untuk puntir direncanakan menurut:

$$T_n = \frac{2 A_s A_v f_y}{s} \cot \phi$$

dengan $\theta = 45^\circ$ untuk komponen struktur nonpratekan.

- Luas tulangan puntir sengkang minimum dan longitudinal minimum,

$$A_v + 2A_t = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_{yv}}$$

$$A_{lmin} = \frac{5 \sqrt{f'c} A_{cp}}{12 f_{yt}} - \left(\frac{A_v}{s} \right) p_h \frac{f_{yv}}{f_{yt}}$$

- Batas jarak antar tulangan lentur maksimum,

$$p_h/8 \text{ atau } 300 \text{ mm}$$

dimana, Tn_c = kuat nominal lentur akibat penampang beton.

Tn_s = kuat nominal lentur akibat tulangan sengkang.

Tn = kuat nominal lentur total.

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton.

A_v = luas satu tulangan sengkang geser pada jarak sepanjang s .

A_t = luas satu tulangan torsi pada jarak sepanjang s .

p_{cp} = keliling luar penampang beton.

p_h = keliling dari pusat tulangan sengkang torsi terluar.

b_w = lebar badan balok.

f_{yv} = kuat leleh tulangan sengkang torsi.

f_{yt} = kuat leleh tulangan longitudinal torsi.

A_v = luas tulangan geser.

p_h = keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar.

3.4 Balok Pratekan

3.4.1 Sistem Pasca-Tarik Beton Pratekan

Dalam sistem pasca-tarik, unit beton terlebih dahulu dicetak dengan memasukkan saluran atau alur (*duct*) untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh angkur ujung. Ruang antara tendon dan saluran pada umumnya di-*grouting* setelah penarikan.

Cara ini biasanya dipakai pada elemen-elemen beton yang dicetak di tempat (*cast in place*) dimana biaya penarikan hanya merupakan sebagian kecil dari seluruh pekerjaan dan dalam hal ini lebih ekonomis untuk memakai sedikit kabel dengan gaya yang besar daripada memakai banyak kabel dengan gaya yang kecil. Selain keuntungan itu, manfaat utama dari pascatarik adalah bahwa ia memungkinkan pemakaian kabel-kabel melengkung atau yang berubah-ubah arahnya yang membantu perancang untuk mengubah distribusi prategang potongan demi potongan sehingga dapat mengimbangi beban luar secara lebih efisien.

3.4.2 Penentuan Gaya Prategang Awal

Dalam perencanaan balok pratekan, peninjauan pembebanan meliputi kombinasi beban luar dan gaya pratekan yang diterima beton. Keadaan balok pratekan yang paling kritis pada umumnya terjadi pada kondisi awal (*initial loading*) dan pembebanan akhir (*final loading*).

Kondisi pembebanan awal adalah kondisi pembebanan pada saat gaya prategang ditransfer pada beton. Beban yang bekerja hanya berupa beban mati saja, yang akan memberikan momen minimum (M_{min}). Pada saat ini gaya prategang adalah maksimum dan kekuatan beton adalah minimum karena kekuatan beton belum penuh.

Kondisi pembebanan akhir adalah kondisi dimana beban luar sudah sepenuhnya bekerja dan kehilangan prategang sudah terjadi. Pada saat ini beban luar adalah maksimum karena memberikan M_{max} dan gaya prategang minimum.

Besarnya gaya prategang dan eksentrisitas yang diberikan adalah sedemikian rupa sehingga tegangan yang terjadi tidak melanggar ketentuan tegangan ijin – baik dalam kondisi pembebanan awal maupun kondisi pembebanan akhir. Persyaratan tersebut adalah :

(1). Pada daerah lapangan :

syarat kondisi saat transfer :

$$f_t = \frac{F_i}{A} - \frac{F_i e}{Z_t} + \frac{M_{min}}{Z_t} < \sigma_b = 0,25x\sqrt{f_c}$$

$$f_b = \frac{F_i}{A} + \frac{F_i e}{Z_b} - \frac{M_{min}}{Z_b} < \sigma_c = 0,6xf_c$$

syarat kondisi saat beban hidup bekerja :

$$f_t = \frac{F}{A} - \frac{F_e}{Z_t} + \frac{M \max}{Z_t} < \sigma_{ci} = 0,45x\sqrt{f'_c}$$

$$f_b = \frac{F}{A} + \frac{F_e}{Z_b} - \frac{M \max}{Z_b} < \sigma_{cs} = 0,5x\sqrt{f'_c}$$

(2). Pada daerah tumpuan :

syarat kondisi saat transfer :

$$f_t = \frac{F_i}{A} + \frac{F_i e}{Z_t} - \frac{M \min}{Z_t} < \sigma_{ci} = 0,6x\sqrt{f'_c}$$

$$f_b = \frac{F_i}{A} - \frac{F_i e}{Z_b} + \frac{M \min}{Z_b} < \sigma_{cs} = 0,25x\sqrt{f'_c}$$

syarat kondisi saat beban hidup bekerja :

$$f_t = \frac{F}{A} + \frac{F_e}{Z_t} - \frac{M \max}{Z_t} < \sigma_{ci} = 0,5x\sqrt{f'_c}$$

$$f_b = \frac{F}{A} - \frac{F_e}{Z_b} + \frac{M \max}{Z_b} < \sigma_{cs} = 0,45x\sqrt{f'_c}$$

dimana e = jarak gaya pratekan ke garis netral beton (cgc)

$$Z_t = I/y_t$$

$$Z_b = I/y_b$$

$$K_t = \text{kern atas} = Z_b/A_c$$

$$K_b = \text{kern bawah} = Z_t/A_c$$

$$I = \text{momen inersia penampang}$$

$$A_c = \text{luas penampang}$$

$$\sigma_{ti} = \text{tegangan tarik beton yang diijinkan pada saat awal}$$

$$= 0,25\sqrt{f'_c}$$

$$\sigma_{ci} = \text{tegangan tekan beton yang diijinkan pada saat awal}$$

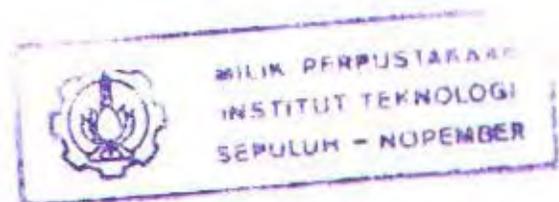
$$= 0,60f'_c$$

$$\sigma_{ts} = \text{tegangan tarik beton yang diijinkan pada saat beban service}$$

$$= 0,50\sqrt{f'_c}$$

$$\sigma_{cs} = \text{tegangan tekan beton yang diijinkan pada saat beban service}$$

$$= 0,45f'_c$$



- F_i = gaya prategang awal pada saat transfer
 F = gaya prategang efektif
 = ηf_i , dengan $\eta = 0.75-0.85$

3.4.3 Kehilangan Gaya Prategang (Loss of Prestress)

Gaya prategang yang digunakan dalam perhitungan tegangan tidak akan konstan terhadap waktu, namun mengalami pengurangan secara berangsur-angsur sejak dari tahap transfer akibat berbagai sebab. Secara umum ini dinyatakan sebagai 'kehilangan prategang'. Berkurangnya gaya prategang ini dapat mengakibatkan berkurangnya tegangan beton dan juga regangan baja, sehingga secara tidak langsung kemampuan balok prategang juga akan menurun.

Berbagai jenis kehilangan prategang yang dijumpai dalam sistem pascatarik beton pratekan adalah :

- 1). Kehilangan prategangan langsung
 - Akibat perpendekan elastis beton (*Elastic Shortening*)
 - Akibat slip saat pengangkutan (*Anchorage Slip*)
 - Akibat gesekan (*Friction*) dan *Wobble Effect*
- 2). Kehilangan prategangan tidak langsung
 - Akibat relaksasi tegangan baja (*Steel Relaxation*)
 - Akibat rangkai beton (*creep*)
 - Akibat susut beton (*shrinkage*)

Pada tugas akhir ini, untuk memperhitungkan kehilangan gaya prategang dipakai referensi yang berasal dari dua buah rekomendasi yaitu Rekomendasi Komisi PCI (1975) dan Rekomendasi Komisi ACI-ASCE (1979).

3.4.4 Kehilangan Prategang Langsung

(1) Kehilangan Gaya Prategang akibat Perpendekan Elastis Beton.

Pada saat gaya prategang dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja prategang turut memendek bersamanya. Jadi ada kehilangan gaya prategang pada baja.

Pada sistem pasca-tarik, jika hanya ada sebuah tendon, maka beton akan memendek saat tendon diangkurkan terhadap beton. Karena gaya kabel dihitung setelah perpendekan elastis terhadap beton terjadi, tidak ada kehilangan gaya prategang akibat perpendekan yang perlu dihitung. Hal ini juga berlaku apabila tendon yang dimiliki lebih dari satu tetapi tendon-tendon tersebut ditarik secara bersamaan.

(2). Kehilangan Gaya Prategang akibat Slip saat Pengangkurkan

Pada saat tendon ditarik sampai nilai penuh dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan ke angkur. Peralatan angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi, jadi tendon dapat tergelincir sedikit. Baji gesekan yang dipakai untuk menahan kabel akan sedikit tergelincir sebelum kabel dijepit dengan kokoh.

Tetapi kehilangan ini pada dasarnya berpengaruh pada ujung saja, kehilangan ini akan dihalangi oleh adanya gesekan. Jadi berkenaan dengan ini maka masalahnya adalah seberapa jauh dia berpengaruh. Bila pengaruhnya (X) kurang dari $L/2$, maka tidak perlu ditinjau pada daerah lapangan.

Jarak pengaruh slip pengangkurkan adalah :

$$X = \sqrt{\frac{E_{ps} \cdot g}{f_{ps} \cdot \lambda}} \quad \text{dan} \quad \frac{\Delta f_{ps}}{2} X = E_{ps} \cdot g$$

dimana :

f_{pj} = tegangan sebelum slip angkur

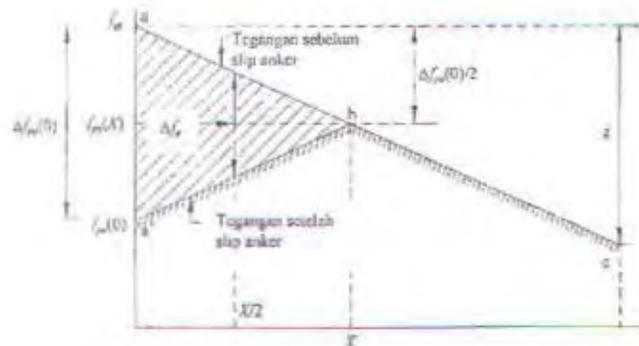
f_{ps} = tegangan setelah slip angkur

Δf_{ps} = besarnya kehilangan tegangan akibat slip angkur

g = besarnya slip angkur (mm)

X = jarak pengaruh kehilangan tegangan akibat slip angkur

λ = $(2 \cdot \mu \cdot \alpha / b^2 - K)$ → untuk tendon berbentuk parabola



Gambar 3.1 Kehilangan Tegangan akibat Slip Angkur

(3). Kehilangan Gaya Prategang akibat Gesekan dan Wobble Effect

Terdapat dua macam kehilangan gaya prategang akibat gesekan yang terjadi pada balok pratekan, yaitu :

- o Gesekan pada sistem pendongkrakan dan pengangkuran tendon.

Gesekan yang terjadi pada sistem ini menyebabkan tegangan yang ada pada tendon kurang daripada yang ditunjukkan oleh alat pengukur tekanan. Gesekan yang terjadi pada sistem pendongkrakan dan pengangkuran umumnya kecil meskipun bukan tidak berarti. Penarikan yang berlebih dapat dilakukan pada dongkrak sehingga prategang yang diperhitungkan akan ada pada tendon. Peraturan ACI membatasi gaya dongkrak sampai $0.80f_{pu}$.

- o Gesekan pada tendon dengan bahan sekelilingnya.

- pengaruh panjang

Pengaruh panjang adalah jumlah gesekan yang akan dijumpai jika tendon lurus, tidak dirancang bengkok atau melengkung. Karena dalam praktek selubung tendon tidak dapat lurus sepenuhnya, gesekan akan terjadi diantara tendon dan bahan sekelilingnya. Hal ini dijelaskan sebagai sebagai pengaruh goyahnya selubung (*Wobble Effect*). Beberapa nilai pendekatan untuk menghitung kehilangan gaya prategang ini diberikan pada tabel 3.1.

- pengaruh kelengkungan

Kehilangan gaya prategang akibat pengaruh kelengkungan dihasilkan dari kelengkungan tendon rencana ditambah dengan goyahnya selubung (*Wobble Effect*) yang tidak diinginkan.

Tabel 3.1 Koefisien gesekan untuk tendon pasca-tarik

Tipe tendon	Koefisien Wobble K tiap meter	Koefisien Kelengkungan μ
Tendon pada selubung logam fleksibel		
Tendon kawat	0,0033 - 0,0049	0,15 - 0,25
Strand dengan untai 7 kawat	0,0016 - 0,0066	0,15 - 0,25
Batang baja mutu tinggi	0,0003 - 0,0020	0,08 - 0,30
Tendon pada selubung logam kaku		
Strand dengan untai 7 kawat	0,01	0,15 - 0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
Tendon kawat dan strand untai 7 kawat	0,001 - 0,0066	0,05 - 0,15
Tendon yang diberi lapisan mastik		
Tendon kawat dan strand untai 7 kawat	0,0033 - 0,0066	0,05 - 0,15

Sumber : Peraturan ACI

Salah satu metode untuk mengatasi kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada tendon adalah metode "Penarikan Berlebih" (*overtension*). Bila gesekan tidak terlalu berlebihan, besarnya penarikan berlebih biasanya dibuat sama dengan kehilangan gaya prategang akibat gesekan maksimum.

Pengaruh penarikan-berlebih diikuti dengan pelepasan-kembali adalah untuk memberi perbedaan gesekan pada arah sebaliknya. Jadi, setelah pelepasan, variasi tegangan sepanjang tendon mengambil beberapa bentuk seperti pada gambar 3.1. Bila kehilangan gaya prategang akibat gesekan merupakan persentase yang tinggi dari

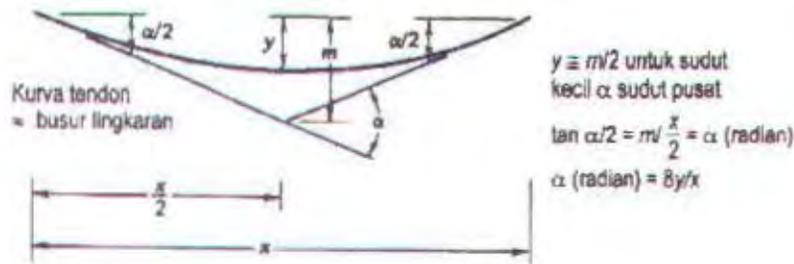
prategang, itu tidak dapat diatasi seluruhnya oleh penarikan-berlebih (kurva b), karena jumlah penarikan maksimum dibatasi oleh titik leleh beton. Bagian kehilangan yang tidak dapat diatasi harus diperhitungkan dalam perencanaan.

Perumusan untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wobble effect adalah sebagai berikut :

$$f_2 = f_1 e^{-\mu \alpha}$$

$$FR = f_1 - f_2 = f_1 - f_1 e^{-\mu \alpha}$$

- dimana
- FR = kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wobble effect.
 - f_1 = tegangan baja awal
 - f_2 = tegangan baja setelah terjadi kehilangan
 - μ = koefisien lengkungan (tabel 3.1)
 - K = koefisien wobble (tabel 3.1)
 - L = panjang tendon
 - α = sudut pusat tendon (lihat gambar 3.2)



Gambar 3.2 Penentuan sudut pusat tendon.

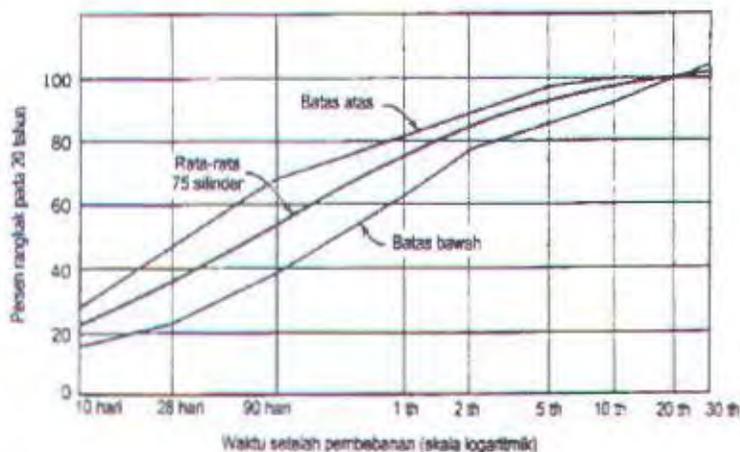
3.4.5 Kehilangan Prategang Tidak Langsung

Dalam memperhitungkan kehilangan prategangan karena pengaruh waktu yaitu creep (CR), shrinkage (SH), dan steel relaxation (RET) dipakai metode PCI Comitee. Dalam metode ini perhitungan dibagi dalam empat interval waktu minimum seperti yang tercantum sebagai berikut :

Tabel 3.2 Selang Waktu Minimum Pasca Tarik

Step	Waktu Awal (t_1)	Waktu akhir (t_2)
1	Akhir curing	Umur beton saat diberi prategangan
2	Akhir step 1	Umur = 30 hari, saat struktur dibebani beban mati tambahan
3	Akhir step 2	Umur = 1 tahun
4	Akhir step 3	Akhir umur rencana struktur

(4). Kehilangan Gaya Prategang akibat Rangkak Beton



Gambar 3.3 Kurva Perbandingan Rangkak terhadap Waktu

Rangkak pada beton didefinisikan sebagai deformasi yang tergantung pada waktu yang diakibatkan oleh adanya tegangan. Dari gambar 3.3 dapat dilihat bahwa regangan total rangkak diperkirakan $\frac{1}{4}$ terjadi dalam 2 minggu setelah penerapan prategang, $\frac{1}{4}$ lainnya dalam 2 sampai 3 bulan, $\frac{1}{4}$ lagi dalam waktu 1 tahun, $\frac{1}{4}$ sisanya pada tahun-tahun berikutnya. Gambar 3.3 menunjukkan variasi perbandingan rangkak terhadap

waktu, dan memperlihatkan sifat alamiah rangkakan. Komisi PCI menganggap bahwa persentase rangkakan terhadap waktu serupa dengan kurva rata-rata pada gambar di atas.

Metode umum yang dipakai PCI Committee untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat rangkakan adalah :

$$CR = (UCR) (SCF) (MCF) x (PCR) (f_c)$$

dimana :

UCR (Ultimate Creep Loss), untuk beton normal :

- Curing beton tidak lebih dari 7 hari $UCR = 90 - 20 E_c/10^6 \geq 11$

- Curing yang dipercepat $UCR = 63 - 20 E_c/10^6 \geq 11$

SCF = factor pengaruh volume dan permukaan balok pratekan (tabel 3.3)

MCF = factor pengaruh dari umur beton dan lamanya waktu curing (tabel 3.4)

AUC = variasi dari creep terhadap waktu (tabel 3.5)

PCR = besarnya creep tiap-tiap interval waktu.

$$= (AUC)_t - (AUC)_{t_1}$$

f_c = tegangan tekan beton pada cgs pada saat t_1

Tabel 3.3 Faktor Creep, SCF

V/S, inch	Creep Faktor, SCF
1	1.05
2	0.96
3	0.87
4	0.77
5	0.68
>5	0.68

Tabel 3.4 Faktor Creep, MCF

Umur transfer prategangan, hari	Periode pengerasan, hari	Creep Faktor, MCF
3	3	1.14
5	5	1.07
7	7	1.00
10	7	0.96
20	7	0.84
30	7	0.72
40	7	0.60

Tabel 3.5 Variasi Creep menurut waktu setelah transfer, AUC

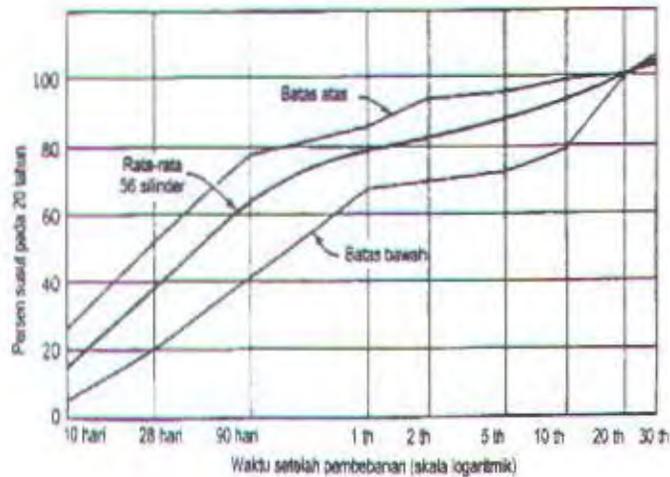
Waktu setelah transfer, hari	AUC
1	0.08
2	0.15
5	0.18
7	0.23
10	0.24
20	0.30
30	0.35
60	0.45
90	0.51
180	0.61
365	0.74
Akhir umur layan	1.00



(5). Kehilangan Gaya Prategang akibat Susut Beton

Susut pada beton mengakibatkan perpendekan kawat-kawat yang ditarik sehingga ikut menyebabkan kehilangan prategang. Pemakaian beton bermutu tinggi dengan rasio air/semen rendah menghasilkan berkurangnya susut beton dan juga kehilangan prategangnya. Oleh karena itu, perawatan beton yang tepat sangat penting untuk mencegah terjadinya retak akibat susut pada beton. Karena susut tergantung dari waktu

(lihat gambar 3.4), kita tidak mengalami 100% kehilangan tegangan batas dalam beberapa tahun, tetapi 80% terjadi pada tahun pertama.



Gambar 3.4 Kurva Perbandingan Susut terhadap Waktu:

Metode umum yang dipakai PCI Committee untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat susut adalah :

$$SH = (USH) (SSF) (PSH)$$

dimana :

USH (Ultimate Shrinkage Loss)

$$\text{Beton normal } USH = 27000 - 3000 E_c / 10^6$$

$$\text{Beton ringan } USH = 41000 - 1000 E_c / 10^6$$

Tetapi harga $USH > 12000$ psi.

SSF = faktor pengaruh volume terhadap permukaan (tabel 3.6)

AUS = variasi susut terhadap waktu (tabel 3.7)

PSH = besarnya susut untuk tiap-tiap interval waktu.

$$= (AUS)_t - (AUS)_{t_1}$$

Tabel 3.6 Faktor Susut, SSF

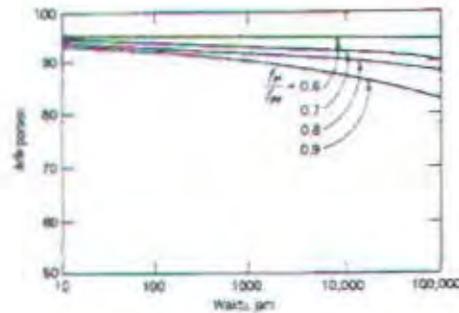
V/S, inch	Shrinkage Faktor, SSF
1	1.04
2	0.96
3	0.86
4	0.77
5	0.69
6	0.60

Tabel 3.7 Koefisien shrinkage untuk beberapa waktu pengerasan, AUS

Waktu setelah transfer, hari	AUS
1	0.08
2	0.15
5	0.18
7	0.20
10	0.22
20	0.27
30	0.36
60	0.42
90	0.55
180	0.68
365	0.86
Akhir umur layan	1.00

(3). Kehilangan Gaya Prategang akibat Relaksasi Baja

Percobaan-percobaan pada baja prategang dengan perpanjangan yang konstan dan dijaga tetap pada suatu selang waktu memperlihatkan bahwa gaya prategang akan berkurang secara perlahan-lahan seperti terlihat pada Gambar 3.5. Besarnya pengurangan tergantung pada lamanya waktu dan perbandingan f_{pt}/f_{py} (f_{pt} = tegangan awal pada baja prategang, f_{py} = tegangan leleh baja prategang). Kehilangan gaya prategang ini disebut relaksasi.



Gambar 3.5 Kurva Variasi Relaksasi Baja terhadap Waktu

Peraturan PCI membatasi besarnya gaya prategang awal (segera setelah pengangkatan) sebesar $f_{pi} = 0.7f_{pu}$. Dari gambar 3.5 jelaslah bahwa makin besar tegangan tetap akan menghasilkan tegangan akibat relaksasi yang makin besar pula. Ini adalah salah satu alasan untuk membatasi tegangan awal maksimum f_{pi} .

Menurut Antonie Naaman, kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja untuk interval waktu t sampai dengan t_1 dapat dihitung dengan rumus :

$$RET = f_{st} \left(\frac{\log 24t - \log 24t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right) \dots \dots \dots \text{ untuk baja relaksasi tinggi}$$

$$RET = f_{st} \left(\frac{\log 24t - \log 24t_1}{45} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right) \dots \dots \dots \text{ untuk baja relaksasi rendah}$$

dimana

$$\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \geq 0.05$$

$$f_{py} = 0.90f_{pu}$$

Untuk sifat beton dan baja rata-rata, yang dirawat dalam kondisi udara rata-rata, prosentase-prosentase yang diberikan di tabel 3.8 bawah ini dapat diambil sebagai kehilangan gaya prategang rata-rata.

Tabel 3.8 Prosentase Kehilangan Prategang

Kehilangan Prategangan	Pratarik (%)	Pasca-tarik (%)
Perpendekan elastis	4	1
Rangkak	6	5
Susut	7	6
Relaksasi baja	8	8
Total	25	20

3.4.6 Gaya Prategang Efektif

Gaya prategang awal pada baja dikurangi semua kehilangan gaya prategang disebut sebagai *gaya prategang efektif* atau gaya prategang rencana. Jumlah keseluruhan kehilangan gaya prategang tergantung atas dasar dari mana gaya prategang awal diukur. Pertama, ada tegangan *dongkrak maksimum sementara* yang harus ditanggung sebuah tendon untuk memperkecil rangkak pada baja atau mengimbangi kehilangan gaya prategang akibat gesekan. Lalu ada sedikit pelepasan dari tegangan maksimum kembali ke *tegangan dongkrak normal*.

Segera setelah gaya prategang dialihkan ke beton, kehilangan gaya prategang akibat pengangkuran akan terjadi. *Tegangan dongkrak* dikurangi dengan kehilangan gaya prategang akibat pengangkuran akan menjadi tegangan pada pengangkuran setelah dilepas, dan dinamakan *gaya prategang awal*. Untuk sistem pasca-tarik, kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis terjadi secara bertahap, jika ada tendon lain yang akan ditarik. Perpendekan elastis beton dapat dipertimbangkan dalam dua bagian yaitu akibat perpendekan aksial langsung dan akibat lenturan elastis.

Tergantung dari definisi prategang awal, jumlah kehilangan gaya prategang yang harus dikurangi akan berbeda.

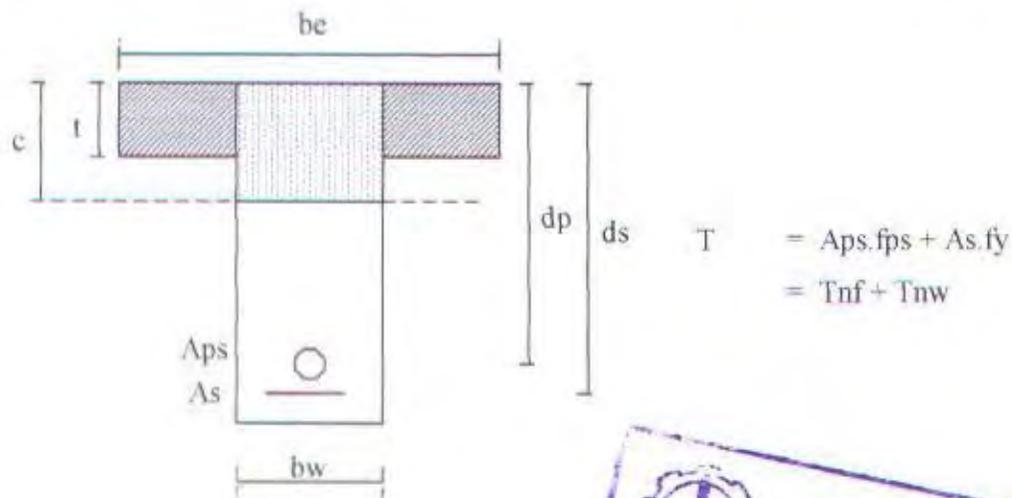
- (1) Jika tegangan *dongkrak* dikurangi maka kehilangan gaya prategang akibat pengangkuran diambil sebagai gaya prategang awal, sehingga kehilangan gaya prategang yang harus dikurangi meliputi perpendekan elastis, rangkak, dan susut.
- (2) Jika tegangan *dongkrak* sendiri diambil sebagai gaya prategang awal, maka kehilangan gaya prategang akibat pengangkuran harus diperhitungkan.

(3) Jika tegangan setelah perpendekan elastis beton diambil sebagai gaya pratekan awal, maka hanya susut, rangkak beton dan relaksasi baja yang dihitung sebagai kehilangan gaya prategang.

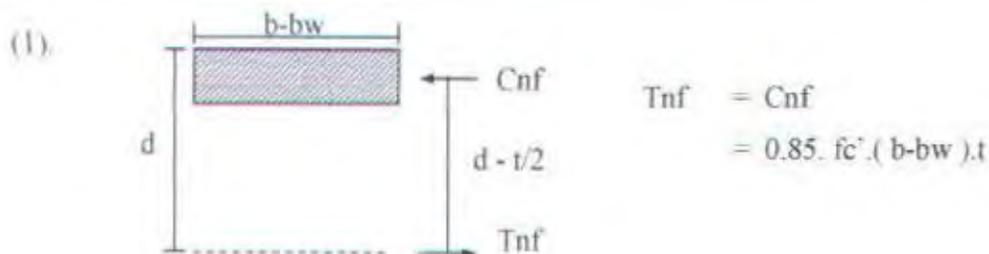
Untuk titik yang jauh dari ujung pendongkrakan, pengaruh gesekan harus dipertimbangkan sebagai tambahan. Gaya gesek sepanjang tendon mungkin merupakan tambahan maupun pengurangan tegangan.

3.4.7 Momen Nominal Balok Pratekan dengan Partial Prestress

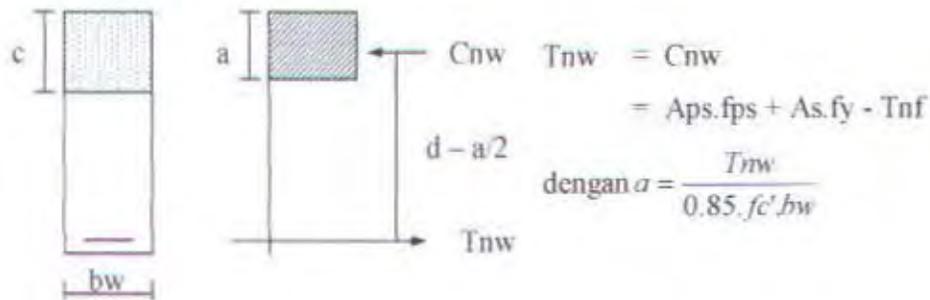
Momen ultimate untuk balok T dengan partial prestress disajikan dalam gambar dibawah ini :



Analisa dapat dipisah menjadi dua bagian yaitu :



(2).



Bila : $c < t \rightarrow$ dihitung sebagai balok persegi

$c \geq t \rightarrow$ dihitung sebagai balok T dengan :

$$A_{ps}.f_{ps} + A_s.f_y = 0.85.f'_c.(b-bw).t + 0.85.f'_c.bw.a$$

Dengan $c = \frac{a}{\beta_1}$

Sehingga momen nominal yang terdapat pada penampang adalah :

$$\phi Mn = \phi.0.85.f'_c.(b-bw).t.\left(d - \frac{t}{2}\right) + \phi.T_{nw}\left(d - \frac{a}{2}\right), \quad \text{atau :}$$

$$\phi Mn = \phi.T_{nf}\left(d - \frac{t}{2}\right) + \phi.T_{nw}\left(d - \frac{a}{2}\right)$$

3.4.8 Perencanaan Geser

Kekuatan geser beton yang terjadi pada suatu balok pratekan berdasarkan jenis retak adalah :

(1). Retak badan di dekat perletakan (tumpuan) :

$$V_{cw} = 0.3(\sqrt{f'_c} + f_{pc})bw.d + V_{p'}$$

dimana :

$$f_{pc} = \frac{F}{Ac}$$

$V_{p'}$ = tekanan tendon ke atas.

(2). Retak lentur geser miring di dekat tengah bentang (lapangan) :

$$V_{cl} = 0.05\sqrt{f_c'} bw.d + V_d + V_s \frac{M_{cr}}{M_{max}} \geq 0.14\sqrt{f_c'} bw.d$$

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{Y_t} \right) (0.5\sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d)$$

$$f_{pe} = \frac{F(e + Kt)}{I} \quad ; \quad f_d = \frac{Mud}{I} Y_t$$

dimana :

V_d = gaya geser akibat berat sendiri balok (1.0 x W_g)

M_{cr} = momen retak akibat beban hidup

M_{max} = momen maksimum akibat beban hidup

3.5 Struktur Statis Tak Tentu

Struktur beton bertulang pada umumnya adalah statis tak tentu. Besarnya momen lentur yang terjadi pada struktur statis tak tentu pada umumnya selalu lebih kecil daripada struktur statis tertentu. Perilaku monolit (monolith behaviour) dari suatu struktur biasanya mempunyai keuntungan yaitu apabila terdapat kelebihan beban pada struktur akan terjadi redistribusi tegangan.

Gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur statis tak tentu (momen, gaya aksial, gaya geser, dan lain-lain) dipengaruhi oleh kekakuan elemen-elemen struktur dan bentuk geometri dari struktur.

Karena perilaku dalam struktur statis tak tentu dipengaruhi oleh pertimbangan geometri dan dapat juga dipengaruhi oleh deformasi tambahan yang sama seperti akibat pengaruh beban tambahan. Sebagai contoh, pada yang terdiri dari dua bentang, momen yang terjadi dapat diakibatkan tidak hanya oleh berat truk saja, tetapi juga disebabkan oleh penurunan dari salah satu perletakan. Momen yang terjadi akibat penurunan perletakan ini terjadi karena struktur statis tak tentu tersebut tidak dapat bebas bergerak

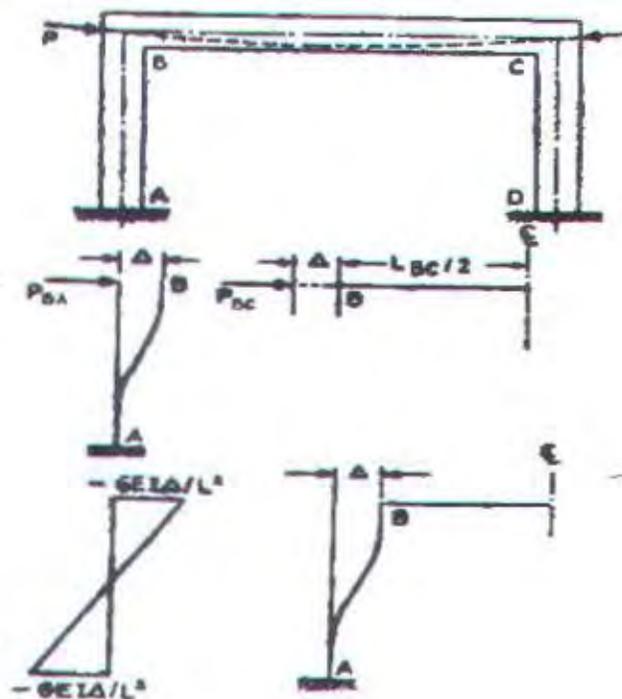
mengikuti defomasi tambahan. Deformasi yang terjadi ini ditahan oleh kekakuan struktur.

3.5.1 Pengaruh Deformasi Aksial pada Portal

Pada struktur rangka portal yang arah batang-batangnya berlainan, pemberian prategang pada balok mendatar (transom) menghasilkan suatu kontraksi aksial, yang selanjutnya memberikan momen-momen tersier ke dalam kerangka akibat pergeseran lateral pertemuan balok mendatar dan batang kolom.

Menurut Bennet, pengaruh-pengaruh utama yang perlu ditinjau dalam struktur statis tak tentu akibat pemberian gaya prategang adalah :

- Reduksi dalam besarnya gaya prategang pada suatu batang tertentu akibat kekangan batang-batang yang berdekatan.
- Timbulnya momen-momen tersier akibat deformasi lentur struktur statis tertentu yang disebabkan oleh kontraksi akibat gaya prategang.



Gambar 3.6 Pengaruh Gaya Prategang terhadap Kolom.

Tinjau suatu rangka portal ABCD yang terjepit pada A dan D. Pengaruh dari prategang balok mendatar BC terhadap momen-momen torsi yang timbul pada kerangka dipengaruhi oleh sifat-sifat geometrik masing-masing batang dan besarnya gaya prategang. Gaya prategang sebesar P yang bekerja pada balok mendatar BC didistribusikan sebagai P_{BA} yang bekerja secara transversal pada kaki BA, sedangkan komponen P_{BC} adalah gaya yang dialami oleh batang mendatar BC (gambar 2.13)

Dalam gambar 2.13 dapat dilihat bahwa untuk kompatibilitas, lendutan lateral Δ ujung B dari kolom AB harus sama dengan kontraksi aksial dari setengah balok mendatar BC. Hal ini memberikan syarat :

$$\frac{P_{BA} L_{BA}^3}{12EI_{BA}} = \Delta = \frac{P_{BC} L_{BC}}{2EA_{BC}}$$

maka
$$\frac{P_{BA}}{P_{BC}} = \frac{6L_{BC} I_{BA}}{L_{BA}^3 A_{BC}}$$

Untuk batasan praktis penampang-penampang dan gaya-gaya prategang, dimana perbandingan ini kecil sehingga dapat diabaikan. Keseluruhan gaya prategang dapat dianggap ditahan oleh balok mendatar BC. Namun titik B pindah secara horizontal sebesar Δ akibat kerja gaya prategang P , yang mengakibatkan momen yang berlawanan dengan arah jarum jam yang besarnya $\frac{6EI_{BA}\Delta}{L_{BA}^2}$ timbul di B dan A.

Pada struktur portal bertingkat, jika balok-baloknya diprategang dengan sistem pasca-tarik, balok-balok tersebut akan berusaha memendek. Akan tetapi perletakan jepit akan menahan dasar kolom untuk bergerak bersama-sama dengan balok-balok tersebut. Oleh karena itu gaya-gaya perletakan dari pondasi akan melenturkan kolom-kolom di lantai dasar (ground level) dan gaya-gaya tersebut akan mengakibatkan timbulnya gaya tarik aksial pada balok lantai 2 (2nd level).

3.5.2 Pengaruh gaya prategang terhadap kekakuan kolom

Pada struktur portal, saat gaya prategang bekerja pada balok prategang, karena adanya elemen-elemen penopang balok yaitu kolom-kolom yang pada umumnya mempunyai sambungan yang monolit dengan balok dan mempunyai kekakuan struktur

tertentu, mengakibatkan sebagian gaya prategang yang diberikan pada balok terdistribusi ke kolom-kolom dan besarnya gaya yang terdistribusi ke kolom ini tergantung dari kekakuan dari kolom tersebut.

Pada sebuah kasus yang ekstrem dimana kolom sangat rigid/kaku, maka sebagian besar gaya prategang yang diberikan pada balok (F_0) berusaha melenturkan kolom yang mengakibatkan timbulnya momen yang besar pada kolom sehingga sisa gaya prategang F yang bekerja pada balok menjadi kecil ($F \ll F_0$).

Sedangkan pada kasus ekstrem yang lain yaitu jika kolom sangat fleksibel/mudah melentur, maka karena kolom sama sekali tidak menahan gaya prategang yang diberikan pada balok (F_0) mengakibatkan sebagian gaya prategang bekerja pada balok ($F \cong F_0$). Keadaan ini hampir sama seperti pada balok diatas perletakan sederhana (statis tertentu).

Dengan demikian akibat perpendekan dari balok yang disebabkan oleh pemberian gaya prategang, rangkai dan susut beton. Karena adanya kolom-kolom penopang, maka perpendekan pada beton ini sebagian akan ditahan oleh kolom-kolom penopang tersebut. Di lain pihak perpendekan ini akan melenturkan kolom sehingga timbul momen dalam kolom.

Tahanan kolom ini menyebabkan perpendekan yang terjadi pada balok berkurang. Besarnya tahanan yang diberikan struktur kolom ini tergantung dari kekakuan kolom-kolom penopangnya. Apabila dimensi dari kolom-kolom penopang besar, maka tahanan yang dikerjakan kolom juga besar, dan sebaliknya apabila dimensi dari kolom-kolom penopang kecil, maka tahanan yang dikerjakan kolom akan menjadi kecil.

3.6 Kolom

SKSNI T-15-1991-03 memberikan definisi, kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Sebagai bagian dari suatu kerangka bangunan dengan fungsi dan peran seperti tersebut, kolom menempati posisi penting di dalam sistem stuktur bangunan. Kegagalan kolom akan

berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan.

Suatu komponen struktur yang menerima momen lentur dan aksial tekan secara serentak harus diperhitungkan sebagai *beam column* dengan mempertimbangkan pengaruh tekuk yang terjadi akibat pengaruh kelangsingan komponen struktur tersebut.

Dengan adanya faktor tekuk akibat pengaruh kelangsingan ini, pada komponen struktur tekan dan lentur akan terjadi momen tambahan. Untuk suatu komponen struktur tekan dan lentur langsing, momen-momen pada ujung kolom harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran yang akan diuraikan pada uraian dibawah ini.

3.6.1 Panjang Tekuk Kolom

Panjang tekuk kolom adalah panjang bersih kolom antara pelat lantai atau balok diujung – ujungnya yang dikalikan dengan suatu faktor tekuk (k) yang besarnya :

$k \geq 1$, untuk kolom tanpa pengaku samping (*unbraced*).

$k \leq 1$, untuk kolom dengan pengaku samping (*braced*).

Faktor tekuk (k) diperhitungkan sebagai fungsi dari kekakuan relatif (Ψ) dari kolom terhadap balok-balok pada pertemuan diujung –ujung kolom. Kekakuan relatif (Ψ) adalah nilai banding antara jumlah kekakuan kolom dibagi dengan panjang kolom, dan jumlah kekakuan balok dibagi dengan panjang balok.

$$\Psi(A/B) = \frac{\sum(EI/L)_{kolom}}{\sum(EI/L)_{balok}}$$

dimana :

$\Psi(A/B)$ = kekakuan relatif masing-masing ujung kolom A dan B

EI/L = faktor kekakuan kolom atau balok yang ditinjau

Nilai dari faktor tekuk (k) dapat diperoleh dari nomogram atau grafik Alignment dari *Structural Stability Research Council Guide* dengan cara menarik garis dan menghubungkan nilai Ψ_A dan Ψ_B yang akan memotong garis skala nilai k yang berada ditengah. Dalam hal ini disesuaikan apakah kolom yang direncanakan tergolong *braced frame* atau *unbraced frame*. Menurut SKSNI 1991 pasal 3.3.11.2 (1), untuk *braced frame* nilai k harus diambil sama dengan 1.

3.6.2 Pembatasan Tulangan Kolom

SKSNI-T-15-1991-03 pasal 3.3.9.1 menyebutkan bahwa rasio penulangan kolom diisyaratkan untuk tidak kurang dari 1% tetapi tidak lebih 8% dari luas bruto penampang kolom.

$$0,01 \leq \rho \leq 0,08$$

Pembatasan rasio tulangan minimum ini ditujukan untuk mencegah terjadinya retak akibat rangkak (*creep*) yang terjadi pada beton, sedangkan pembatasan rasio tulangan maksimum didasarkan pada pertimbangan kesulitan pemasangan dilapangan.

Jumlah minimum batang tulangan memanjang kolom adalah 4 buah untuk kolom dengan pengikat segi empat dan 6 buah untuk kolom dengan pengikat spiral.

3.6.3 Kolom Pendek

Suatu unsur tekan pendek bila dibebani gaya aksial lebih besar dari kapasitasnya akan mengalami keruntuhan bahan yaitu runtuhnya beton sebelum mencapai ragam keruntuhan tekuknya. Oleh sebab itu untuk perencanaan struktur tekan pendek, bahaya akibat tekuk tidak perlu diperhitungkan.

Suatu komponen struktur tekan dikatakan pendek apabila perbandingan kelangsingan yaitu perbandingan antara panjang tekuk kolom (kLn) terhadap radius girasi (r) memenuhi :

$$\frac{kLn}{r} < 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \quad (\text{untuk sistem dengan pengaku})$$

$$\frac{kLn}{r} < 22 \quad (\text{untuk sistem tanpa pengaku})$$

dimana :

- Nilai M_{1b} dan M_{2b} adalah momen-momen lentur ujung pada unsur struktur yang secara numeric terkecil dan terbesar, dan perbandingan antara M_{1b}/M_{2b} adalah positif untuk kurvatur tunggal, dan negatif untuk kurvatur ganda.
- Nilai r dapat diambil sebesar $\sqrt{I/A}$ atau $0.3h$ dalam arah momen yang ditinjau untuk kolom persegi, $0.25d$ untuk kolom bulat (d = diameter kolom).

3.6.4 Kolom Panjang

Apabila nilai perbandingan kelangsingan untuk kolom pendek diatas tidak terpenuhi, maka suatu komponen struktur boleh dikatakan kelompok panjang.

Kolom dengan perbandingan kelangsingan besar akan mengakibatkan lendutan kesamping (menekuk) akibat momen sekunder yang terjadi, sehingga mengurangi kekuatan nominal dari kolom panjang tersebut. Untuk itu dalam perhitungan kolom panjang diperlukan suatu faktor pembesaran momen yang diperhitungkan terhadap panjang tekuk kolom.

3.6.5 Faktor Pembesaran Momen

Dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.11.5 menetapkan bahwa perencanaan komponen struktur tekan beton bertulang dilakukan dengan menggunakan beban aksial rencana (P_u) yang didapat dari analisis rangka elastik dan momen rencana yang sudah dibesarkan (M_c) yang didefinisikan :

$$M_c = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s} \quad (\text{SKSNI '91 pers. 3.3-6})$$

dengan :

M_c = momen rencana kolom setelah diperbesar.

M_{2b} = momen berfaktor terbesar pada ujung kolom akibat beban gravitasi.

M_{2s} = momen berfaktor terbesar akibat beban yang menimbulkan goyangan lateral besar, seperti beban gempa.

Faktor δ_b dan δ_s adalah pembesaran momen yang dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - (P_u / \phi P_c)} \geq 1 \quad (\text{SKSNI pers. 3.3-7})$$

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - (\sum P_u / \phi \sum P_c)} \geq 1 \quad (\text{SKSNI pers. 3.3-8})$$

dimana :

$$C_m = 0.6 + 0.4 \left[\frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right] > 0.4 \quad (\text{SKSNI pers. 3.3-12})$$

Nilai M_{1b}/M_{2b} negatif untuk momen *double curvature*

Untuk unbraced frame $\rightarrow C_m = 1$



Menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.11.5-1, untuk *unbraced frame* kedua nilai δ_b dan δ_s harus dihitung, sedangkan untuk *braced frame* δ_s diambil sebesar 1,

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k.L_n)^2} \quad (\text{SKSNI pers. 3.3-9})$$

$$EI = \frac{0.2E_c I_g + E_s I_s}{1 + \beta_d} \quad (\text{SKSNI pers. 3.3-10})$$

$$EI \approx 0.3E_c I_g \text{ (pendekatan)}$$

ϕ = faktor reduksi kekuatan = 0,65 (untuk komponen kolom dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat).

Dalam perencanaan gedung ini, kolom direncanakan sebagai *unbraced frame*.

3.6.6 Penulangan Lentur-Aksial Kolom

Dari perhitungan pembesaran momen diatas, maka penulangan lentur kolom dapat dicari dengan bantuan diagram interaksi M-N non dimensi.

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penulangan lentur kolom adalah sebagai berikut :

1. Tetapkan apakah kolom termasuk *braced* atau *unbraced*. Dalam perencanaan ini jenis kolom adalah kolom *unbraced* karena tidak memakai dinding geser untuk menahan gaya lateral.
2. Tetapkan apakah kolom termasuk kolom pendek atau kolom panjang. Seperti telah dijelaskan diatas, bila termasuk kolom pendek maka tidak perlu dilakukan pembesaran momen, dan sebaliknya. Peninjauan kolom pendek atau kolom panjang dilakukan pada kedua arah sumbu global. Hal ini dilakukan sebagai langkah keamanan.
3. Momen yang telah diperoleh dari langkah 2, kemudian dihitung momen ekuivalensinya. Dimana momen dua arah (*biaxial*) dijadikan satu arah, yaitu kearah yang kritis. Rumus yang digunakan adalah :

$$\phi M_{nx} = M_{ux} + M_{uy} \frac{b}{h} \frac{1 - \beta}{\beta} \text{ untuk } M_{ux} > M_{uy}$$

$$\phi M_{ny} = M_{uy} + M_{ux} \frac{b}{h} \frac{1-\beta}{\beta} \text{ untuk } M_{ux} < M_{uy}$$

harga β berkisar antara 0,55 sampai dengan 0,65. Untuk desain lebih akurat biasa digunakan 0,65. Dari dua harga momen di atas dipilih yang terbesar untuk mendesain tulangan dengan bantuan diagram interaksi. Diagram interaksi M-N tersebut dibuat berdasarkan bermacam-macam mutu beton dan mutu baja tulangan, sumbu ordinatnya menyatakan P_u dan sumbu absisnya menyatakan M_u dengan rumus sebagai berikut :

$$k_y = \frac{\phi P_n}{A_g} \quad \text{untuk sumbu ordinat (y)}$$

$$k_x = \frac{\phi M_n}{A_g \cdot h} \quad \text{untuk sumbu absis (x)}$$

Nilai P_n diperoleh dari hasil analisa SAP 2000, sedangkan M_n diperoleh dari rumus di atas. Besarnya ρ_{perlu} diperoleh dengan menarik garis sejajar sumbu x sebesar K_x yang dipotong dengan garis sejajar sumbu Y sebesar K_y .

4. Memilih jumlah tulangan sesuai dengan A_{perlu} dengan rumus :

$$A_{perlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot h$$

yang nantinya akan menghasilkan A_{ada} .

5. Pengontrolan membandingkan P_n penampang dengan P_n yang terjadi.

Bila P_n penampang $>$ P_n yang terjadi \rightarrow kolom kuat

Bila P_n penampang $<$ P_n yang terjadi \rightarrow kolom tidak kuat

3.6.7 Kontrol dengan Bresler Resiprocal Method

Bresler Resiprocal Method merupakan salah satu teori dalam pengecekan kolom yang mengalami momen dari dua arah (*biaxial bending*). Sebagai alat bantu digunakan diagram interaksi yang sama dengan yang digunakan untuk merencanakan tulangan lentur kolom.

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Hitung harga $\frac{e}{h}$ untuk masing-masing arah momen. Momen yang digunakan adalah momen yang dihasilkan dari langkah-langkah perencanaan tulangan lentur kolom.
2. Dari harga $\frac{e}{h}$ untuk masing-masing arah momen dan ρ yang digunakan, lalu titik pertemuannya diproyeksikan sejajar sumbu x untuk memperoleh harga $\frac{\phi P_n}{A_g}$. Maka harga P_n untuk arah x dan y dapat diperoleh.

Kekuatan penampang tekan yang memperoleh gaya aksial dan momen lentur dalam dua arah sumbu utamanya (momen biaxial) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{ob}} \geq P_n \text{ ada}$$

dimana :

P_{nx} = gaya aksial nominal arah x

P_{ny} = gaya aksial nominal arah y

P_{ob} = kekuatan nominal tanpa eksentrisitas

$$= 0.8\phi[0.85 f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

3. Dengan harga $\frac{e_x}{h}$, $\frac{e_y}{h}$ dan ρ yang telah terpasang, maka nilai P_{ox} dan P_{oy} dapat dicari dengan diagram interaksi M – N dengan rumus :

$$P_{nx} = \frac{k_x \cdot A_g}{0.65}$$

$$P_{ny} = \frac{k_y \cdot A_g}{0.65}$$

dimana k_x dan k_y adalah konstanta yang didapat pada sumbu ordinat diagram interaksi M – N untuk P_{nx} dan P_{ny} .

3.6.8 Penulangan Geser dan Torsi Kolom

Penulangan geser dan torsi pada kolom pada dasarnya adalah sama dengan penulangan geser dan torsi pada balok, hanya pada kolom daerah ujung-ujung kolom

harus mendapat perhatian khusus sebagai syarat bagi suatu struktur bangunan beton bertulang yang tahan gempa.

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan tulangan geser-torsi pada kolom adalah sebagai berikut :

- Rasio tinggi antara kolom terhadap dimensi terkecil kolom tidak boleh lebih besar dari 25.
- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup maupun sengkang majemuk.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh lebih dari $d/5$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter sengkang dan 300 mm.
- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Pada komponen struktur kolom, torsi komabilitas tidak boleh dipakai karena, pada kolom tidak terjadi redistribusi gaya-gaya dalam kecuali untuk suatu komponen kolom khusus.
- Pada daerah ujung sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan (ϕV_c) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.

Selanjutnya untuk langkah-langkah perhitungan penulangan geser torsi kolom hampir sama dengan perhitungan geser pada balok.

3.6.9 Pertemuan Balok dan Kolom (Beam Column Joint)

Pertemuan balok dan kolom merupakan suatu daerah dimana terjadi interaksi tegangan yang sangat tinggi, karena momen terbalik arah pada balok-balok disisinya akibat beban gempa yang cukup besar. Faktor yang kritis dalam perencanaan pertemuan balok dan kolom adalah pemindahan gaya-gaya yang bekerja pada suatu elemen struktur pada elemen struktur lainnya melalui suatu pertemuan. Bila tidak direncanakan dengan tepat justru di daerah pertemuan ini akan terjadi retak diagonal akibat gaya geser horizontal yang bekerja. Untuk perencanaan hubungan balok kolom pada rangka beton

bertulang pada penahan gaya gempa, SKSNI pasal 3.14.2 butir 3 dan 4 memberikan batasan sebagai berikut :

Untuk struktur yang direncanakan dengan tingkat daktilitas 2 harus direncanakan proporsinya menurut ketentuan pasal 3.14.9 dan memenuhi ketentuan pasal 3.1 hingga 3.11

Gedung ini direncanakan dengan tingkat daktilitas 2, sehingga dalam merencanakan hubungan balok digunakan SKSNI 1991 pasal 3.14.9. Dalam pasal ini tidak menyajikan ketentuan balok kolom dalam bentuk perhitungan teknis melainkan berupa batasan-batasan jumlah dan jarak dari sengkang dan tulangan memanjang yang digunakan pada elemen balok dan kolom.

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan hubungan balok kolom menurut pasal 3.14.9 adalah :

(1). Balok

- Kuat momen positif pada sisi muka dari joint tidak boleh kurang dari $\frac{1}{2}$ kuat momen negatif yang disediakan pada sisi muka joint tersebut. Pada sembarang penampang dari komponen struktur tersebut, kuat momen positif maupun negatifnya tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat momen maksimum yang terdapat pada kedua ujung joint.
- Sengkang tertutup harus dipasang dalam daerah sepanjang tinggi komponen struktur.
- Sengkang tertutup pertama harus terpasang tidak lebih dari 50 mm diukur dari sisi muka komponen pendukung. Spasi maksimum sengkang tidak melebihi $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan terkecil, 24 kali diameter batang sengkang dan 300 mm.

(2). Kolom

- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup maupun sengkang majemuk seperti yang ditentukan dalam ayat 3.4.1 hingga 3.4.5.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak lebih dari setengah dimensi komponen struktur yang terkecil, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil dan 200 mm.

- Pada setiap muka joint dan pada kedua sisi dari setiap penampang harus dipasang tulangan transversal sepanjang l_o dari muka yang ditinjau. Panjang l_o tidak kurang dari :
 - Tinggi komponen struktur untuk $Nu, k < 0,3.A_g.f_c'$,
 - Satu setengah dari tinggi komponen dimensi struktur, untuk $Nu > 0,3.A_g.f_c'$.
 - Seperenam bentang bersih dari komponen struktur.
 - 450 mm.

3.7 Perencanaan Pondasi

Pondasi adalah elemen beton struktural yang meneruskan beban dari struktur di atasnya ke tanah yang memikulnya. Pondasi yang digunakan adalah jenis pondasi dalam tiang pancang.

3.7.1 Daya Dukung Tiang Pancang

Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil uji SPT (sondir-boring) menurut Philipponnat yaitu sebagai berikut:

$$Q_u = (Q_p)a + (Q_s)a$$

$$(Q_p)a = \frac{A \cdot q_p}{2} \quad \text{dan} \quad (Q_s)a = \frac{p}{2} \sum f_{ui} \cdot h_i$$

$$q_p = \alpha_p \cdot R_p \quad \text{dimana} \quad R_p = \frac{1}{6B} \int_{z=3B}^{z=9B} R_p(z) dz$$

$$f_{ui} = \alpha_f \cdot \frac{R_p}{\alpha_s}$$

dimana, $(Q_p)a$ = daya dukung unsur ujung tiang (*point*), dengan angka keamanan 2.

$(Q_s)a$ = daya dukung unsur lekatan (*friction*), dengan angka keamanan 2.

R_p = data konus diambil rata-rata sepanjang $3.B$ diatas hingga $3.B$

dibawah dasar konus.

Z_p = posisi ujung bawah tiang.

A = luas penampang bawah tiang.

P = keliling tiang.

B = diameter tiang.

α = koefisien.

α_s, α_f = koefisien fungsi dari tanah dan tipe tiang.

$\Sigma H_i = D$ = kedalaman tiang.

Sedangkan perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil uji SPT (sondir-boring) menurut Meyerhof yaitu:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

$$Q_{ad} = \frac{Q_L}{F}$$

$$Q_p = 4 \cdot \pi \cdot A_p \quad \text{dimana} \quad A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$Q_s = \frac{\pi \cdot D^2}{50} N_{av}$$

dimana, Q_{ad} = daya dukung ijin tiang pondasi

Q_L = daya dukung tanah maximum (ton)

Q_p = daya dukung perlawanan tanah unsur dasar tiang pondasi

N = harga SPT didasar tiang pondasi

A_p = luas penampang ujung tiang pancang

N_{av} = harga N rata-rata disepanjang tiang yang terbenam (D)

B = diameter ujung tiang pancang.

D = panjang tiang pondasi yang terbenam (m).

F = angka keamanan, diambil 3

Q_s = daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah

Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Perhitungan daya dukung tiang pancang kelompok dihitung dengan rumusan berikut:

$$P_{ijin\ group} = n \times P_{ijin\ 1\ tiang} \times Eff$$

dimana, n = jumlah tiang dalam group.

$$Eff = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \text{ (Converse Labarre)}$$

$$\theta = \arctan(D/s)$$

D = diameter tiang.

s = jarak antar sumbu tiang ($2,5.D$ s.d. $5.D$).

m = jumlah tiang perbaris sb.x.

n = jumlah tiang perkolom sb.y.

3.7.2 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam kelompok tiang dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang.

$$P_{maks} = \frac{\sum Pu}{n} + \frac{M_y \cdot x_{maks}}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot y_{maks}}{\sum y^2} \leq P_{ult}$$

dimana, P_{ult} = daya dukung ijin tiang dalam satu kelompok.

P_{maks} = beban maksimum 1 tiang pancang.

$\sum Pu$ = jumlah total beban aksial.

n = jumlah tiang dalam group.

M_x = momen yang terjadi pada arah x.

M_y = momen yang terjadi pada arah y.

x_{maks} = absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang.

y_{maks} = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang.

$\sum x^2$ = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang.

$\sum y^2$ = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang.

3.7.3 Daya Dukung Tiang Akibat Gaya Horizontal

Tiang pancang harus mampu menerima gaya tekan aksial dan momen akibat gaya horizontal dengan cara mengubah gaya horizontal menjadi momen tambahan yang

bekerja pada tiang pancang. Momen ini harus dicek terhadap kekuatan lentur dari tiang pancang yang digunakan.

Untuk mengontrol kemampuan masing-masing tiang maupun kelompok tiang perlu dibedakan antara tiang panjang dan tiang pendek, dimana tiang panjang dan tiang pendek ditentukan dengan rumus berikut:

$$L_2 = 2,2.L_1$$

$$L_1 = F - 1,5.D$$

$$F = \frac{H}{9 \times Cr \times B}$$

$$Cr = 0,5.Cu$$

dimana, L_2 = kedalaman dimana momen lentur adalah nol.

L_1 = kedalaman dimana momen lentur adalah maksimum.

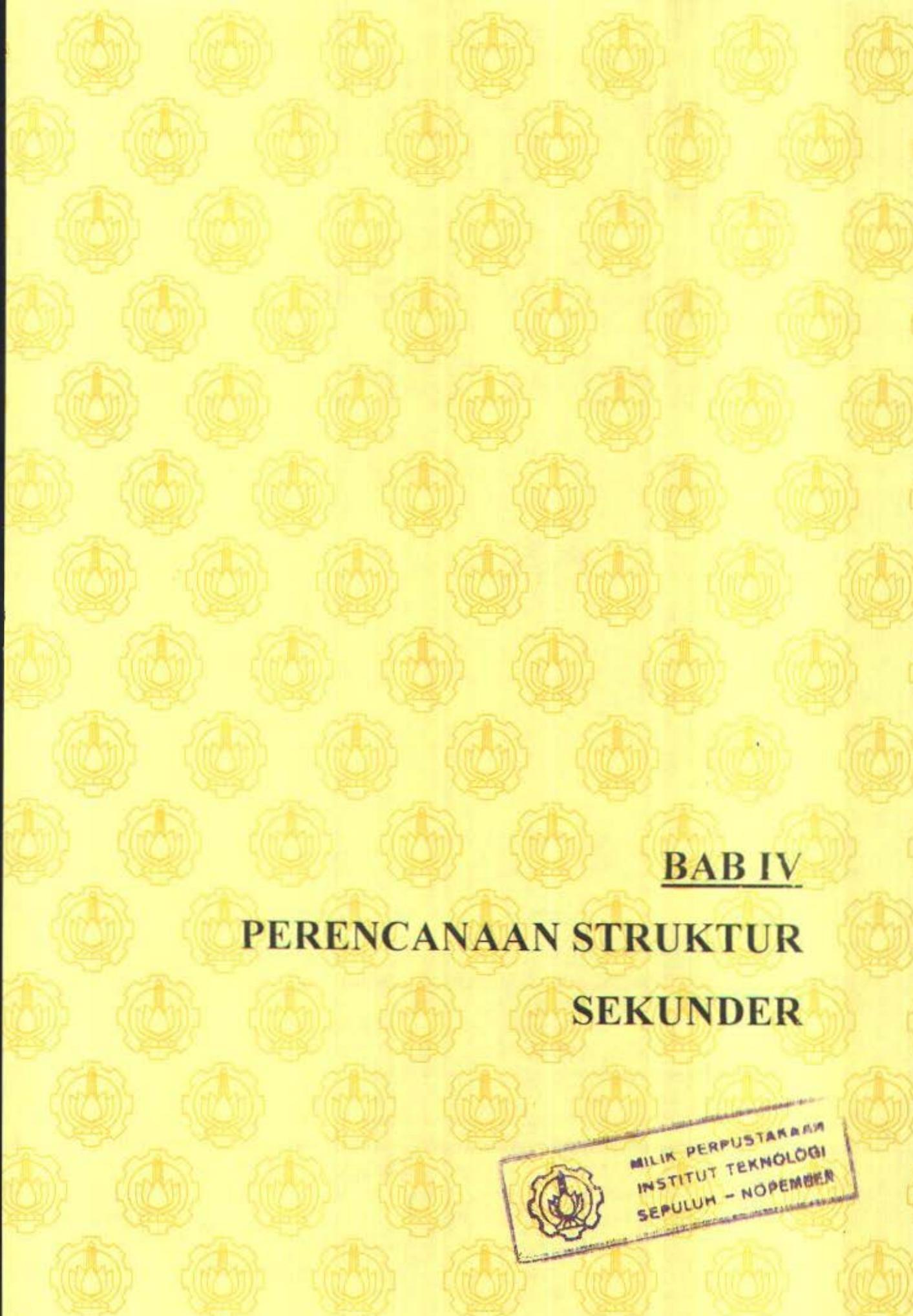
F = panjang daerah perlawanan.

Cu = harga kohesi tanah.

D = diameter tiang (untuk tiang tunggal)

B = lebar dari kelompok tiang tegak lurus arah beban (pile group)

Apabila L tiang $> L_2$ maka tiang dianggap sebagai tiang panjang



BAB IV

**PERENCANAAN STRUKTUR
SEKUNDER**

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

BAB IV

PERENCANAAN SEKUNDER

4.1 Umum

Elemen struktur pada gedung ini terdiri dari :

- Struktur sekunder : pelat, tangga (ramp), dan balok anak
- Struktur utama : balok bertulang, balok pretekan, dan kolom
- Pondasi : poer, dan tiang pancang

Struktur sekunder hanya bersifat membebani struktur utama sehingga tidak mempengaruhi perilaku struktur utama secara keseluruhan.

4.2 Kriteria Perencanaan

Beton bertulang

- Mutu beton $f'c = 30 \text{ Mpa}$

Beton pretekan

- Mutu beton $f'c = 40 \text{ MPa}$

Baja tulangan lunak

- Mutu baja $f_y = 390 \text{ MPa}$ → tulangan *deform.*
- Mutu baja $f_y = 320 \text{ MPa}$ → tulangan polos
- Modulus elastisitas $E_c = 200000 \text{ MPa}$

4.3 Preliminary Design

Dimensi balok dapat diperkirakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Tinggi balok (h)} &= \frac{1}{10}L - \frac{1}{15}L \\ \text{Tinggi balok pretekan} &= \frac{1}{10}L - \frac{1}{20}L \\ \text{Lebar balok} &= \frac{1}{2}h - \frac{2}{3}h\end{aligned}$$

1) Balok Induk dengan bentang 500 cm

$$h = \frac{1}{12}L = \frac{1}{12} \times 500 = 41,7 \text{ cm} \rightarrow \text{dipakai } h = 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2}h = \frac{1}{2} \times 70 = 35 \text{ cm} \rightarrow \text{dipakai } b = 40 \text{ cm}$$

Jadi dimensi Balok Induk direncanakan 40/70

2) Balok Pratekan dengan bentang 2500 cm direncanakan :

$$h = \frac{1}{20}L = \frac{1}{20} \times 2500 = 125 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{dipakai } h = 130 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2}h = \frac{1}{2} \times 130 = 65 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{dipakai } b = 70 \text{ cm}$$

Jadi dimensi Balok Induk direncanakan 70/130

3) Kolom

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} = \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

bila $b = h$, maka diperoleh :

$$\frac{\frac{1}{12}h^4}{400} = \frac{\frac{1}{12} \times 40 \times 80^3}{900}$$

\rightarrow dipakai kolom dengan $b = h = 70 \text{ cm}$

$$h = \sqrt[4]{\frac{40 \times 80^3 \times 400}{900}} = 55 \text{ cm}$$

Tabel 4.1 Dimensi Balok

Tipe balok	Bentang	Dimensi
B	400 cm	40 cm x 60 cm
	450 cm	
	500 cm	
BA	500 cm	30 cm x 50 cm
BP	2500 cm	70 cm x 130 cm

Tabel 4.2 Dimensi Kolom

Tipe Kolom	Bentang	Dimensi
K1	400 cm	70 cm x 70 cm
K2	400 cm	70 cm x 90 cm

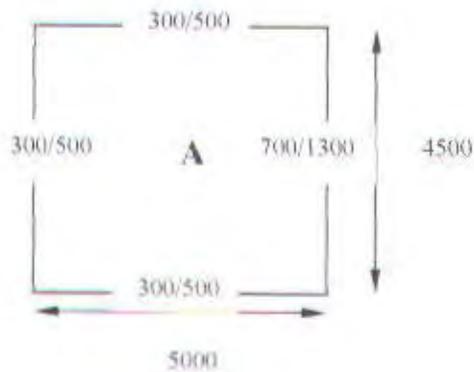
4.4 Perencanaan Pelat

4.4.1 Data Perencanaan Pelat

Mutu bahan	: Baja (f_y) = 320 MPa
	Beton (f_c') = 30 MPa
Tebal pelat rencana atap	: 10 cm
Tebal pelat rencana lantai	: 12 cm
Selimit beton	: 20 mm (SKSNI '91 3.16.7)
Ukuran tulangan rencana	: \varnothing 10 mm
Ukuran tulangan susut	: \varnothing 8 mm

4.4.2 Kontrol Tebal Pelat Lantai :

Pelat tipe A Interior.



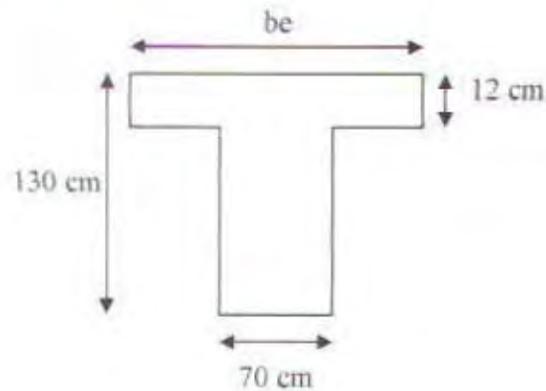
$$L_n = 5000 - \left(\frac{300}{2} + \frac{700}{2} \right) = 4500 \text{ mm}$$

$$S_n = 4500 - \left(\frac{300}{2} + \frac{300}{2} \right) = 4200 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{4500}{4200} = 1,07 < 2$$

→ pelat 2 arah

Balok Interior (700/1300)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h-t) = 700 + (1300 - 120) = 1880 \text{ mm} \\ b_{e2} &= b_w + 8t = 700 + (8 \times 120) = 1660 \text{ mm} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} b_{e1} \\ b_{e2} \end{aligned}} \right\} \text{diambil } b_e = 1660 \text{ mm}$$

$$b_s = 4500 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left(4 - 6 \frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left[\left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{1660}{700} - 1 \right) \left(\frac{120}{1300} \right) \left(4 - 6 \frac{120}{1300} \right) + 4 \left(\frac{120}{1300} \right)^2 + \left[\left(\frac{1660}{700} - 1 \right) \left(\frac{120}{1300} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{1660}{700} - 1 \right) \left(\frac{120}{1300} \right)} = 1,3061$$

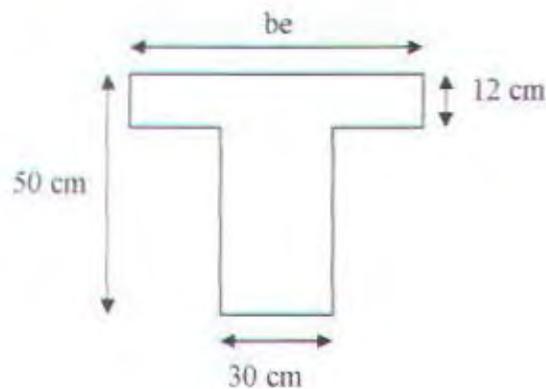
$$I_{balok} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1,3061 \times 700 \times 1300^3 = 1,674E + 11 \text{ mm}^4$$

$$I_{slab} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 4500 \times 120^3 = 6,48E + 08 \text{ mm}^4$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad \rightarrow \quad E_{cb} = E_{cs}$$

$$\text{diperoleh} \quad \alpha_1 = \alpha_2 = \frac{I_b}{I_s} = \frac{1,674E + 11}{6,48E + 08} = 244,737$$

Balok interior (300/500)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h-t) = 300 + 2(500 - 120) = 1060 \text{ mm} \\ b_{e2} &= b_w + 8t = 300 + 8 \times 120 = 1260 \text{ mm} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} b_{e1} \\ b_{e2} \end{aligned}} \right\} \text{diambil } b_e = 1060 \text{ mm}$$

$$b_s = 5000 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left(4 - 6 \frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left[\left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{1060}{300} - 1 \right) \left(\frac{120}{500} \right) \left(4 - 6 \frac{120}{500} \right) + 4 \left(\frac{120}{500} \right)^2 + \left[\left(\frac{1060}{300} - 1 \right) \left(\frac{120}{500} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{1060}{300} - 1 \right) \left(\frac{120}{500} \right)} = 1,7549$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1,7549 \times 300 \times 500^3 = 5,484E + 09 \text{ mm}^4$$

$$I_{siak} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 5000 \times 120^3 = 7,2E + 08 \text{ mm}^4$$

$$\text{diperoleh } \alpha_3 = \alpha_4 = \frac{I_s}{I_e} = \frac{5,484E + 09}{7,2E + 08} = 7,617$$

dari perhitungan sebelumnya, diperoleh harga α rata-rata

$$\alpha_m = \frac{1}{4} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) = \frac{1}{4} (244,737 + 3 \times 7,617) = 66,9$$

Tebal pelat mengikuti ketentuan SKSNI pasal 3.2.5 sebagai berikut :

$$h_{\text{min}1} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} = \frac{4500 \left(0,8 + \frac{320}{1500} \right)}{36 + 5 \times 1,07 \left[66,9 - 0,12 \left(1 + \frac{1}{1,07} \right) \right]} = 11,6 \text{ mm}$$

$$h_{\text{min}2} = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 9\beta} = \frac{4500 \left[0,8 + \frac{320}{1500} \right]}{36 + 9 \times 1,07} = 99,9 \text{ mm}$$

$$h_{max} = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} = \frac{4500 \left[0,8 + \frac{320}{1500} \right]}{36} = 126,7 \text{ mm}$$

dan dalam segala hal tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari :

$$\alpha_m \geq 2.0 \quad \dots\dots\dots 90 \text{ mm}$$

Jadi tebal pelat rencana = 120 mm	>	h_{min1}	= 11,6 mm	(OK)
	>	h_{min2}	= 99,9 mm	(OK)
	>	h_{min3}	= 90 mm	(OK)
	<	h_{max}	= 126,7 mm	

4.4.3 Pembebanan Pelat Lantai

Beban Mati (D)

Berat sendiri pelat (t = 12 cm)	= 0,12 x 2400	= 288 kg/m ²
---------------------------------	---------------	-------------------------

Lapisan aus (tebal = 3 cm)	= 3 x 21	= 63 kg/m ²
----------------------------	----------	------------------------

Total Beban Mati	= 351 kg/m ²
------------------	-------------------------

Beban Hidup (L)

Beban hidup untuk lantai parkir	= 500 kg/m ²
---------------------------------	-------------------------

Total Beban Hidup	= 500 kg/m ²
-------------------	-------------------------

Pembebanan pelat lantai

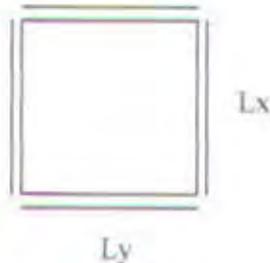
$$D = 351 \text{ kg/m}^2$$

$$L = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ultimate, } U &= 1,2D + 1,6L = (1,2 \times 351) + (1,6 \times 500) \\ &= 1221,2 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.4.4 Penulangan Pelat Lantai

Momen pelat diambil dari PBI '71 tabel I3.3.2, dengan menganggap pelat terjepit elastis pada balok.



Gambar 4.1 Pelat Terjepit Elastis

Momen arah sumbu x

$$\begin{aligned} M_{lx} = M_{tx} &= 0,001 \times U \times L_x^2 \times C \\ &= 0,001 \times 1221,2 \times 4,5^2 \times 40,2 \\ &= 994,1 \text{ kgm} = 9,75 \text{ E}+07 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen arah sumbu y

$$\begin{aligned} M_{ly} = M_{ty} &= 0,001 \times U \times L_x^2 \times C \\ &= 0,001 \times 1221,2 \times 4,5^2 \times 37,7 \\ &= 932,3 \text{ kgm} = 9,15 \text{ E}+06 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Menghitung rasio tulangan berimbang ($\rho_{balance}$), rasio tulangan maksimum (ρ_{max}) dan rasio tulangan minimum (ρ_{min}).

$$\text{Dimana } \beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ MPa} \quad \text{SKSNI '91 3.3.2 (7)}$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \frac{0,85 \times 30}{320} \frac{600}{600 + 320} = 0,0442$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0442 = 0,0331 \quad \text{SKSNI '91 3.3.3 (3)}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044 \quad \text{SKSNI '91 3.3.5 (1)}$$

Menghitung tulangan yang diperlukan (As perlu)

- Kebutuhan tulangan arah x

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{9,75 \text{ E} + 06}{0,8} = 1,22 \text{ E} + 07 \text{ Nmm}$$

$$d_x = 120 - 20 - 10/2 = 95 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{1,22 \text{ E} + 07}{1000 \times 95^2} = 1,35$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mkn}{f_y}} \right) = \frac{1}{12,549} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 1,35}{320}} \right) = 0,0044$$

$$\text{dipakai } \rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0,0044 = 0,0059$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d_x = 0,0059 \times 1000 \times 95 \\ &= 560,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan $\phi 10-125$ ($A_s = 628,3 \text{ mm}^2$)

Syarat jarak tulangan :

$$\begin{aligned} s &\leq 3t = 3 \times 120 = 360 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \quad (\text{SKSNI '91 3.16.6}) \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kebutuhan tulangan lapangan dan tumpuan (arah y)

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{9,15E+06}{0,8} = 1,144E+07 \text{ Nmm}$$

$$d_y = 120 - 20 - 10 - 10/2 = 85 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd_y^2} = \frac{1,144E+07}{1000 \times 85^2} = 1,583$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{12,549} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 1,583}{320}} \right) = 0,0051$$

$$\text{dipakai } \rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0,0051 = 0,0068$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d_y = 0,0068 \times 1000 \times 85 \\ &= 578 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan $\phi 10-125$ ($A_s = 628,3 \text{ mm}^2$)

Syarat jarak tulangan :

$$\begin{aligned} s &\leq 3t = 3 \times 120 = 360 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kebutuhan tulangan susut dan suhu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho b h = 0,0020 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dipasang tulangan } \phi 8-200 \quad (\text{As} = 251,3 \text{ mm}^2)$$

Syarat jarak tulangan susut + suhu:

$$\begin{aligned} s &\leq 5t = 5 \times 120 = 600 \text{ mm} \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{OK}) \quad (\text{SKSNI '91 3.16.12-2})$$

4.4.5 Kontrol Lendutan

$$I_g = \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3 = 1,44 E+8 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 120 = 60 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 628,3 \text{ mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{30} = 25743 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25743} = 7,769$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 0,7 \sqrt{30} = 3,83 \text{ MPa}$$

Dengan menganggap penampang retak transformasi, dicari letak garis netral sejarak y dari serat atas pelat :

$$\begin{aligned} b \cdot x \cdot \frac{1}{2} x &= n \cdot \text{As} \cdot (d-y) \\ 1000 \cdot y \cdot \frac{1}{2} y &= E_s/E_c \cdot 628,3 \cdot (120-y) \\ 500 \cdot y^2 &= 7,769 \cdot 628,3 \cdot (120-y) \\ 500 \cdot y^2 &= 585751,5 - 4881,3y \\ y &= 29,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Besarnya momen inersia pada keadaan retak :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{12} b y^3 + n \cdot \text{As} \cdot (d-y)^2 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 29,7^3 + 7,769 \cdot 628,3 \cdot (120-29,7)^2 \\ &= 4,2 E+7 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,83 \times 1,44 E+8}{60} = 9,20 E+6 \text{ Nmm}$$

Lendutan akibat beban mati :

$$\text{DL} = 351 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{max,DL}} = 0,001 \times 37,7 \times 351 \times 4,5^2 = 268 \text{ kgm} = 2,63 E+6 \text{ Nmm}$$

$$\frac{M_{cr}}{M \max DL} = \frac{9,20E+6}{2,63E+6} = 3,5$$

$$I_{eff} = \left(\frac{M_{cr}}{M \max DL} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M \max DL} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$I_{eff} = 3,5^3 \cdot 1,44E+8 + [1 - 3,5^3] 4,2E+7 = 4,42E+9 \text{ mm}^4$$

karena $I_{eff} > I_g \rightarrow$ maka I_g yang dipakai

$$\Delta_{DL} = \frac{5 M \max DL \times L^2}{48 E_c \times I_g} = \frac{5}{48} \times \frac{2,63E+6 \times 4500^2}{25743 \times 1,44E+8} = 1,5 \text{ mm}$$

Lendutan akibat beban hidup :

$$LL = 500 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max LL} &= 0,001 \times 37,7 \times 500 \times 4,5^2 \\ &= 381,7 \text{ kgm} = 3,75 E+6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_{cr}}{M \max LL} = \frac{9,20E+6}{3,75E+6} = 2,45$$

$$I_{eff} = \left(\frac{M_{cr}}{M \max LL} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M \max LL} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$I_{eff} = 2,45^3 \cdot 1,44E+8 + [1 - 2,45^3] 4,2E+7 = 1,54E+9 \text{ mm}^4$$

karena $I_{eff} > I_g \rightarrow$ maka I_g yang dipakai

$$\Delta_{LL} = \frac{5 M \max LL \times L^2}{48 E_c \times I_g} = \frac{5}{48} \times \frac{3,75E+6 \times 4500^2}{25743 \times 1,44E+8} = 2,1 \text{ mm}$$



Lendutan jangka panjang akibat rangkai + susut :

$$\xi = 2 \quad \text{untuk beban lebih dari 5 tahun (SKSNI '91 3.2.5-5)}$$

$$\rho' = 0 \quad \text{tidak ada tulangan tekan}$$

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} = \frac{2}{1 + 0} = 2$$

$$\Delta_{cr+sh} = \lambda \times \Delta_{LL} = 2 \times 2,1 = 4,2 \text{ mm}$$

Lendutan total yang terjadi

$$= \Delta_{DL} + \Delta_{LL} + \Delta_{cr+sh} = 1,5 + 2,1 + 4,2 = 7,8 \text{ mm}$$

Pelat direncanakan sebagai pelat yang tidak menahan / berhubungan dengan komponen structural yang mungkin rusak akibat akibat lendutan besar, maka lendutan ijin :

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{4500}{360} = 12,5mm > \Delta \text{ terjadi } \dots\dots \text{ (OK)}$$

4.4.6 Kontrol retak

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \times 320 = 192 \text{ MPa}$$

$$d_c = 120 - 20 - 10/2 = 95 \text{ mm}$$

$$s = 200 \text{ mm (jarak antar batang tulangan)}$$

$$A = 2 \times d_c \times s = 2 \times 95 \times 200 = 38000 \text{ mm}^2$$

$$z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} = 192 \times \sqrt[3]{95 \times 38000}$$

$$z = 29453,50 \text{ MPa} < 30 \text{ MN/m untuk struktur dalam ruangan } \dots\dots \text{ (OK)}$$

4.4.7 Kontrol Kuat Geser

Berdasarkan UBC-1997 untuk desain lantai parkir kendaraan, Perencanaan penampang akibat geser sebesar 8,9 kN untuk 12.903 mm².

$$V_n \leq V_c$$

$$V_n = 8,9 \text{ kN} = 900 \text{ kg}$$

$$V_c = \text{kuat geser nominal}$$

$$= \left[1 + \frac{2}{\beta c} \right] \left[\frac{\sqrt{f'c}}{6} \right] b_o \cdot d$$

$$\text{tetapi tidak boleh lebih dari : } \frac{\sqrt{f'c}}{3} b_o \cdot d$$

βc = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek daerah beban terpusat

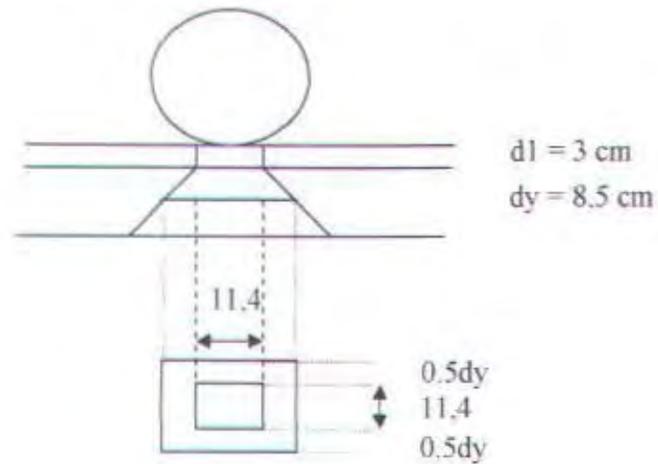
b_o = keliling dari penampang kritis pada pelat dalam mm

Untuk luasan 12903 mm² diasumsikan luasan roda kendaraan yang mengenai pelat berbentuk empat persegi dengan panjang = 162,5 mm dan lebar = 80 mm

$$\beta c = \frac{162,5}{80} = 2,03$$

$$b_o = (16,25 + 8 + 2 \times d_3) \times 2$$

$$= (16,25 + 8 + 2 \times 8,5) \times 2 = 82,5 \text{ cm}$$



Gambar 4.2 Distribusi Tegangan Ponds

$$V_c = \left[1 + \frac{2}{2,03} \right] \left[\frac{\sqrt{30}}{6} \right] 825,85$$

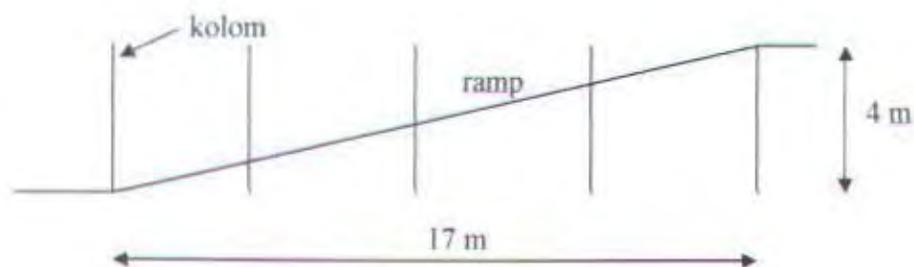
$$= 127084 \text{ N} = 127,08 \text{ kN}$$

$$V_c^* = \frac{\sqrt{30}}{3} 825,85 = 128,03 \text{ kN}$$

$$V_c = 127,08 \text{ kN} < V_c^* = 128,03 \text{ kN} \dots\dots\text{ok}$$

$$V_n = 9,8 \text{ kN} < V_c = 127,08 \text{ kN} \dots\dots\text{ok}$$

4.5 Perencanaan Ramp



Gambar 4.3 Perencanaan Ramp

4.5.1 Perencanaan Dimensi Ramp

Preliminary Design

Balok Utama Ramp dengan bentang 4,623 m :

$$h = \frac{1}{12} L = \frac{1}{12} \times 4623 = 38,5 \text{ cm} \rightarrow \text{dipakai } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 50 = 25 \text{ cm} \rightarrow \text{dipakai } b = 30 \text{ cm}$$

Balok Anak Ramp dengan bentang 4,0 m :

$$h = \frac{1}{12} L = \frac{1}{12} \times 4000 = 33,33 \text{ cm} \rightarrow \text{dipakai } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 50 = 25 \text{ cm} \rightarrow \text{dipakai } b = 30 \text{ cm}$$

4.5.2 Perencanaan Pelat Ramp

Data Perencanaan Pelat

Mutu bahan : Baja (f_y) = 320 MPa

Beton (f_c') = 30 MPa

Tebal pelat rencana ramp : 10 cm

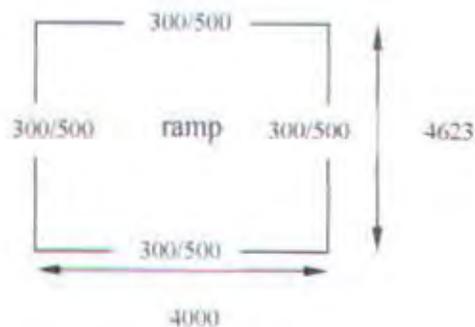
Selimut beton : 20 mm (SKSNI '91 3.16.7)

Ukuran tulangan rencana : \varnothing 10 mm

Ukuran tulangan susut : \varnothing 8 mm

4.5.3 Kontrol Tebal Pelat Ramp :

Pelat ramp :



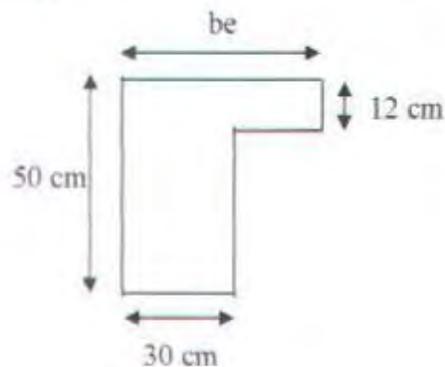
$$L_n = 4623 - \left(\frac{300}{2} + \frac{300}{2} \right) = 4323 \text{ mm}$$

$$S_n = 4000 - \left(\frac{300}{2} + \frac{300}{2} \right) = 3700 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{4323}{3700} = 1,168 < 2$$

\rightarrow pelat 2 arah

Balok Eksterior (300/500)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + (h - t) = 300 + (500 - 120) = 680 \text{ mm} \\ b_{e2} &= b_w + 4t = 300 + (4 \times 120) = 780 \text{ mm} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} b_{e1} \\ b_{e2} \end{aligned}} \right\} \text{diambil } b_e = 680 \text{ mm}$$

$$b_s = 4623 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left(4 - 6\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left[\left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_w}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{680}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right) \left(4 - 6\frac{120}{500}\right) + 4\left(\frac{120}{500}\right)^2 + \left[\left(\frac{680}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{680}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right)} = 1,542$$

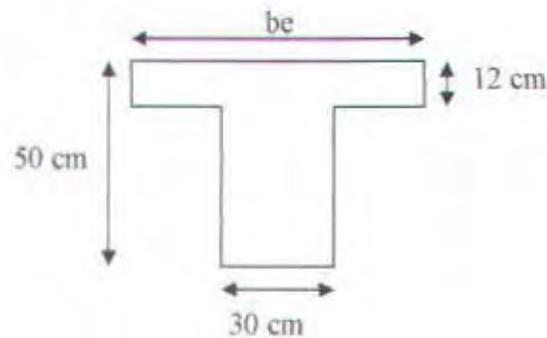
$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1,542 \times 300 \times 500^3 = 4,82E + 09 \text{ mm}^4$$

$$I_{\text{colok}} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 4623 \times 120^3 = 6,66E + 08 \text{ mm}^4$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{E_{cb} I_s}{E_{cs} I_s} \quad \rightarrow \quad E_{cb} = E_{cs}$$

$$\text{diperoleh } \alpha_1 = \alpha_2 = \frac{I_s}{I_s} = \frac{4,82E + 09}{6,66E + 08} = 7,24$$

Balok interior (300/500)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h-t) = 300 + 2(500 - 120) = 1060 \text{ mm} \\ b_{e2} &= b_w + 8t = 300 + 8 \times 120 = 1260 \text{ mm} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} b_{e1} \\ b_{e2} \end{aligned}} \right\} \text{diambil } b_e = 1060 \text{ mm}$$

$$b_s = 4000 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left(4 - 6 \frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left[\left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{1060}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right) \left(4 - 6 \frac{120}{500}\right) + 4 \left(\frac{120}{500}\right)^2 + \left[\left(\frac{1060}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{1060}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right)} = 1,755$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1,755 \times 300 \times 500^3 = 5,484 \text{ E} + 09 \text{ mm}^4$$

$$I_{sias} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 4000 \times 120^3 = 5,76 \text{ E} + 08 \text{ mm}^4$$

$$\text{diperoleh } \alpha_3 = \alpha_4 = \frac{I_s}{I_b} = \frac{5,484 \text{ E} + 09}{5,76 \text{ E} + 08} = 9,521$$

dari perhitungan sebelumnya, diperoleh harga α rata-rata

$$\alpha_m = \frac{1}{4} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) = \frac{1}{4} (2 \times 7,24 + 2 \times 9,521) = 8,3805$$

Tebal pelat mengikuti ketentuan SKSNI pasal 3.2.5 sebagai berikut :

$$h_{\min 1} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} = \frac{3700 \left(0,8 + \frac{320}{1500} \right)}{36 + 5 \times 1,168 \left[8,3805 - 0,12 \left(1 + \frac{1}{1,168} \right) \right]} = 44,83 \text{ mm}$$

$$h_{\min 2} = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 9\beta} = \frac{3700 \left[0,8 + \frac{320}{1500} \right]}{36 + 9 \times 1,168} = 80,61 \text{ mm}$$

$$h_{\max} = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} = \frac{3700 \left[0,8 + \frac{320}{1500} \right]}{36} = 104,15 \text{ mm}$$

dan dalam segala hal tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari :

$$\alpha_m \geq 2.0 \quad \dots\dots\dots 90 \text{ mm}$$

Jadi tebal pelat rencana = 120 mm	>	$h_{\min 1}$	= 44,83 mm (OK)
	>	$h_{\min 2}$	= 80,61 mm (OK)
	>	$h_{\min 3}$	= 90 mm (OK)
	<	h_{\max}	= 104,15 mm

4.5.4 Pembebanan Pelat Ramp

Beban Mati (D)		
Berat sendiri pelat (t=12 cm)	= 0,12 x 2400	= 288 kg/m ²
Lapisan aus (tebal = 3 cm)	= 3 x 21	= 63 kg/m ²
	Total Beban Mati	= 351 kg/m ²
Beban Hidup (L)		
Beban hidup pada ramp		= 500 kg/m ²
	Total Beban Hidup	= 500 kg/m ²

Pembebanan pelat ramp

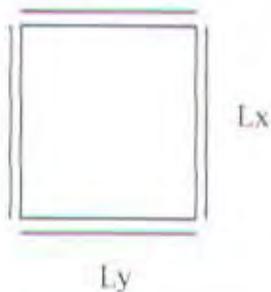
$$D = 351 \text{ kg/m}^2$$

$$L = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ultimate, } U &= 1,2D + 1,6L = (1,2 \times 351) + (1,6 \times 500) \\ &= 1221,2 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.5.5 Penulangan Pelat Ramp

Momen pelat diambil dari PBI '71 tabel 13.3.2, dengan menganggap pelat terjepit elastis pada balok.



Gambar 4.4 Pelat Ramp Terjepit Elastis

Momen arah sumbu x

$$\begin{aligned} M_{lx} = -M_{tx} &= 0,001 \times U \times Lx^2 \times C \\ &= 0,001 \times 1221,2 \times 4,0^2 \times 44,72 \\ &= 873,8 \text{ kgm} = 8,57 \text{ E}+06 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} = -M_{ty} &= 0,001 \times U \times Lx^2 \times C \\ &= 0,001 \times 1221,2 \times 4,0^2 \times 37,68 \\ &= 736,24 \text{ kgm} = 7,22 \text{ E}+06 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Menghitung rasio tulangan berimbang ($\rho_{balance}$), rasio tulangan maksimum (ρ_{max}) dan rasio tulangan minimum (ρ_{min}).

$$\text{Dimana } \beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa} \quad \text{SKSNI '91 3.3.2 (7)}$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \frac{0,85 \times 30}{320} \frac{600}{600 + 320} = 0,0442$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0442 = 0,0331 \quad \text{SKSNI '91 3.3.3 (3)}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044 \quad \text{SKSNI '91 3.3.5 (1)}$$

Menghitung tulangan yang diperlukan (As perlu)

- Kebutuhan tulangan arah x

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{8,57 \text{ E} + 06}{0,8} = 1,07 \text{ E} + 07 \text{ Nmm}$$

$$d_x = 120 - 20 - 10/2 = 95 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd_x^2} = \frac{1,07E+07}{1000 \times 95^2} = 1,1856$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{12,549} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 1,1856}{320}} \right) = 0,0038$$

$$\text{dipakai } \rho_{perlu} = \frac{4}{3} \times 0,0038 = 0,0051$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{perlu} b d_x = 0,0051 \times 1000 \times 95 \\ &= 484,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan $\phi 10-150$ ($A_s = 523,6 \text{ mm}^2$)

Syarat jarak tulangan :

$$\begin{aligned} s &\leq 3t = 3 \times 100 = 300 \text{ mm} && \text{(OK)} && \text{(SKSNI '91 3.16.6)} \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kebutuhan tulangan lapangan dan tumpuan (arah y)

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{5,12E+06}{0,8} = 6,4E+06 \text{ Nmm}$$

$$d_y = 120 - 20 - 10 - 10/2 = 85 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd_y^2} = \frac{7,22E+06}{1000 \times 85^2} = 0,999$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,549$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{12,549} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 0,999}{320}} \right) = 0,0032$$

$$\text{dipakai } \rho_{perlu} = \frac{4}{3} \times 0,0032 = 0,0043$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{perlu} b d_y = 0,0043 \times 1000 \times 85 \\ &= 365,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan $\phi 10-200$ ($A_s = 392,7 \text{ mm}^2$)

Syarat jarak tulangan :



$$s \leq 3t = 3 \times 100 = 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$s \leq 500 \text{ mm}$$

- Kebutuhan tulangan susut dan suhu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho b h = 0,0020 \times 1000 \times 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan $\phi 8-200$ ($\text{As} = 251,3 \text{ mm}^2$)

Syarat jarak tulangan susut + suhu:

$$\begin{aligned} s \leq 5t &= 5 \times 100 = 500 \text{ mm} \quad (\text{OK}) && (\text{SKSNI '91 3.16.12 - 2}) \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.5.6 Kontrol Lendutan

$$I_g = \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3 = 1,44 E + 8 \text{ mm}^4$$

$$yt = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 120 = 60 \text{ mm}$$

$$\text{As} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{30} = 25743 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25743} = 7,769$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 0,7 \sqrt{30} = 3,83 \text{ MPa}$$

Dengan menganggap penampang retak transformasi, dicari letak garis netral sejarak y dari serat atas pelat :

$$\begin{aligned} b \cdot x \cdot \frac{1}{2} x &= n \cdot \text{As} \cdot (d - y) \\ 1000 \cdot y \cdot \frac{1}{2} y &= E_s/E_c \cdot 392,7 \cdot (120 - y) \\ 500 \cdot y^2 &= 7,769 \cdot 392,7 \cdot (120 - y) \\ 500 \cdot y^2 &= 366106,35 - 3050,89y \\ y &= 24,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

Besarnya momen inersia pada keadaan retak :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{12} b y^3 + n \cdot \text{As} \cdot (d - y)^2 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 24,18^3 + 7,769 \cdot 392,7 \cdot (100 - 24,18)^2 \\ &= 1,87 E + 7 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{yt} = \frac{3,83 \times 1,44 E + 8}{60} = 9,20 E + 6 \text{ Nmm}$$

Lendutan akibat beban mati :

$$\begin{aligned} DL &= 351 \text{ kg/m} \\ M_{\max DL} &= 0,001 \times 37,68 \times 351 \times 4,0^2 \\ &= 211,61 \text{ kgm} \quad = 2,076 \text{ E}+6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\frac{Mcr}{M \max DL} = \frac{9,20E+6}{2,076E+6} = 4,43$$

$$\begin{aligned} I_{\text{eff}} &= \left(\frac{Mcr}{M \max DL} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{Mcr}{M \max DL} \right)^3 \right] I_{cr} \\ I_{\text{eff}} &= 4,43^3 \cdot 1,44E+8 + [1 - 4,43^3] \cdot 1,87E+7 = 1,091E+10 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

karena $I_{\text{eff}} > I_g \rightarrow$ maka I_g yang dipakai

$$\Delta_{\text{DL}} = \frac{5 M \max DL \times L^2}{48 E_c \times I_g} = \frac{5}{48} \times \frac{2,076E+6 \times 4000^2}{25743 \times 1,44E+8} = 0,933 \text{ mm}$$

Lendutan akibat beban hidup :

$$\begin{aligned} LL &= 500 \text{ kg/m} \\ M_{\max LL} &= 0,001 \times 37,68 \times 500 \times 4,0^2 \\ &= 301,44 \text{ kgm} \quad = 2,96 \text{ E}+6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\frac{Mcr}{M \max LL} = \frac{9,20E+6}{2,96E+6} = 3,11$$

$$\begin{aligned} I_{\text{eff}} &= \left(\frac{Mcr}{M \max LL} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{Mcr}{M \max LL} \right)^3 \right] I_{cr} \\ I_{\text{eff}} &= 3,11^3 \cdot 1,44E+8 + [1 - 3,11^3] \cdot 1,87E+7 = 3,79E+09 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

karena $I_{\text{eff}} > I_g \rightarrow$ maka I_g yang dipakai

$$\Delta_{\text{LL}} = \frac{5 M \max LL \times L^2}{48 E_c \times I_g} = \frac{5}{48} \times \frac{2,96E+06 \times 4000^2}{25743 \times 1,44E+8} = 1,33 \text{ mm}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai + susut :

$$\xi = 2 \quad \text{untuk beban lebih dari 5 tahun (SKSNI '91 3.2.5-5)}$$

$$\rho' = 0 \quad \text{tidak ada tulangan tekan}$$

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} = \frac{2}{1 + 0} = 2$$

$$\Delta_{cr+sh} = \lambda \times \Delta_{l.l.} = 2 \times 1,331 = 2,662 \text{ mm}$$

Lendutan total yang terjadi

$$= \Delta_{l.l.} + \Delta_{l.l.} + \Delta_{cr+sh} = 0,933 + 1,331 + 2,662 = 4,926 \text{ mm}$$

Pelat direncanakan sebagai pelat yang tidak menahan / berhubungan dengan komponen structural yang mungkin rusak akibat akibat lendutan besar, maka lendutan ijin :

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{4000}{360} = 11,1 \text{ mm} > \Delta \text{ terjadi } \dots \dots \text{ (OK)}$$

4.5.7 Kontrol retak

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \times 320 = 192 \text{ MPa}$$

$$d_c = 120 - 20 - 10/2 = 95 \text{ mm}$$

$$s = 150 \text{ mm} \quad (\text{jarak antar batang tulangan})$$

$$A = 2 \times d_c \times s = 2 \times 95 \times 150 = 28500 \text{ mm}^2$$

$$z = f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} = 192 \times \sqrt[3]{95 \times 28500}$$

$$z = 26760,28 \text{ MPa} < 30 \text{ MN/m} \text{ untuk struktur dalam ruangan } \dots \dots \text{ (OK)}$$

4.5.8 Perencanaan Balok Anak Ramp

Dimensi balok anak ramp direncanakan 30 / 50 :

Pembebanan

Beban Mati (D)		
Berat sendiri pelat (t = 10 cm)	= 0,12 x 2400	= 288 kg/m ²
Lapisan aus (tebal = 3 cm)	= 3 x 21	= 63 kg/m ²
	Total Beban Mati	= 351 kg/m ²
Beban Hidup (L)		
Beban hidup pada ramp		= 500 kg/m ²
	Total Beban Hidup	= 500 kg/m ²

Dari hasil analisa struktur dengan SAP 2000 diperoleh gaya-gaya :

$$Mu^- = 4,042E + 7 \text{ Nmm}$$

$$Mu^+ = 2,021E + 7 \text{ Nmm}$$

$$Vu = 3,244E + 4 \text{ N}$$

Direncanakan balok anak dengan :

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \frac{0,85 \times 30}{390} \frac{600}{600 + 390} = 0,0337$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0337 = 0,0253$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,294$$

$$\text{Tinggi balok} = 500 \text{ mm} \quad ; \quad \text{Lebar balok} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Decking} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan utama} = \text{D-19}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \phi - 10$$

$$d = 500 - 40 - 10 - 19/2 = 440,5 \text{ mm}$$

Tulangan daerah tumpuan

$$Mu^- = 2,021E + 7 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{2,021E + 7}{0,8 \times 300 \times 440,5^2} = 0,434$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,434}{390}} \right) = 0,0011$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{perlu} b d = 0,0036 \times 300 \times 440,5 \\ &= 475,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** ($As = 567,05 \text{ mm}^2$)

Penulangan lapangan

$$Mu^* = 4,042E + 7 \text{ Nmm}$$

Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{e1} = \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 4000 = 1000 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 16t = 300 + 16 \times 120 = 2220 \text{ mm} \quad \} \text{ diambil } b_e = 1000 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = \frac{1}{2}l_1 + \frac{1}{2}l_2 = \frac{1}{2} \times 4000 + \frac{1}{2} \times 0 = 2000 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b_e d^2} = \frac{4,042E + 7}{0,8 \times 1000 \times 440,5^2} = 0,259$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,259}{390}} \right) = 0,00067$$

$$\text{dipakai } \rho = \frac{4}{3} \rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0,00067 = 0,0009$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho b_e d = 0,0009 \times 1000 \times 440,5 \\ &= 396,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** ($A_s = 567,0 \text{ mm}^2$)

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_e} = \frac{567,0 \times 390}{0,85 \times 30 \times 900} = 9,635 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm.}$$

→ jadi pemisalan balok T sebagai balok persegi sudah benar.

Perencanaan Tulangan Geser

$$Vu = 3,244E + 4 \text{ N}$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_c'} b_w d = \frac{1}{6} \times 0,6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 440,5 = 7,24E + 4 \text{ N}$$

Periksa kategori desain :

$$Vu \leq \frac{1}{2} \phi V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser.}$$

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

$$A_v = 157 \text{ mm}^2$$

$$s_{\text{maks}} = \frac{3A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 320}{300} = 502,4 \text{ mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{440,5}{2} = 220,25 \text{ mm}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser $\phi 10-200$

Kontrol retak :

$$z = f_s \sqrt{d_c A}$$

$$f_s = 0,6 \times f_y = 0,6 \times 390$$

$$= 234 \text{ MPa}$$

d_c = jarak antara titik berat tulangan utama dengan serat tarik terluar

$$= 40 + 10 + 19/2 = 59,5 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2d_c b}{n} = \frac{2 \times 59,5 \times 300}{3} = 11900 \text{ mm}^2$$

$$z = 234 \times \sqrt{59,5 \times 11900} = 20860 \text{ N/mm} < 30 \text{ MN/m} \dots \text{(OK)}$$

4.5.9 Perencanaan Balok Utama Ramp

Dari hasil SAP 2000 diperoleh :

$$Mu^- = 3,38E + 7 \text{ Nmm}$$

$$Mu^+ = 1,974E + 7 \text{ Nmm}$$

$$Vu = 4,39E + 4 \text{ N}$$

Direncanakan balok ramp dengan :

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_s = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \frac{0,85 \times 30}{390} \frac{600}{600 + 390} = 0,0337$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_s = 0,75 \times 0,0337 = 0,0253$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,294$$

Tinggi balok = 500 mm ; Lebar balok = 300 mm

Decking = 40 mm

Tulangan utama = D-19

$$\text{Tulangan sengkang} = \phi - 10$$

$$d = 500 - 40 - 10 - 19/2 = 440,5 \text{ mm}$$

Tulangan daerah tumpuan

$$Mu^- = 3,38E + 7 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{3,38E + 7}{0,8 \times 300 \times 440,5^2} = 0,726$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,726}{390}} \right) = 0,0019$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d = 0,0036 \times 300 \times 440,5 \\ &= 475,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** ($As = 567,05 \text{ mm}^2$)

Penulangan lapangan

$$Mu^+ = 1,974E + 7 \text{ Nmm}$$

Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{e1} = \frac{1}{4} l_1 = \frac{1}{4} \times 4623 = 1155 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 16t = 300 + 16 \times 120 = 2220 \text{ mm} \quad \} \text{ diambil } b_e = 1155 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = \frac{1}{2} l_1 + \frac{1}{2} l_2 = \frac{1}{2} \times 4623 + \frac{1}{2} \times 4623 = 4623 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b_e d^2} = \frac{1,974E + 7}{0,8 \times 1100 \times 440,5^2} = 0,127$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,127}{390}} \right) = 0,00033$$

$$\text{dipakai } \rho = \frac{4}{3} \rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0,00033 = 0,00044$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho b_e d = 0,00044 \times 1155 \times 440,5 \\ &= 223,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** ($As = 567,0 \text{ mm}^2$)

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_e} = \frac{567,0 \times 390}{0,85 \times 30 \times 900} = 9,635 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm.}$$

→ jadi pemisalan balok T sebagai balok persegi sudah benar.

Perencanaan Tulangan Geser

$$Vu = 4,39k + 4N$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f'_c} b d = \frac{1}{6} \times 0,6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 440,5 = 7,24E + 4N$$

Periksa kategori desain :

$$Vu \leq \frac{1}{2} \phi V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser.}$$

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

$$Av = 157 \text{ mm}^2$$

$$s_{maks} = \frac{3A_v f_y}{h_w} = \frac{3 \times 157 \times 320}{300} = 502,4 \text{ mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{440,5}{2} = 220,25 \text{ mm}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser $\phi 10-200$

Kontrol retak :

$$z = f_s \sqrt{d_c A}$$

$$f_s = 0,6 \times f_y = 0,6 \times 390$$

$$= 234 \text{ MPa}$$

d_c = jarak antara titik berat tulangan utama dengan serat tarik terluar

$$= 40 + 10 - 19/2 = 59,5 \text{ mm}$$

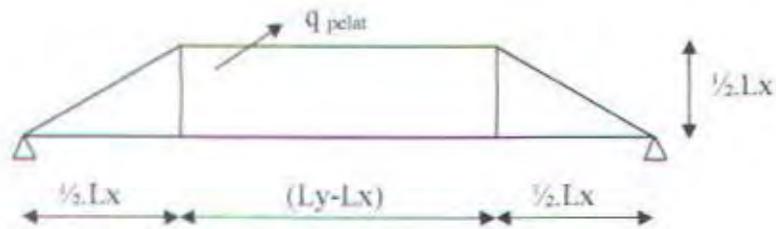
$$A = \frac{2d_c b}{n} = \frac{2 \times 59,5 \times 300}{3} = 11900 \text{ mm}^2$$

$$z = 234 \times \sqrt{59,5 \times 11900} = 20860 \text{ N/mm} < 30 \text{ MN/m} \dots \text{(OK)}$$

4.6 Perencanaan Balok Anak

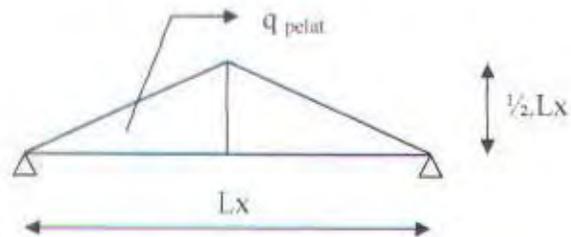
Untuk pembebanan pada balok terdiri dari 2 jenis beban yaitu beban trapesium dan beban segitiga, kedua beban langsung dikenakan ke balok tanpa mengubahnya ke beban ekuivalen.

1. Beban Trapesium



Gambar 4.5 Beban trapesium.

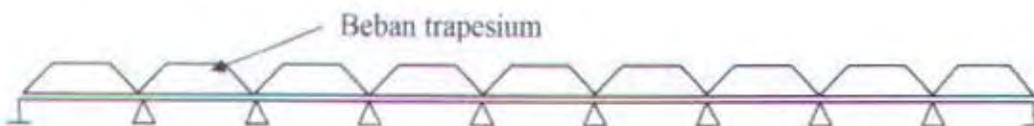
2. Beban Segitiga



Gambar 4.6 Beban Segitiga

4.6.1 Penulangan Lentur Balok Anak

Pembebanan pada balok anak :



Gambar 4.7 Pembebanan balok Anak

Contoh perhitungan perencanaan balok anak lantai 2

Dari hasil analisa struktur dengan SAP 2000 diperoleh gaya-gaya :

$$Mu^- = 4,45E + 7Nmm$$

$$Mu^+ = 2,55E + 7Nmm$$

$$Vu = 4,12E + 4N$$

Direncanakan balok anak dengan :

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{MPa}$$

$$\rho_s = \beta_1 \frac{0,85 f'c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0,85 \frac{0,85 \times 30}{390} \frac{600}{600 + 390} = 0,0337$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_s = 0,75 \times 0,0337 = 0,0253$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,294$$

Tinggi balok = 500 mm ; Lebar balok = 300 mm

Decking = 40 mm

Tulangan utama = D-19

Tulangan sengkang = ϕ -10

$$d = 500 - 40 - 10 - 19/2 = 440,5 \text{ mm}$$

Tulangan daerah tumpuan

$$Mu^- = 4,45E + 7 \text{Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{4,45E + 7}{0,8 \times 300 \times 440,5^2} = 0,955$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,955}{390}} \right) = 0,0025$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d = 0,0025 \times 300 \times 440,5 \\ &= 475,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** (As = 567,0 mm²)

Penulangan lapangan

$$Mu^+ = 2,55E + 7 \text{Nmm}$$

Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{c1} = \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 5000 = 1250 \text{ mm}$$

$$b_{c2} = b_w + 16t = 300 + 16 \times 120 = 2220 \text{ mm} \quad \} \text{ diambil } b_e = 1250 \text{ mm}$$

$$b_{c3} = \frac{1}{2}l_1 + \frac{1}{2}l_2 = \frac{1}{2} \times 4200 + \frac{1}{2} \times 4300 = 4250 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b_e d^2} = \frac{2,55E+7}{0,8 \times 1250 \times 440,5^2} = 0,1314$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,1314}{390}} \right) = 0,00034$$

$$\text{dipakai } \rho = \frac{2}{3} \rho_{\text{perlu}} = \frac{2}{3} \times 0,00034 = 0,00045$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho b_e d = 0,00045 \times 1250 \times 440,5 \\ &= 248,0 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** ($A_s = 567,0 \text{ mm}^2$)

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_e} = \frac{567,0 \times 390}{0,85 \times 30 \times 1250} = 7,71 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm.}$$

→ jadi pemisalan balok T sebagai balok persegi sudah benar.

4.6.2 Perencanaan Tulangan Geser

$$V_u = 4,12E + 4N$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_c'} b d = \frac{1}{6} \times 0,6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 440,5 = 7,24E + 4N$$

Periksa kategori desain :

$$V_u \leq \frac{1}{2} \phi V_c \rightarrow \text{tidak perlu tulangan geser.}$$

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

$$A_v = 157 \text{ mm}^2$$

$$s_{\text{maks}} = \frac{3A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 320}{300} = 502,4 \text{ mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{440,5}{2} = 220,25 \text{ mm}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser **φ10-200**

Kontrol retak :

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

$$\begin{aligned} f_s &= 0,6 \times f_y = 0,6 \times 390 \\ &= 234 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_c &= \text{jarak antara titik berat tulangan utama dengan serat tarik terluar} \\ &= 40 + 10 + 19/2 = 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A = \frac{2d_c b}{n} = \frac{2 \times 59,5 \times 300}{3} = 11900 \text{ mm}^2$$

$$z = 234 \times \sqrt[3]{59,5 \times 11900} = 20860 \text{ N/mm} < 30 \text{ MN/m} \dots \text{(OK)}$$

BAB V
PERENCANAAN STRUKTUR
UTAMA



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

5.1 Umum

Perencanaan struktur utama meliputi perhitungan gaya-gaya balok pratekan, dimana gaya dalam diperoleh dari analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000 yang telah dilakukan sebelumnya, dan detailing penulangan struktur beton gedung utama yaitu balok induk, kolom, dan termasuk didalamnya balok pratekan.

5.2 Perencanaan Balok Pratekan

Sebagai contoh perhitungan adalah balok pratekan BPI pada lantai 1 :

5.2.1 Tegangan ijin beton pratekan

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f'_s = 0,88 f'_c = 0,88 \times 40 = 35,2 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin beton pratekan diatur dalam SKSNI pasal 3.11.4, yaitu :

1. Tegangan ijin beton sesaat setelah pemindahan gaya prategang :

$$\text{Tegangan tekan} \quad \sigma_{ci} = 0,6 x f_{ci} = 0,6 \times 35,2 = 21,1 \text{ Mpa}$$

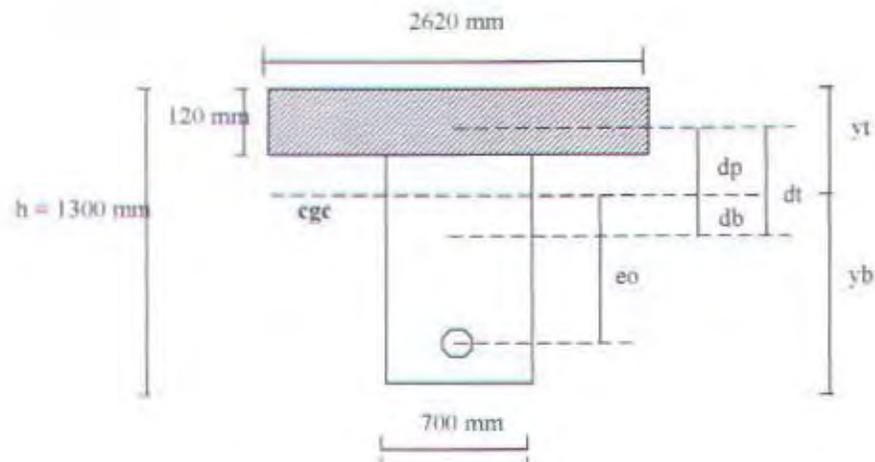
$$\text{Tegangan tarik} \quad \sigma_{ti} = 0,25 x \sqrt{f_{ci}} = 0,25 x \sqrt{35,2} = 1,5 \text{ Mpa}$$

2. Setelah terjadi kehilangan gaya prategang :

$$\text{Tegangan tekan} \quad \sigma_{cs} = 0,45 x f'_c = 0,45 \times 40 = 18 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik} \quad \sigma_{ts} = 0,5 x \sqrt{f'_c} = 0,5 x \sqrt{40} = 3,2 \text{ Mpa}$$

3 Dimensi penampang



Gambar 5.1 Dimensi balok pratekan

Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{e1} = \frac{1}{4} l_1 = \frac{1}{4} \times 25000 = 6250 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 16t = 700 + 16 \times 120 = 2620 \text{ mm} \quad \} \text{ diambil } b_e = 2620 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = \frac{1}{2} l_1 + \frac{1}{2} l_2 = \frac{1}{2} \times 5000 + \frac{1}{2} \times 5000 = 5000 \text{ mm}$$

$$E_c \text{ pelat} = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{30} = 25743 \text{ MPa}$$

$$E_c \text{ balok} = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{40} = 29725 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_c \text{ balok}}{E_c \text{ pelat}} = \frac{29725}{25743} = 1,155$$

Luas penampang balok :

$$A_{\text{pelat}} = \frac{b_e \times t}{n} = \frac{2620 \times 120}{1,155} = 272207,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{balok}} = 700 \times (1300 - 120) = 826000,0 \text{ mm}^2 +$$

$$A_{\text{total}} = 1098207,8 \text{ mm}^2$$

$$dt = \frac{1300 - 120}{2} + \frac{120}{2} = 650 \text{ mm}$$

Statis momen pada garis netral pelat :

$$A_{\text{balok}} \times dt = A_t \times dp$$

$$dp = \frac{dt \times A_{\text{tulok}}}{At} = \frac{650 \times 826000}{1098207,8} = 489 \text{ mm}$$

$$db = dt - dp = 650 - 489 = 161 \text{ mm}$$

$$yt = dp + t/2 = 489 + 120/2 = 549 \text{ mm}$$

$$yb = h - yt = 1300 - 549 = 751 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{komposit}} &= \frac{1}{12}bh^3 + A_{\text{tulok}} \cdot d_b^2 + \frac{1}{12} \frac{be}{n} t^3 + A_{\text{pelat}} \cdot d_p^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 700 \times (1300 - 120)^3 + 826000 \times 161^2 + \frac{1}{12} \times \frac{2620}{1,155} \times 120^3 + 272207,8 \times 489^2 \\ &= 1,83E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$Z_t = \frac{I}{yt} = \frac{1,83E+11}{549} = 3,33E+08 \text{ mm}^3$$

$$Z_b = \frac{I}{yb} = \frac{1,83E+11}{751} = 2,44E+08 \text{ mm}^3$$

$$K_t = \frac{Z_b}{At} = \frac{2,44E+08}{1098207,8} = 222 \text{ mm}$$

$$K_b = \frac{Z_t}{At} = \frac{3,33E+08}{1098207,8} = 304 \text{ mm}$$

5.2.2 Perhitungan Daerah Limit Kabel

Menurut buku T.Y.Lin jilid I bab VI, perkiraan awal untuk gaya prategang efektif adalah:

$$F = \frac{MT}{0,65 \cdot h} = \frac{1,026E+09}{0,65 \cdot 1300} = 1214,2 \text{ kN}$$

Untuk system post-tension kehilangan pratekan diasumsikan 20%

$$F_i = \frac{F}{0,8} = \frac{1214,2}{0,8} = 1517,75 \text{ kN} \text{ diambil } F_i = 1520 \text{ kN}$$

$$\text{Maka } F = 0,8 F_i = 0,8 \times 1520 = 1216 \text{ kN}$$

$$M_{\text{max}} = 1,026E+09 \text{ Nmm}$$

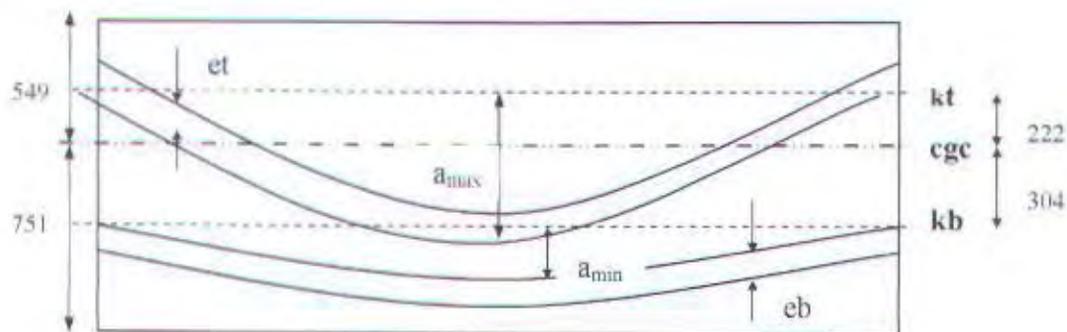
$$M_{\text{min}} = 8,88E+08 \text{ Nmm}$$

$$a_{\max} = \frac{M \max}{F} = \frac{1,026E+09}{1216E+03} = 844 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = \frac{M \min}{F_i} = \frac{8,88E+08}{1520E+03} = 584 \text{ mm}$$

$$eb = \frac{\sigma_{\text{te}} \cdot A \cdot kb}{F_i} = \frac{1,5 \times 1098207,8 \times 304}{1520E+03} = 329 \text{ mm}$$

$$et = \frac{\sigma_{\text{te}} \cdot A \cdot kt}{F} = \frac{3,2 \times 1098207,8 \times 222}{1216E+03} = 642 \text{ mm}$$



Gambar 5.2 Daerah limit kabel pratekan

Pada perencanaan balok pratekan ini, dipakai

$$\text{eo lapangan} = 620 \text{ mm} \rightarrow f = 620 + 200 = 820 \text{ mm}$$

$$\text{eo tumpuan} = 200 \text{ mm}$$

5.2.3 Perhitungan Kehilangan Pratekan

(1) Perhitungan Kehilangan Prategang Langsung

a. Kehilangan pratekan akibat Slip Angkur

$$F_i = 1520 \text{ kN}$$

$$A_{ps} = 1184,6 \text{ mm}^2$$

$$E_{ps} = 27000000 \text{ psi} = 186300 \text{ MPa}$$

$$f_{ps} = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{1520000}{1184,6} = 1283,13 \text{ MPa}$$

Karakteristik untuk 7 *wire strands* yang direncanakan adalah :

$$\mu = 0,2$$

$$K = 0,0016 /m^2$$

$$g = 1 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{8f}{L} = \frac{8 \times 820}{25000} = 0,256 \text{ rad}$$

Jarak slip angker yang diperhitungkan :

$$X = \sqrt{\frac{E_{ps} \cdot g}{f_{ps} \left(\frac{\mu \alpha}{L} + K \right)}} = \sqrt{\frac{186300 \times 1}{1283,13 \left(0,2 \times \frac{0,256}{25000} + 0,0000016 \right)}} = 6308,7 \text{ mm}$$

Penurunan tegangan akibat slip :

$$\begin{aligned} \Delta f_{ps} &= 2 f_{ps} \left(\mu \frac{\alpha}{L} + K \right) X = 2 \times 1283,13 \left(0,2 \times \frac{0,256}{25000} + 0,0000016 \right) \times 6308,7 \\ &= 59,06 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kehilangan pratekan akibat slip angkur :

$$\begin{aligned} \Delta F &= \Delta f_{ps} \cdot A_{ps} \\ &= 59,06 \times 1184,6 = 69962,5 \text{ N} = 69,96 \text{ kN} \quad (4,6 \%) \end{aligned}$$

b. Kehilangan pratekan akibat gesekan dan *Wobble Effect*

$$F_1 = F_i e^{-(\mu \alpha + K \cdot L)}$$

$$\begin{aligned} F_1 &= 1520 \times e^{-(0,2 \times 0,256 + 0,0000016 \times 25000)} \\ &= 1520 \times 0,913 = 1387,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Delta F = 1520 - 1387,76 = 132,24 \text{ kN} \quad (8,7 \%)$$

(2) Perhitungan Kehilangan Pratekan tak Langsung.

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$h = 1300 \text{ mm}$$

$$t = 120 \text{ mm}$$

$$b_e = 2620 \text{ mm}$$

$$A = 1098207,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} = 1184,6 \text{ mm}^2 \text{ (VSL grade 270 k, E5 - 12 12 strands)}$$

$$F_{\text{ijin}} = 346,9 \text{ ksi} = 1543 \text{ kN}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{1098207,8 \times L}{2(1300 + 2620) \times L} = 140,08 \text{ mm} = 5,515 \text{ in}$$

$$\text{maka SCF} = 0,680$$

$$\text{SSF} = 0,645$$

$$E_c = 29725 \text{ MPa} = 4308029 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} \text{UCR} &= 95 - 20 E_c / 10^6 \\ &= 95 - 20 \times 4308029 / 10^6 = 8,84 \rightarrow \text{dipakai UCR} = 11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{USH} &= 27000 - 3000 E_c / 10^6 \\ &= 27000 - 3000 \times 4308029 / 10^6 = 14076 \text{ psi} > 12000 \text{ psi} \\ &= 97,12 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 5.1 Tahapan Waktu Perhitungan (Kehilangan Prategang Tidak Langsung)

Tahap	Waktu Awal t_1 (hari)	Waktu Awal t_2 (hari)	Keterangan
I	Akhir curing	2	-
II	2	28	Transfer lantai 3
III	28	56	Transfer lantai 4
IV	56	84	Transfer lantai 5
V	84	112	Transfer lantai 6
VI	112	140	Transfer Atap
VII	140	168	-
VIII	168	1 tahun	-
IX	1 tahun	20 tahun	Akhir umur layanan

Tahap I

Mulai dari akhir curing atau awal prategangan sampai dengan dua hari setelah prategangan.

Relaksasi

$$t_1 = 1/24 \text{ hari} \quad t_2 = 2 \text{ hari}$$

Digunakan tendon prategang tipe VSL grade 270 k. $f_{pu} = 1863 \text{ MPa}$.

$$F_i = 1520 \text{ kN} < F_{\text{ijin}} = 1543 \text{ kN}$$

$$fst = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{1520000}{1184,6} = 1283,13 \text{ MPa}$$

$$\frac{fst}{f_{py}} = \frac{1283,13}{0,85 \times 1863} = 0,81$$

$$\begin{aligned} RET_1 &= fst \times \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1283,13 \times \left[\frac{\log 48 - \log 1}{45} \right] \times (0,81 - 0,55) = 12,464 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kehilangan prategangan akibat Rangkak dan Susut relatif kecil untuk waktu yang pendek, sehingga diabaikan.

$$CR_1 = SH_1 = 0$$

$$\begin{aligned} fst_1 &= fst - (RET_1 + CR_1 + SH_1) \\ &= 1283,13 - (12,464 + 0 + 0) = 1270,666 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tahap II

Mulai akhir tahap I sd. 28 hari.

$$t_1 = 2 \text{ hari} \quad t_2 = 28 \text{ hari}$$

$$fst_1 = 1270,666 \text{ MPa}$$

$$F_1 = A_{ps} \times fst_1 = 1184,6 \times 1270,666 = 1505,231 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{fst_1}{f_{py}} = \frac{1270,666}{0,85 \times 1863} = 0,8024$$

$$\begin{aligned} RET_2 &= fst_1 \times \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst_1}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1270,666 \times \left[\frac{\log(24 \times 28) - \log(24 \times 2)}{45} \right] \times (0,8024 - 0,55) = 8,168 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(28) - AUC(2) = 0,34 - 0,15 = 0,19$$

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{F_1}{A} + \frac{F_1 e^2}{I} - \frac{M_{\min} e}{I} \\
 &= \frac{1505231}{1098207,8} + \frac{1505231 \times 620^2}{1,83E+11} - \frac{8,88E+08 \times 620}{1,83E+11} = 1,524 \text{ MPa} \\
 CR_2 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) f_c \\
 &= 11 \times 0,680 \times 0,74 \times 0,19 \times 1,524 = 1,603 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Susut

$$\begin{aligned}
 PSH &= AUS(28) - AUS(2) = 0,408 - 0,120 = 0,288 \\
 SH_2 &= (USH)(SSF)(PSH) \\
 &= 97,12 \times 0,645 \times 0,288 = 18,04 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fst_2 &= fst_1 - (RET_2 + CR_2 + SH_2) \\
 &= 1270,666 - (8,168 + 1,603 + 18,04) = 1242,855 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tahap III

Mulai akhir tahap II sd. 56 hari.

$$\begin{aligned}
 t_1 &= 28 \text{ hari} & t_2 &= 56 \text{ hari} \\
 fst_2 &= 1242,855 \text{ MPa} \\
 F_2 &= 1472,286 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Relaksasi

$$\begin{aligned}
 \frac{fst_2}{fpy} &= \frac{1242,855}{0,85 \times 1863} = 0,785 \\
 RET_3 &= fst_2 \times \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{fpy} - 0,55 \right) \\
 &= 1242,855 \times \left[\frac{\log(24 \times 56) - \log(24 \times 28)}{45} \right] \times (0,785 - 0,55) = 1,954 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(56) - AUC(28) = 0,437 - 0,340 = 0,097$$

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{F_2}{A} + \frac{F_2 e^2}{I} - \frac{M_{\min} e}{I} \\
 &= \frac{1472286}{1098207,8} + \frac{1472286 \times 620^2}{1,83E+11} - \frac{8,88E+08 \times 620}{1,83E+11} = 1,425 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_3 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) f_c \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,097 \times 1,425 = 0,62 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$\begin{aligned} PSH &= AUS(56) - AUS(28) = 0,533 - 0,408 = 0,125 \\ SH_3 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97,12 \times 0,645 \times 0,125 = 7,8303 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fst_3 &= fst_2 - (RET_3 + CR_3 + SH_3) \\ &= 1242,855 - (1,425 + 0,62 + 7,8303) = 1232,98 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tahap IV

Mulai akhir tahap III sd. 84 hari.

$$\begin{aligned} t_1 &= 56 \text{ hari} & t_2 &= 84 \text{ hari} \\ fst_3 &= 1232,98 \text{ MPa} \\ F_3 &= 1460,59 \text{ kN} \end{aligned}$$

Relaksasi

$$\begin{aligned} \frac{fst_x}{fpy} &= \frac{1232,98}{0,85 \times 1863} = 0,779 \\ RET_4 &= fst_3 \times \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{fpy} - 0,55 \right) \\ &= 1232,98 \times \left[\frac{\log(24 \times 84) - \log(24 \times 56)}{45} \right] \times (0,779 - 0,55) = 1,105 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(84) - AUC(56) = 0,498 - 0,437 = 0,061$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{F_1}{A} + \frac{F_2 e^2}{I} - \frac{M_{max} e}{I} \\ &= \frac{1460590}{1098207,8} + \frac{1460590 \times 620^2}{1,83E+11} - \frac{8,88E+08 \times 620}{1,83E+11} = 1,39 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_4 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) f_c \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,061 \times 1,39 = 0,3805 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$PSH = AUS(84) - AUS(56) = 0,606 - 0,533 = 0,076$$

$$\begin{aligned} SH_3 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97,12 \times 0,645 \times 0,076 = 4,76 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fst_4 &= fst_3 - (RET_4 + CR_4 + SH_4) \\ &= 1232,98 - (1,105 + 0,3805 + 4,76) = 1226,73 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tahap V

Mulai akhir tahap IV sd. 112 hari.

$$t_1 = 84 \text{ hari} \quad t_2 = 112 \text{ hari}$$

$$fst_4 = 1226,73 \text{ MPa}$$

$$F_4 = 1453,184 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{fst_4}{fpy} = \frac{1226,73}{0,85 \times 1863} = 0,775$$

$$\begin{aligned} RET_5 &= fst_4 \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{fpy} - 0,55 \right) \\ &= 1226,73 \times \left[\frac{\log(24 \times 112) - \log(24 \times 84)}{45} \right] \times (0,775 - 0,55) = 0,7663 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(112) - AUC(84) = 0,534 - 0,498 = 0,036$$

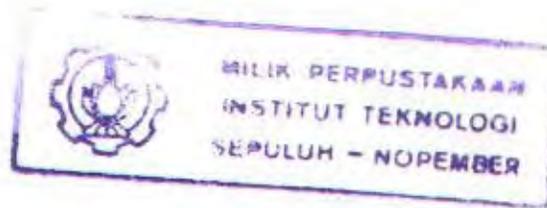
$$\begin{aligned} fc &= \frac{F_s}{A} + \frac{F_s e^2}{I} - \frac{M_{\min} e}{I} \\ &= \frac{1453184}{1098207,8} + \frac{1453184 \times 620^2}{1,83E+11} - \frac{8,88E+08 \times 620}{1,83E+11} = 1,367 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_5 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) fc \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,036 \times 1,367 = 0,221 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$PSH = AUS(112) - AUS(84) = 0,635 - 0,606 = 0,029$$

$$\begin{aligned} SH_5 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97,12 \times 0,645 \times 0,029 = 1,817 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}fst_5 &= fst_4 - (RET_5 + CR_5 + SH_5) \\ &= 1226,73 - (0,7663 + 0,221 + 1,817) = 1223,92 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tahap VI

Mulai akhir tahap V sd. 140 hari.

$$t_1 = 112 \text{ hari} \quad t_2 = 140 \text{ hari}$$

$$fst_5 = 1223,92 \text{ MPa}$$

$$F_5 = 1449,855 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{fst_5}{fpy} = \frac{1223,92}{0,85 \times 1863} = 0,773$$

$$\begin{aligned}RET_6 &= fst_5 \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{fpy} - 0,55 \right) \\ &= 1223,92 \times \left[\frac{\log(24 \times 140) - \log(24 \times 112)}{45} \right] \times (0,773 - 0,55) = 0,588 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(140) - AUC(112) = 0,565 - 0,534 = 0,031$$

$$\begin{aligned}fc &= \frac{F_d}{A} + \frac{F_d e^2}{I} - \frac{M_{min} e}{I} \\ &= \frac{1449855}{1098207,8} + \frac{1449855 \times 620^2}{1,83E+11} - \frac{8,88E+08 \times 620}{1,83E+11} = 1,357 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}CR_6 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) fc \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,031 \times 1,357 = 0,19 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Susut

$$PSH = AUS(140) - AUS(112) = 0,64 - 0,635 = 0,005$$

$$\begin{aligned}SH_6 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97,12 \times 0,645 \times 0,005 = 0,313 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}fst_6 &= fst_5 - (RET_6 + CR_6 + SH_6) \\ &= 1223,92 - (0,588 + 0,19 + 0,313) = 1222,83 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tahap VII

Mulai akhir tahap VI sd. 168 hari.

$$t_1 = 140 \text{ hari} \quad t_2 = 168 \text{ hari}$$

$$fst_6 = 1222,83 \text{ MPa}$$

$$F_6 = 1448,56 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{fst_6}{fpy} = \frac{1222,83}{0,85 \times 1863} = 0,772$$

$$\begin{aligned} RET_7 &= fst_6 \times \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{fpy} - 0,55 \right) \\ &= 1222,83 \times \left[\frac{\log(24 \times 168) - \log(24 \times 140)}{45} \right] \times (0,772 - 0,55) = 0,478 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(168) - AUC(140) = 0,597 - 0,565 = 0,032$$

$$\begin{aligned} fc &= \frac{F_4}{A} + \frac{F_4 e^2}{I} - \frac{M_{min} e}{I} \\ &= \frac{1448560}{1098207,8} + \frac{1448560 \times 620^2}{1,83E+11} - \frac{8,88E+08 \times 620}{1,83E+11} = 1,353 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_7 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) fc \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,032 \times 1,353 = 0,1943 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$PSH = AUS(168) - AUS(140) = 0,663 - 0,64 = 0,023$$

$$\begin{aligned} SH_7 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97,12 \times 0,645 \times 0,023 = 1,44 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fst_7 &= fst_6 - (RET_7 + CR_7 + SH_7) \\ &= 1222,83 - (0,478 + 0,1943 + 1,44) = 1220,72 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tahap VIII

Mulai akhir tahap VII sd. 365 hari.

$$t_1 = 168 \text{ hari} \quad t_2 = 365 \text{ hari}$$

$$fst_7 = 1220,72 \text{ MPa}$$

$$F_7 = 1446,065 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{fst_7}{fpy} = \frac{1220,72}{0,85 \times 1863} = 0,771$$

$$\begin{aligned} RET_8 &= fst_7 \times \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{fpy} - 0,55 \right) \\ &= 1220,72 \times \left[\frac{\log(24 \times 365) - \log(24 \times 168)}{45} \right] \times (0,771 - 0,55) = 2,02 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(365) - AUC(168) = 0,740 - 0,597 = 0,143$$

$$\begin{aligned} fc &= \frac{F_s}{A} + \frac{F_s e^2}{I} - \frac{M_{max} e}{I} \\ &= \frac{1446065}{1098207,8} + \frac{1446065 \times 620^2}{1,83E+11} - \frac{8,88E+08 \times 620}{1,83E+11} = 1,346 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_8 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) fc \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,143 \times 1,346 = 0,864 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$PSH = AUS(365) - AUS(168) = 0,860 - 0,663 = 0,197$$

$$\begin{aligned} SH_8 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97,12 \times 0,645 \times 0,197 = 12,34 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fst_8 &= fst_7 - (RET_8 + CR_8 + SH_8) \\ &= 1220,72 - (2,02 + 0,864 + 12,34) = 1205,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tahap IX

Mulai akhir tahap VI sd. 20 tahun.

$$t_1 = 1 \text{ tahun} \quad t_2 = 20 \text{ tahun}$$

$$fst_8 = 1205,5 \text{ MPa}$$

$$F_8 = 1428,035 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{fst_8}{fpy} = \frac{1205,5}{0,85 \times 1863} = 0,761$$

$$\begin{aligned} RET_9 &= fst_8 \times \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{fpy} - 0,55 \right) \\ &= 1205,5 \times \left[\frac{\log(24 \times 7300) - \log(24 \times 365)}{45} \right] \times (0,761 - 0,55) = 7,354 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(7300) - AUC(365) = 1,00 - 0,74 = 0,26$$

$$\begin{aligned} fc &= \frac{E_c}{A} + \frac{E_s e^2}{I} - \frac{M_{max} e}{I} \\ &= \frac{1428035}{1098207,8} + \frac{1428035 \times 620^2}{1,83E+11} - \frac{8,88E+08 \times 620}{1,83E+11} = 1,29 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR_9 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) fc \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,260 \times 1,29 = 1,505 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$PSH = AUS(7300) - AUS(365) = 1,00 - 0,86 = 0,14$$

$$\begin{aligned} SH_9 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97,12 \times 0,645 \times 0,14 = 8,77 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fst_9 &= fst_8 - (RET_9 + CR_9 + SH_9) \\ &= 1205,5 - (7,351 + 1,505 + 8,77) = 1187,874 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_9 = 1407,155 \text{ kN}$$

Kehilangan tak langsung total seluruh tahap adalah :

$$\Delta F = 1520 - 1407,155 = 112,845 \text{ kN}$$

Maka kehilangan prategang total :

$$\begin{aligned} \Delta F \text{ total} &= \Delta F \text{ langsung} + \Delta F \text{ tidak langsung} \\ &= 132,24 + 112,845 = 245,085 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kehilangan Prategang

$$= \frac{\Delta F}{F_i} = \frac{245,085}{1520} \times 100\% = 16,12\% \dots\dots\dots (\text{OK})$$

5.2.4 Kontrol Tegangan yang Terjadi

Pada saat transfer :

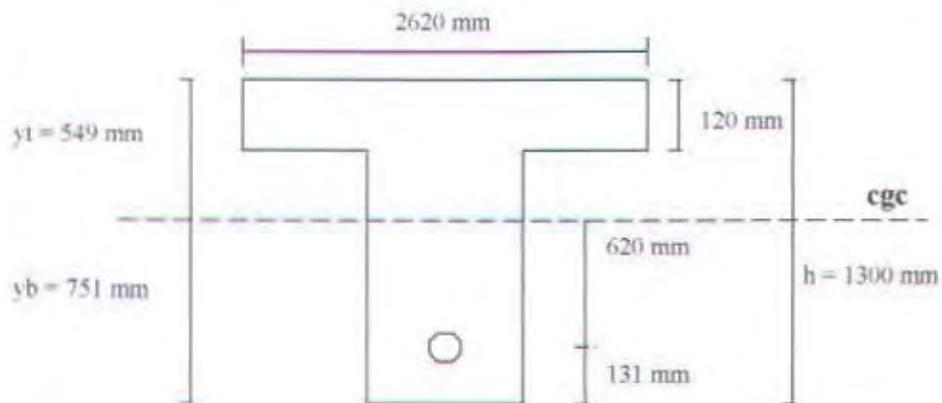
$$\begin{aligned} f_t &= \frac{F_c}{A} - \frac{F_c e}{Z_t} + \frac{M \text{ min}}{Z_t} = \frac{1520000}{1098207,8} - \frac{1520000 \times 620}{3,33E+08} + \frac{888000000}{3,33E+08} \\ &= 1,38 - 2,83 + 2,67 \\ &= 1,22 \text{ MPa} > -1,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{F_c}{A} + \frac{F_c e}{Z_b} - \frac{M \text{ min}}{Z_b} = \frac{1520000}{1098207,8} + \frac{1520000 \times 620}{2,44E+08} - \frac{888000000}{2,44E+08} \\ &= 1,38 + 3,86 - 3,64 \\ &= 1,6 \text{ MPa} < 21,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

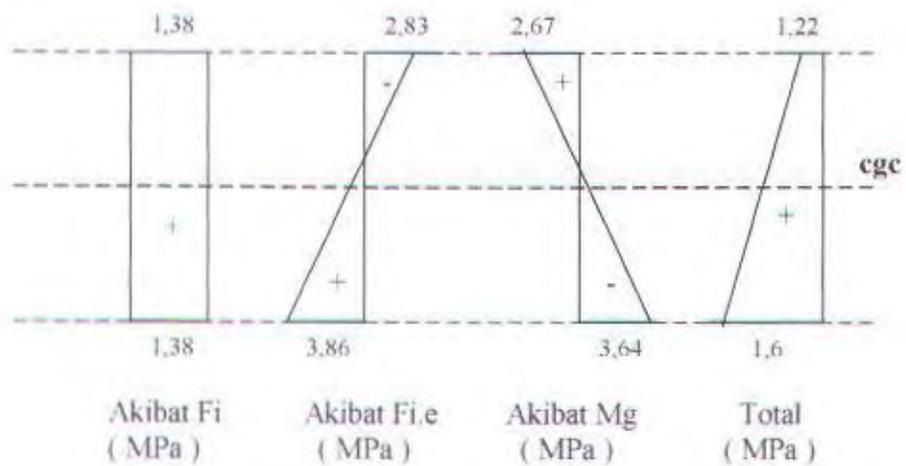
Pada saat service :

$$\begin{aligned} f_t &= \frac{F}{A} - \frac{F e}{Z_t} + \frac{M \text{ max}}{Z_t} \\ &= \frac{1250770}{1098207,8} - \frac{1250770 \times 620}{3,33E+08} + \frac{1026000000}{3,33E+08} \\ &= 1,14 - 2,33 + 3,08 \\ &= 1,89 \text{ MPa} < 18,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

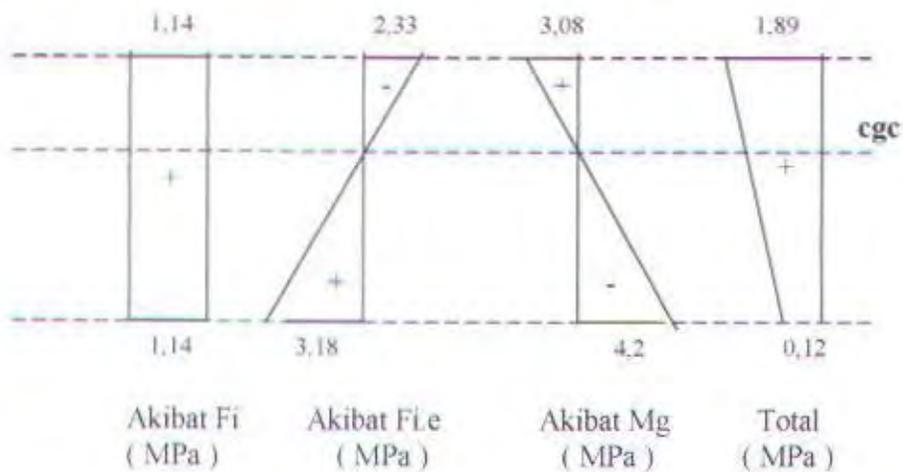
$$\begin{aligned} f_b &= \frac{F}{A} + \frac{F e}{Z_b} - \frac{M \text{ max}}{Z_b} \\ &= \frac{1250770}{1098207,8} + \frac{1250770 \times 620}{2,44E+08} - \frac{1026000000}{2,44E+08} \\ &= 1,14 + 3,18 - 4,2 \\ &= 0,12 \text{ MPa} > -3,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Distribusi Tegangan saat Transfer (+ : TEKAN)



Distribusi Tegangan saat Beban Kerja (+ : TEKAN)



5.2.5 Kontrol Kekuatan Batas Balok Pratekan

Berkaitan dengan ketentuan untuk perencanaan gempa, kuat lentur rencana penampang beton pratekan harus punya nilai minimum 1.2 kali momen retaknya :

$$Mu \geq 1,2Mcr$$

Modulus runtuh yang diisyaratkan :

$$fr = 0,7\sqrt{fc'} = 0,7\sqrt{40} = 4,43MPa$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (fc' - 30) = 0,85 - 0,008 (40 - 30) = 0,77$$

$$r^2 = \frac{I}{A} = \frac{1,83E+11}{1098207,8} = 1,67E+05mm^2$$

Untuk daerah lapangan

Dicoba dipasang tulangan lunak 10 - D32 ($As = As' = 8042,5 mm^2$)

Momen retak

$$\begin{aligned} Mcr &= I \left[e + \frac{r^2}{Yb} \right] + fr \frac{I}{Yb} \\ &= 1,216E+06 \left[620 + \frac{1,67E+05}{751} \right] + 4,43 \frac{1,83E+11}{751} = 2,13E+09 Nmm \end{aligned}$$

$$1,2 Mcr = 1,2 \times 2,13E+09 = 2,56E+09 Nmm$$

dan sengkang menggunakan tulangan ulir D12 mm.

Dipakai selimut beton $s' = 50 mm$

$$d = h - s' - \phi - D/2 = 1300 - 50 - 12 - 32/2 = 1222 mm$$

$$dps = eo + yt = 620 + 549 = 1169 mm$$

$$\rho = \rho' = \frac{As}{b.d} = \frac{8042,5}{700 \times 1222} = 0,0094$$

$$\rho_p = \frac{Aps}{b.dps} = \frac{1184,6}{700 \times 1169} = 0,00145$$

$$\omega = \omega' = \rho \frac{fy}{fc'} = 0,00145 \times \frac{390}{40} = 0,014$$

$$\omega\omega = \left[\rho_p \frac{fpu}{fc'} + \frac{d}{dp} (\omega' - \omega) \right] = \left[0,00145 \times \frac{1863}{40} + 0 \right] = 0,0675 < 0,17$$

Karena nilai $\omega_0 < 0,17$

$$\text{Maka } f_{ps} = f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_{ps}}{\beta_1} \times 0,17 \right] = 1863 \left[1 - \frac{0,28}{0,77} \times 0,17 \right] = 1747 \text{ MPa}$$

Dengan menganggap balok berperilaku sebagai penampang persegi, maka gaya-gaya dalam memberikan nilai-nilai :

$$T = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y = 1184,6 \times 1747 + 8042,5 \times 390 = 5,206 \text{ E}+06 \text{ N}$$

$$T_{nf} = 0,85 \cdot f_c' \cdot (b_e - b) \cdot t = 0,85 \times 40 \times (2620 - 700) \times 120 = 7,83 \text{ E}+06 \text{ N}$$

$$T_{nw} = T - T_{nf} = 5,206 \text{ E}+06 - 7,83 \text{ E}+06 = -2,624 \text{ E}+06 \text{ N}$$

$$a = \frac{T_{nw}}{0,85 \cdot f_c' \cdot x_b} = \frac{4,32 \text{ E}+06}{0,85 \times 40 \times 700} = 110,25 \text{ mm} < h_f = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{sebagai balok}$$

persegi

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{110,25}{0,77} = 143,18 \text{ mm}$$

Tinggi efektif penampang adalah :

$$d = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_{ps} + A_s \cdot f_y \cdot d_o}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} = \frac{1184,6 \times 1747 \times 1169 + 8042,5 \times 390 \times 1222}{1184,6 \times 1747 + 8042,5 \times 390} = 1201 \text{ mm}$$

Momen nominal penampang di tengah bentang :

$$M_n = T \left[d - \frac{t}{2} \right] = 5,206 \text{ E}+06 \left[1201 - \frac{120}{2} \right] = 5,94 \text{ E}+09 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 5,94 \text{ E}+09 \text{ Nmm} = 4,752 \text{ E}+09 \text{ Nmm}$$

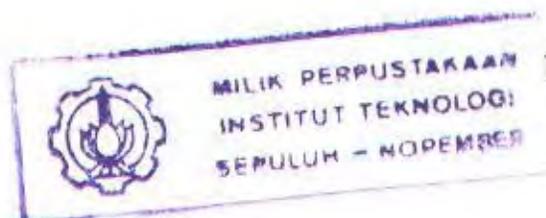
$$1,2 M_{cr} = 1,2 \times 2,13 \text{ E}+09 = 2,56 \text{ E}+09 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 1,026 \text{ E}+09 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$1,2 M_{cr} \leq \phi M_n \rightarrow 2,56 \text{ E}+09 \text{ Nmm} < 4,752 \text{ E}+09 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

$$M_u \leq \phi M_n \rightarrow 1,026 \text{ E}+09 \text{ Nmm} < 4,752 \text{ E}+09 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$



Untuk Daerah Tumpuan

Dicoba dipasang tulangan lunak : 10 D32 (As = As' = 8042,5 mm²)

$$\begin{aligned} M_{cr} &= I \left[e - \frac{r^2}{Y_t} \right] + f_r \frac{I}{Y_t} \\ &= 1,216E+06 \left[200 - \frac{1,67E+05}{549} \right] + 4,43 \frac{1,83E+11}{549} = 1,48E+09 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$1,2 M_{cr} = 1,2 \times 1,48E+09 = 1,776 E+09 \text{ Nmm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d_s} = \frac{8042,5}{700 \times 1222} = 0,0094$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_{ps}} = \frac{1184,6}{700 \times 951} = 0,0018$$

$$\omega = \rho \frac{f_y}{f_c'} = 0,0018 \times \frac{390}{40} = 0,01755$$

$$\omega \phi = \left[\rho_{ps} \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d_o}{ps} (\omega' - \omega) \right] = \left[0,0018 \times \frac{1863}{40} + 0 \right] = 0,084 < 0,17$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left[1 - \frac{\lambda \rho_{ps}}{\beta_1} \times 0,17 \right] = 1863 \left[1 - \frac{0,28}{0,77} \times 0,17 \right] = 1747 \text{ MPa}$$

Dengan menganggap balok berperilaku sebagai penampang persegi, maka gaya-gaya dalam memberikan nilai-nilai :

$$T = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y = 1184,6 \times 1747 + 8042,5 \times 390 = 5,206 E+06 \text{ N}$$

$$T_{nf} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot t = 0,85 \times 40 \times 700 \times 120 = 2,856 E+06 \text{ N}$$

$$T_{nw} = T - T_{nf} = 5,206 E+06 - 2,856 E+06 = 2,35 E+06 \text{ N}$$

$$a = \frac{T_{nw}}{0,85 \cdot f_c' \cdot x_b} = \frac{2,35E+06}{0,85 \times 40 \times 700} = 98,74 \text{ mm}$$

$$e = \frac{a}{\beta_1} = \frac{98,74}{0,77} = 128,23 \text{ mm}$$

Tinggi efektif penampang adalah :

$$d = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_{ps} + A_s \cdot f_y \cdot d_s}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} = \frac{1184,6 \times 1747 \times 951 + 8042,5 \times 390 \times 1222}{1184,6 \times 1747 + 8042,5 \times 390} = 1114,3 \text{ mm}$$

Momen nominal penampang di tumpuan :

$$M_n = T \left[d - \frac{t}{2} \right] = 5,206E + 06 \left[1114,3 - \frac{120}{2} \right] = 5,49E + 09 Nmm$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 5,49E + 09 Nmm = 4,392 E + 09 Nmm$$

$$1,2 M_{cr} = 1,2 \times 1,48E + 09 = 1,776 E + 09 Nmm$$

$$M_u = 1,026 E + 09 Nmm$$

Kontrol :

$$1,2 M_{cr} \leq \phi M_n \rightarrow 1,776 E + 09 Nmm < 4,392 E + 09 Nmm \quad (\text{OK})$$

$$M_u \leq \phi M_n \rightarrow 1,026 E + 09 Nmm < 4,392 E + 09 Nmm \quad (\text{OK})$$

4.10.7. Penulangan Geser Balok Pratekan

$$F = 1,216 E + 06 N$$

$$V_{ud} = 3,109 E + 05 N \text{ (akibat beban mati saja)} \rightarrow \text{ daerah tumpuan}$$

$$V_{ul} = 6,13 E + 04 N \text{ (akibat beban hidup saja)}$$

$$M_{ud} = 8,88 E + 08 Nmm \text{ (akibat beban mati saja)} \rightarrow \text{ daerah lapangan}$$

$$M_{ul} = 1,74 E + 08 Nmm \text{ (akibat beban hidup saja)}$$

$$b_w = 700 \text{ mm}$$

$$h = 1300 \text{ mm}$$

$$A_c = 1098207,8 \text{ mm}^2$$

Kekuatan geser beton

Kekuatan geser di daerah tumpuan

$$\text{Diperhitungkan pada jarak } x = 0,5 h = 0,5 \times 900 = 450 \text{ mm}$$

$$P' = \frac{8 \cdot F \cdot f}{l^2} = \frac{8 \times 1,216E + 06 \times 820}{25000^2} = 12,76 N / mm'$$

$$V_{p'} = P' \cdot \frac{25000}{2} = 12,76 \times \frac{25000}{2} = 1,595 E + 05 N$$

$$\begin{aligned} V_{ug} &= V_{ud} + V_{ul} = 3,109 E + 05 + 6,13 E + 04 \\ &= 3,722 E + 05 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= V_{ug} - V_{p'} = 3,722 E + 05 - 1,595 E + 05 \\ &= 2,127 E + 05 N \end{aligned}$$

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f_c'} + f_{pc})bw.d + V_p$$

$$f_{pc} = \frac{F}{A_c} = \frac{1,216E+06}{1098207,8} = 1,107 \text{ MPa}$$

Persamaan parabola :

$$y = \frac{4.f.x.(L-x)}{L^2}, \text{ untuk daerah muka kolom dengan } x = 450 \text{ mm maka}$$

$$y = 200 - \frac{4 \times 820 \times 450 \times (25000 - 450)}{25000^2} = 142 \text{ mm}$$

$$V_p = \frac{12500 - 450}{12500} \times 1,595E+05 = 1,533E+05 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f_c'} + f_{pc})bw.d + V_p = 0,3(\sqrt{40} + 1,107) \times 700 \times 142 + 1,533E+05$$

$$V_{cw} = 3,75E+05 \text{ N}$$

$$V_{u(450)} = \frac{12500 - 450}{12500} \times 2,127E+05 = 2,05E+05 \text{ N}$$

$$\frac{V_{u(450)}}{\phi} = \frac{2,05E+05}{0,6} = 3,42E+05 \text{ N} < V_{cw} = 3,75E+05 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Kekuatan geser di daerah lapangan

Diperhitungkan pada jarak $x = 11500$ mm dari tumpuan

$$V_d = \frac{12500 - 11500}{12500} \times V_{ud} = \frac{12500 - 11500}{12500} \times 3,109E+05 = 2,49E+04 \text{ N}$$

$$V_L = \frac{12500 - 11500}{12500} \times V_{uL} = \frac{12500 - 11500}{12500} \times 6,13E+04 = 4,904E+03 \text{ N}$$

$$M_{\max} = M_{u3} = 8,88E+08 \text{ Nmm}$$

$$I = 1,83E+11 \text{ mm}^4 \rightarrow I / Y_t = 3,33E+08 \text{ mm}^3$$

$$Y_t = 549 \text{ mm}$$

$$k_t = 222 \text{ mm}$$

$$e = \frac{4.f.x.(L-x)}{L^2} - 100 = \frac{4 \times 820 \times 11500 \times (25000 - 11500)}{25000^2} - 220 = 594,75 \text{ mm}$$

$$d = 594,75 + 549 = 1143,75 \text{ mm}$$

$$f_d = \frac{M_{ud}}{I / Y_t} = \frac{8,88E+08}{3,33E+08} = 2,67 \text{ MPa}$$

$$0,5\sqrt{f_c'} = 0,5\sqrt{40} = 3,16 \text{ MPa}$$

$$f_{pe} = \frac{F(e + Kt)}{I_{yt}} = \frac{1,216E + 06 \times (594,75 + 222)}{3,33E + 08} = 2,98 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{Y_t} \right) (0,5\sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d) = 3,33E + 08 (3,16 + 2,98 - 2,67) = 11,55E + 8 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = 0,05\sqrt{f_c'} b_w d + V_d + V_c \frac{M_{cr}}{M_{\max}} \geq 0,14\sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_{ci} = 0,05\sqrt{40} \times 700 \times 1143,75 + 2,49E + 04 + 4,904E + 03 \times \frac{11,55E + 08}{8,88E + 08}$$

$$V_{ci} = 2,844E + 05 \text{ N}$$

$$0,14\sqrt{f_c'} b_w d = 0,14\sqrt{40} \times 700 \times 1143,75 = 7,09E + 05 \text{ N}$$

$$V_{u(11500)} = \frac{12500 - 11500}{12500} \times 2,127E + 05 = 1,7E + 04 \text{ N}$$

$$\frac{V_{u(11500)}}{\phi} = \frac{1,7E + 04}{0,6} = 2,83E + 04 \text{ N} < V_{ci} = 2,844E + 05 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Dari analisa diatas disimpulkan bahwa gaya geser yang terjadi pada balok pratekan lebih kecil dari kemampuan balok dalam memikul gaya geser

Untuk selanjutnya tulangan geser dipasang praktis $\text{Ø}10 - 200 \text{ mm}$

5.2.6 Kontrol Lendutan

$$F_i = 1520 \text{ kN} = 1,52 E+06 \text{ N}$$

$$h = 620 + 200 = 820 \text{ mm}$$

$$EI_{\text{balok}} = 5,44 E+15$$

Lendutan pada saat transfer gaya prategang :

(1) Akibat beban merata tendon :

$$P' = \frac{8 \cdot F_i \cdot h}{L^2} = \frac{8 \times 1,52E + 06 \times 820}{25000^2} = 15,95 \text{ N/mm}$$

$$\Delta_1 = \frac{5}{384} \frac{P' L^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{15,95 \times 25000^4}{5,44E + 15} = 14,91 \text{ mm}$$

(2) Akibat transfer didapat dari hasil SAP 2000, diperoleh lendutan yang terjadi :

$$\Delta_2 = 7 \text{ mm} \text{ kebawah.}$$

a. Akibat eksentrisitas tendon

$$\Delta_3 = \frac{F \cdot e \cdot L^2}{8EI} = \frac{1,52E+06 \times 200 \times 25000^2}{8 \times 5,44E+15} = 4,366 \text{ mm}$$

$$\Delta \text{ total} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = -14,91 + 7,0 + 4,366 = 3,544 \text{ mm } (\uparrow)$$

Lendutan setelah service (jangka panjang) :

Untuk menghitung lendutan jangka panjang PCI memberikan pedoman sebagai berikut :

Tabel 5.2 Angka pengali untuk memperkirakan lendutan jangka panjang

		Tanpa Lapisan Atas Komposit	Dengan Lapisan Atas Komposit
<i>Saat transfer</i>			
1	Komponen lendutan (ke bawah) digunakan untuk lendutan elastik akibat berat komponen struktur saat transfer	1.85	1.85
2	Komponen lendutan (ke atas) digunakan untuk lendutan elastik ke atas akibat gaya pratangang saat transfer	1.8	1.8
<i>Saat service</i>			
3	Komponen lendutan (ke bawah) digunakan untuk lendutan pada (1) di atas	2.7	2.4
4	Komponen lendutan (ke atas) digunakan untuk lendutan ke atas pada (2) di atas	2.45	2.2
5	Lendutan (ke bawah) digunakan pada lendutan elastik hanya akibat beban mati	3	3
6	Lendutan (ke bawah) digunakan pada lendutan elastik yang disebabkan lapisan atas komposit	-	2.3

(1) Akibat beban merata tendon

$$\Delta_1 = 14,91 \times 2,2 = 32,802 \text{ mm}$$

(2) Akibat beban kerja didapat dari hasil SAP 2000, diperoleh lendutan yang terjadi

$$\Delta_2 = 12,3 \text{ mm} \text{ kebawah}$$

(3) Akibat eksentrisitas tendon

$$\Delta_3 = 4,366 \times 2,4 = 10,48 \text{ mm}$$

$$\Delta \text{ total} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = -32,802 + 12,3 - 10,48 = 31 \text{ mm } (\downarrow)$$

Lendutan ijin

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{480} = \frac{25000}{480} = 52,08 \text{ mm} > \Delta_{total} = 31 \text{ mm} \dots\dots \text{ (OK)}$$

5.2.7 Perhitungan Momen

Dari hasil analisa struktur dengan program SAP 2000 diperoleh Momen Maksimum yang terjadi pada balok pratekan akibat beban kombinasi:

$$U = 1,05(DL + Lr \pm E)$$

Didapat : $M_{negatif} = 254139,2 \text{ kgm}$

5.2.8 Perhitungan Tulangan Momen Negatif

C - T

$$T = A_s \times \sigma_{su}$$

$$C = 0,85 \times \sigma_{sk} \times b_w \times a = A_s \times \sigma_{su}$$

$$a = \frac{A_s \times \sigma_{su}}{0,85 \times \sigma_{sk} \times b_w}$$

$$A_s = \frac{M_n}{\phi \sigma_{su} (d - 0,5 a)} \rightarrow \phi = 0,90$$

$$\text{Beton K-400} = \sigma_{sk} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Besi U-32} = \sigma_{su} = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = 130 - 10 = 120 \text{ cm}$$

$$C = 0,85 \times 400 \times 700 \times a = 238000 a$$

$$M_n = \frac{M_{negatif}}{0,8} = \frac{254139,2}{0,8} = 317674 \text{ kgm} = 31767400 \text{ kgcm}$$

$$M_n = C \times (d - 0,5 a)$$

$$31767400 = 238000 a \times (120 - 0,5 a)$$

$$31767400 = 28560000 a - 119000 a^2$$

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$
$$= \frac{-28560000 \pm \sqrt{28560000^2 - 4 \times 119000 \times 31767400}}{2 \times 119000} = 1,12 \text{ cm}$$

$$As = \frac{31767400}{0,9 \times 3900 \times (120 - 0,5 \cdot 1,12)} = 75,78 \text{ cm}^2$$

Maka dipakai tulangan 10 - D32 ($As = 8042,5 \text{ mm}^2$)

5.3 Perencanaan Balok Induk

Contoh Perhitungan

Balok induk B1 pada lantai 2, dengan data sbb :

Dimensi balok :	b	= 400 mm
	be	= 980 mm
	h	= 600 mm
selimut beton		= 40 mm
sengakang		= ϕ 10
mutu beton, f_c'		= 30 Mpa
mutu baja, f_y		= 320 MPa
d	$= 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25$	= 537,5 mm
d'	$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25$	= 62,5 mm

5.3.1 Perhitungan Tulangan di Daerah Tumpuan

Tulangan Tumpuan Negatif

$$Mu' = 4,62 E+8 \text{ Nmm}$$

$$\text{Dipakai } \delta = 0,5 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.3.2})$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

(SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a)

$$\rho_{\max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0,0179$$

$$Rn = \frac{(1-\delta)Mu}{\phi b d^2} = \frac{(1-0,5) \times 4,62 E+08}{0,8 \times 400 \times 637,5^2} = 1,78$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,294$$

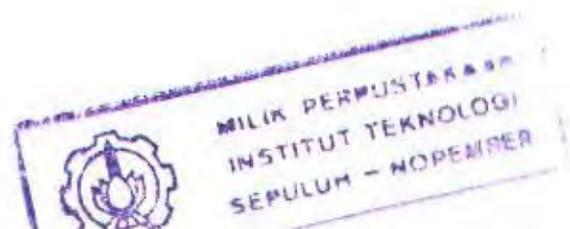
$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 1,78}{390}} \right) = 0,0047$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho' = \frac{\delta Mu}{\phi \times f_y \times (d - d') \times b \times d} = \frac{0,5 \times 4,62 E+08}{0,8 \times 390 \times (637,5 - 62,5) \times 400 \times 637,5} = 0,005$$

Menghitung tulangan tarik dan tekan pada tumpuan

Tulangan tumpuan atas :



$$\text{Rasio tulangan tarik} = \rho\delta + \rho' = 0,0047 + 0,005$$

$$\rho = 0,0097 > \rho_{\min} = 0,0036$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0097 \times 400 \times 637,5 = 2473,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan 6 D-25 (} A_s = 2945,2 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Tulangan tumpuan bawah :

$$A_s' = \rho' \cdot b \cdot d = 0,005 \times 400 \times 637,5 = 1275 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan 3 D-25 (} A_s = 1472,6 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Tulangan Tumpuan Positif

$$M_u^+ = 4,27 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$\text{Dipakai } \delta = 0,5 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.3.2})$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$(\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a})$$

$$\rho_{\max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0,0179$$

$$R_n = \frac{(1-\delta)M_u}{\phi b d^2} = \frac{(1-0,5) \times 4,27 \text{ E}+8}{0,8 \times 400 \times 637,5^2} = 1,64$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,294$$

$$\rho\delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 1,64}{390}} \right) = 0,00435$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho' = \frac{\delta M_u}{\phi \times f_y \times (d - d') \times b \times d} = \frac{0,5 \times 4,27 \text{ E}+8}{0,8 \times 390 \times (637,5 - 62,5) \times 400 \times 637,5} = 0,0047$$

Rasio tulangan tarik :

$$\rho = \rho\delta + \rho' = 0,00435 + 0,0047 = 0,00905 < \rho_{\min} = 0,0036$$

$$\text{dipakai } \rho_{\min} = 0,0036$$

Menghitung tulangan tekan dan tarik pada tumpuan

Tulangan tumpuan bawah :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00905 \times 400 \times 637,5 = 2307,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan 5 D-25 (} A_s = 2454,4 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Tulangan tumpuan atas :

$$A_s^* = 0,5 \cdot \rho \cdot b \cdot d = 0,5 \times 0,0036 \times 400 \times 637,5 = 459,0 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2 D-25 ($A_s = 981,8 \text{ mm}^2$)

Dalam hal ini tulangan terpasang diambil berdasarkan harga terbesar dari 2 jenis tulangan tumpuan di atas :

Tulangan atas : 6 D-25 ($A_s = 2945,2 \text{ mm}^2$)

Tulangan bawah : 5 D-25 ($A_s = 2454,4 \text{ mm}^2$)

5.3.2 Perhitungan Tulangan di Daerah Lapangan

$$M_u = 1,67 \text{ E}+07 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a})$$

$$\rho_{\max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0,0179$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1,67 \text{ E}+07}{0,8 \times 400 \times 637,5^2} = 0,128$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,294$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,128}{390}} \right) = 0,00033$$

$$a = \frac{\rho \times d \times f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{0,00033 \times 637,5 \times 390}{0,85 \times 40} = 2,41 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm}$$

Berarti penulangan seperti balok persegi dengan mengganti b menjadi be.

$$R_n = 0,128$$

$$\rho = 0,00033 < \rho_{\min} = 0,0036$$

dipakai $\rho_{\min} = 0,0036$

Tulangan lapangan bawah :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0036 \times 400 \times 637,5 = 918,0 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2 D-25 ($A_s = 981,8 \text{ mm}^2$)

Tulangan lapangan bawah :

$$As' = 0,5 \rho_b d = 0,5 \times 0,0036 \times 400 \times 637,5 = 459,0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } 2 \text{ D-25} \quad (As = 981,8 \text{ mm}^2)$$

Tulangan atas : 2 D-25 (As = 981,8 mm²)

Tulangan bawah : 2 D-25 (As = 981,8 mm²)

5.3.3 Perhitungan Tulangan Torsi

$$Tu = 1,58 \text{ E}+03 \text{ Nmm}$$

$$\Sigma x^2 y = (400^2 \times 700) + (580^2 \times 120) = 1,52 \text{ E}+08 \text{ mm}^3$$

$$\Sigma x^2 y = (400^2 \times 580) + (980^2 \times 120) = 2,08 \text{ E}+08 \text{ mm}^3 \quad (\text{menentukan})$$

Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton :

$$\phi T_c = \phi \left(\frac{1}{15} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y \right) = 0,6 \left(\frac{1}{15} \sqrt{30} \times 2,08 \text{ E}+08 \right) = 4,55 \text{ E}+07 \text{ Nmm}$$

Karena : $Tu < \phi T_c \rightarrow$ Torsi diabaikan !

5.3.4 Perhitungan Geser

Perhitungan geser sejarak d dari muka kolom

Untuk menentukan tulangan geser perlu didalam komponen struktur rangka akibat gempa dihitung berdasarkan setengah dari nilai V_c untuk lokasi sepanjang d dari muka tumpuan. (SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.3-b).

$$Vu = 1,059 \text{ E}+05 \text{ N} \quad (\text{nilai di muka kolom})$$

$$\phi V_c = \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d \right) = 0,6 \left(\frac{1}{6} \sqrt{30} \times 400 \times 637,5 \right) = 1,40 \text{ E}+5 \text{ N}$$

$$\min \phi V_s = \phi \left(\frac{1}{3} b_w d \right) = 0,6 \left(\frac{1}{3} \times 400 \times 637,5 \right) = 5,10 \text{ E}+04 \text{ N}$$

$$\phi V_c < Vu \leq (\phi V_c + \min \phi V_s)$$

$$1,40 \text{ E}+5 \text{ N} < 1,76 \text{ E}+5 \text{ N} < 1,91 \text{ E}+5 \text{ N}$$

\rightarrow kategori desain 3

maka dipasang sengkang dengan ketentuan :

$$s = \frac{3 f_y A_v}{b} = \frac{3 \times 320 \times 157,0}{400} = 377 \text{ mm}$$

Untuk daerah sepanjang d dari muka kolom, spasi maksimum tulangan geser tidak boleh melebihi nilai yang telah diatur dalam SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.3 dan pasal 3.14.9.3.10-b, yaitu :

- $d/4$ $= 637,5 / 4$ $= 160$ mm
- $10 \times \phi$ tul. longitudinal $= 10 \times 25$ $= 250$ mm
- $24 \times \phi$ sengkang $= 24 \times 10$ $= 240$ mm
- 300 mm

Dipasang tulangan geser $\phi 10-150$

Perhitungan geser di luar jarak d .

$$V_u = 9,66 \text{ E}+04 \text{ N}$$

$$\phi V_c = \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d \right) = x 0,6 \left(\frac{1}{6} \sqrt{30} x 400 x 637,5 \right) = 9,66 \text{ E} + 04 \text{ N}$$

$$\min \phi V_s = \phi \left(\frac{1}{3} b_w d \right) = x 0,6 \left(\frac{1}{3} x 400 x 637,5 \right) = 5,10 \text{ E} + 4 \text{ N}$$

$$\phi V_c < V_u \leq (\phi V_c + \min \phi V_s)$$

$$1.40 \text{ E} + 5 \text{ N} < 1.51 \text{ E} + 5 \text{ N} < 1.91 \text{ E} + 5 \text{ N}$$

→ kategori desain 3

maka dipasang sengkang dengan ketentuan :

$$s = \frac{3 f_y A_v}{b} = \frac{3 x 320 x 157.0}{400} = 377 \text{ mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

$$s < d/2 = 637.5 / 2 = 320 \text{ mm}$$

$$s < 600 \text{ mm}$$

Tulangan geser dipasang $\phi 10-300$

5.3.5 Perhitungan Panjang Penyaluran

Perhitungan panjang penyaluran tulangan D-25 berdasarkan SKSNI 1991 pasal 3.5.2 meliputi beberapa hal sebagai berikut :

1. Panjang penyaluran tulangan tarik

Panjang penyaluran dasar adalah :

$$l_{db} = \frac{0,02 . A_b . f_y}{\sqrt{f_c'}} = \frac{0,02 x 490,9 . x 390}{\sqrt{30}} = 699 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$L_{db} = 0,06 \cdot db \cdot f_y = 0,06 \times 25 \times 390 = 585 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran, $L_d = 1,4 \cdot L_{db} = 1,4 \times 585 = 819 \text{ mm}$
 $L_d \geq 300 \text{ mm}$

2. Panjang penyaluran tulangan tekan

Panjang penyaluran dasar adalah :

$$L_{db} = \frac{db \cdot f_y}{4 \sqrt{f_c'}} = \frac{25 \times 390}{4 \times \sqrt{30}} = 445 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$L_{db} = 0,04 \cdot db \cdot f_y = 0,04 \times 25 \times 390 = 390 \text{ mm}$$

$$L_d \geq 200 \text{ mm}$$

a. Panjang penyaluran kait standar (hook) dalam tarik

Panjang penyaluran dasar hook adalah :

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot db}{\sqrt{f_c'}} = \frac{100 \times 25}{\sqrt{30}} = 456 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran hook :

$$l_{dh} = l_{hb} \left(0,7 \sqrt{\frac{f_y}{400}} \right) = 456 \times 0,7 \times \left(\frac{390}{400} \right) = 312 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 8 \cdot db = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

b. Panjang penyaluran tulangan momen positif

1/3 tulangan momen positif pada tumpuan dan 1/4 tulangan momen positif

komponen struktur menerus harus diteruskan ke dalam tumpuan min. sepanjang :

- 150 mm
- $d = 637,5 \text{ mm}$
- $12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$

c. Panjang penyaluran dari tulangan tarik pada momen negatif

1/3 tulangan tarik pada tulangan negatif diteruskan pada jarak terbesar antara :

- $d = 637,5 \text{ mm}$
- $12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$
- $l_n / 16 = 3600 / 16 = 225 \text{ mm}$

5.3.6 Kontrol Retak (SKSNI 1991 rumus 3.3.4)

$$f_s = 0,6 \cdot f_y = 0,6 \times 390 = 234 \text{ MPa}$$

$$d_c = 40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 62,5 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2 \cdot d_c \cdot b}{n} = \frac{2 \times 62,5 \times 400}{4} = 12500 \text{ mm}^2$$

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A} = 234 \times \sqrt[3]{62,5 \times 12500} = 21552 \text{ MPa} < 30 \text{ MN/m (OK)}$$

5.3.7 Kontrol Lendutan

Sesuai dengan SKSNI 1991 tabel 3.2.5(a), maka tebal minimum balok :

- balok satu ujung menerus $h_{\min} = L / 18,5$

- untuk f_y selain 400 MPa, maka harus dikalikan dengan $\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$

Jadi untuk balok dengan $L = 4000 \text{ mm}$ dengan menggunakan $f_y = 390 \text{ MPa}$, maka h_{\min} adalah :

$$h_{\min} = \frac{L}{18,5} \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) = \frac{4000}{18,5} \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 207 \text{ mm}$$

Ketentuan diatas sudah terpenuhi karena $h_{\text{balok}} = 700 \text{ mm}$

5.4 Perencanaan Kolom

5.4.1 Data Perencanaan Kolom

Dalam perencanaan ini elemen kolom direncanakan dengan sistem cor di tempat (cast in situ), dan sebagai contoh perhitungan diambil kolom K3 lantai 2 dengan data-data sebagai berikut :

Dimensi kolom	=	700 x 900 mm
Mutu beton f_c'	=	30 MPa
Mutu baja f_y	=	390 MPa
Selimut beton	=	40 mm
Tulangan utama	=	D-32 mm
Sengkang	=	ϕ -10 mm
d'	=	$40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 62,5$ mm
Tinggi kolom	=	4000 mm
Jenis kolom	=	unbraced (tanpa pengaku)

5.4.2 Penulangan Lentur Aksial Kolom

Dari hasil analisa SAP 2000 diperoleh gaya-gaya dalam yang bekerja pada kolom sebagai berikut :

P_u	=	3,46 E+06 N
$M_{2b}(x)$	=	9,29 E+05 Nmm
$M_{2s}(x)$	=	5,82 E+08 Nmm
$M_{2b}(y)$	=	6,9 E+08 Nmm
$M_{2s}(y)$	=	1,26 E+09 Nmm

Perhitungan faktor tekuk (k)

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{30} = 25743 \text{ MPa}$$

Untuk EI balok (dimensi 700 x 1300 mm)

I_g	=	$1/12 \times 700 \times 1300^3 = 1,28 \text{ E}+11 \text{ mm}^4$
I_{cr}	=	$0,5 I_g = 6,4 \text{ E}+10 \text{ mm}^4$
EI balok	=	$E_c \times I_{cr} = 1,65 \text{ E}+15$

Sedangkan untuk EI balok (dimensi 400 x 600 mm)

$$I_g = 1/12 \times 400 \times 600^3 = 1,14 \text{ E}+10 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = 0,5 I_g = 5,72 \text{ E}+09 \text{ mm}^4$$

$$EI \text{ balok} = E_c \times I_{cr} = 1,47 \text{ E}+14$$

EI kolom (dimensi 700 x 900 mm)

$$I_g = 1/12 \times 700 \times 900^3 = 2,00 \text{ E}+10 \text{ mm}^4$$

$$EI \text{ kolom} = 0,3 \times E_c \times I_g = 1,55 \text{ E}+14$$

Faktor jepitan atas :

$$\psi_B = \frac{\sum(EI_c / L_c)_{kolom}}{\sum(EI_b / L_b)_{balok}} = \frac{(1,55E+14/4000) + (1,55E+14/4000)}{2 \times (1,47E+14/5000) + (1,65E+15/25000)} = 0,31$$

Faktor jepitan bawah :

$$\psi_A = 0$$

Dari nomogram faktor panjang efektif kolom diperoleh $k = 1,05$

Kontrol Kelangsingan

Jenis kolom adalah kolom tanpa pengaku (unbraced frame).

Jari-jari girasi, $r = 0,3 h = 0,3 \times 700 = 210 \text{ mm}$

$$\text{Nilai kelangsingan } \lambda = \frac{k \cdot l \cdot n}{r} = \frac{1,05 \times (4000 - 350)}{210} = 18,25 < 22$$

(Termasuk kolom pendek, pengaruh kelangsingan tidak diperhitungkan)

$$\begin{aligned} M_{cx} &= M_{2b} + M_{2s} \\ &= 9,29E+05 + 5,82E+08 = 5,83E+08 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cy} &= M_{2b} + M_{2s} \\ &= 6,9E+08 + 1,26E+09 = 1,33E+09 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Ekuivalen

Karena M_{cy} lebih besar dibandingkan dengan M_{cx} maka persamaan momen ekuivalen yang dipakai adalah :

$$\phi M_n = M_{ux} \frac{b}{h} \frac{1-\beta}{\beta} + M_{uy}$$

$$= (5,83E+08 \times 1 \times \frac{1-0,65}{0,65}) + 1,33E+09 = 2,38E+09 \text{ Nmm}$$

Menghitung Luas Tulangan

$$kx = \frac{Mu}{Ag \cdot h} = \frac{2,38E+09}{700^2 \times 700} = 6,94$$

$$ky = \frac{Pu}{Ag} = \frac{3,46E+06}{700 \times 700} = 7,06$$

Dari diagram interaksi M-N, diperoleh $\rho = 0,0300$

Sehingga diperoleh :

$$As \text{ perlu} = \rho \times Ag = 0,0300 \times 700^2 = 39200,0 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **12 D-25** ($As = 5890,4 \text{ mm}^2$)

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{5890,4}{700 \times 700} = 0,012$$

Kontrol Biaksial Bending

Perhitungan Pob

$$\begin{aligned} \text{Pob} &= 0,8 \phi (f_c' (Ag - Ast) + Ast \cdot fy) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times (30 \times (700^2 - 5890,4) + 5890,4 \times 390) = 8,75E+06 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan Pnx :

$$\frac{Mux}{Ag \cdot h} = \frac{6,09E+8}{700^2 \times 700} = 1,78$$

Dari diagram interaksi M-N, dengan $\rho = 0,0800$ dipeoleh

$$\frac{\phi Pnx}{Ag} = 26$$

$$Pnx = 26 \times 700^2 / 0,65 = 1,96 \text{ E}+07 \text{ N}$$

Perhitungan Pny :

$$\frac{Muy}{Ag \cdot h} = \frac{1,26E+09}{700^2 \times 700} = 3,67$$

Dari diagram interaksi M-N, dengan $\rho = 0,0800$ dipeoleh

$$\frac{\phi Pny}{Ag} = 25$$

$$P_{ny} = 25 \times 700^2 / 0,65 = 1,885 \text{ E}+07 \text{ N}$$

Maka diperoleh :

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{ob}} = \frac{1}{1,96\text{E}+7} + \frac{1}{1,885\text{E}+7} - \frac{1}{8,75\text{E}+6}$$

$$P_{nb} = 9,79 \text{ E}+07 \text{ N}$$

$$P_u = 3,46 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{3,46\text{E}+6}{0,65} = 5,32\text{E}+06\text{N}$$

$$P_{nb} = 9,79 \text{ E}+07 \text{ N} > P_n = 5,32 \text{ E}+06 \text{ N} \dots \dots \dots \text{ (OK)}$$

5.4.3 Perhitungan Geser dan Torsi

Data-data perencanaan :

$$T_u = 5,51 \text{ E}+02 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 2,55 \text{ E}+05 \text{ N}$$

$$P_u = 3,46 \text{ E}+06 \text{ N}$$

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan utama} = \text{D-25}$$

$$\text{Tulangan geser} = \phi\text{-10}$$

$$d = 700 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 637,5 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (} f_c' \text{)} = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (} f_y \text{)} = 320 \text{ Mpa}$$

Cek Torsi Minimum

$$\phi T_c = \phi \left(\frac{1}{15} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y \right) = 0,6 \left(\frac{1}{15} \sqrt{30} \times 700^2 \times 700 \right)$$

$$\phi T_c = 7,51 \text{ E}+07 \text{ Nmm}$$

$$T_u = 5,51 \text{ E}+02 \text{ Nmm} < \phi T_c \rightarrow \text{torsi dapat diabaikan.}$$

Sumbangan Kekuatan Geser Beton

$$V_c = 2x \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} bw d \left[1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right] = 2x \frac{1}{6} \sqrt{30x700x637,5x} \left[1 + \frac{3,46E+6}{14x700^2} \right]$$

$$V_c = 1,23 E+06 \text{ N}$$

$$0.5 \phi V_c = 6,13 E+05 \text{ N}$$

Karena $V_u < 0.5 \phi V_c$, maka dipasang sengkang minimum sebesar :

$$A_v \text{ min} = \frac{bw.s}{3.f_y} \quad \rightarrow \quad s = \frac{A_v.3.f_y}{bw}$$

Dipakai sengkang ϕ -10 ($A_s = 78,5 \text{ mm}^2$), maka :

$$s = \frac{2x78,5x3x320}{700} = 215 \text{ mm}$$

$$s \text{ maks} = 0,5 h = 0,5 x 700 = 350 \text{ mm}$$

$$= 10.d_b = 10 x 25 = 250 \text{ mm}$$

$$= 200 \text{ mm}$$

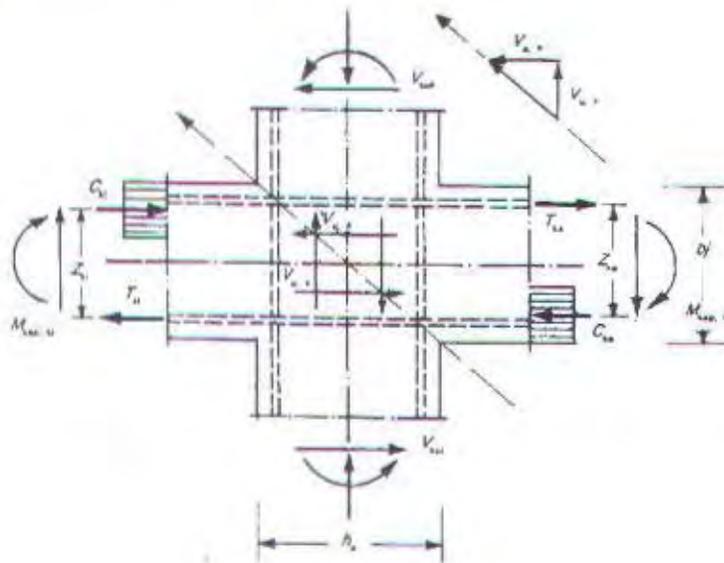
Dipasang tulangan sengkang ϕ 10-200 mm



5.4.4 Perencanaan Beam Column Joint

Pertemuan balok dan kolom merupakan daerah dimana terjadi interaksi tegangan yang sangat tinggi, karena adanya momen berbalik arah pada sisi-sisi balok akibat beban gempa yang cukup besar.

Faktor yang kritis dalam perencanaan pertemuan balok dan kolom adalah pemindahan gaya-gaya yang bekerja pada elemen balok kepada elemen kolom melalui suatu pertemuan. Bila tidak direncanakan dengan tepat justru di daerah pertemuan ini akan terjadi retak diagonal akibat geser horisontal yang bekerja.



Gambar 4.5 Pertemuan balok-kolom

Langkah-langkah perhitungan beam column joint :

1. Gaya geser horisontal yang bekerja pada joint :

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_k \quad (\text{SKSNI '91 3.14-6})$$

dimana :

$$C_{ki} = T_{ki} = 0,7 \frac{M_{kap,ki}}{z_{ki}} \quad ; \quad T_{ka} = C_{ka} = 0,7 \frac{M_{kap,ka}}{z_{ka}}$$

$$M_{kap} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{dan} \quad a = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

V_k = gaya geser kolom

$$= \frac{0,7 \left(\frac{L_{ki}}{Ln_{ki}} M_{karp,ki} + \frac{L_{ka}}{Ln_{ka}} M_{karp,ka} \right)}{1/2(h_{ka} + h_{kb})} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-7})$$

$L_{ki,ka}$ = jarak as ke as kiri dan kanan koint yang ditinjau

$Ln_{ki,ka}$ = jarak bersih balok kiri dan kanan joint yang ditinjau

h_{ka}, h_{kb} = jarak as ke as kolom atas dan bawah joint yang ditinjau

2. Tegangan geser nominal yang terjadi pada joint :

$$v_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j h_k} \leq 1,5 \sqrt{f_c'} \quad (\text{PB '89 A-6.1.2})$$

dimana :

b_j = lebar efektif joint yang dicari dari nilai terkecil di bawah ini :

$$\text{bila } b_k > b_b \quad \begin{cases} b_j = b_k \\ b_j = b_b + 0,5h_k \end{cases}$$

$$\text{bila } b_k \leq b_b \quad \begin{cases} b_j = b_b \\ b_j = b_k + 0,5h_k \end{cases}$$

h_k = tinggi kolom

3. Gaya geser yang mampu dipikul beton :

$$V_{cb} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0,1 f_c'} \times b_j h_k \quad (\text{SKSNI '91 3.14-10})$$

4. Penulangan geser pada joint :

$$V_{sh} + V_{cb} = V_{jh} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-13})$$

$$A_{sh} = \frac{V_{sh}}{f_y} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-14})$$

Contoh perhitungan pertemuan balok-kolom

Data perencanaan :

Ukuran balok induk = 400 x 600 mm

Ukuran kolom = 700 x 700 mm

Mutu beton f_c' = 30 Mpa : Mutu baja f_y = 390 MPa

P_u = 3,32 E+6 N

$$d = 700 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 637,5 \text{ mm}$$

$$A_s = 2454,8 \text{ mm}^2$$

Momen kapasitas balok dalam tarik :

$$a_{t, \text{tar}} = \frac{1,25 \times 2454,8 \times 390}{0,85 \times 30 \times 400} = 117,3 \text{ mm}$$

$$M_{\text{kap, tar}} = 1,25 \times 2454,8 \times 390 \times \left(637,5 - \frac{117,3}{2} \right) = 6,93E + 08 \text{ Nmm}$$

Gaya geser kolom yang bekerja pada joint :

$$V_k = \frac{0,7 \left(\frac{L_{k1}}{L_{n1}} M_{\text{kap, k1}} + \frac{L_{k2}}{L_{n2}} M_{\text{kap, k2}} \right)}{1/2(h_{k1} + h_{k2})} = \frac{0,7 \left(\frac{4500}{4500} 6,93E + 08 + \frac{5000}{4000} 6,93E + 08 \right)}{1/2(4000 + 4000)}$$

$$V_k = 2,73E + 05 \text{ N}$$

Gaya geser dan tegangan yang terjadi :

$$z_{k1} = z_{k2} = d - a/2 = 637,5 - 117,3/2 = 578,9 \text{ mm}$$

$$C_{k1} = 0,7 \frac{M_{\text{kap, k1}}}{z_{k1}} = 0,7 \times \frac{6,93E + 08}{578,9} = 8,38E + 05 \text{ N}$$

$$T_{k2} = 0,7 \frac{M_{\text{kap, k2}}}{z_{k2}} = 0,7 \times \frac{6,93E + 08}{578,9} = 8,38E + 05 \text{ N}$$

$$V_{jt} = C_{k1} + T_{k2} - V_k = 8,38E + 05 + 8,38E + 05 - 2,73E + 05 = 1,403 E + 06 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } b_k > b_b \quad h_j &= h_k = 700 \text{ mm} \\ b_j &= b_b + 0,5h_k = 400 + 0,5 \times 4000 = 2800 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$v_{jt} = \frac{V_{jt}}{b_j h_j} = \frac{1,403E + 06}{700 \times 700} = 2,86 \text{ MPa} < 1,5 \sqrt{f_c'} = 8,2 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

Gaya geser yang dipikul beton :

$$V_{ct} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0,1 f_c'} \times b_j h_j = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{3,32E + 6}{700 \times 700} - 0,1 \times 30} \times 700 \times 4000$$

$$V_{ct} = 3,63E + 06 \text{ N}$$

$$V_{ct} > V_{jt} \rightarrow \text{dipasang tulangan praktis}$$

Dipasang tulangan : $\phi 10 - 5 \text{ lapis}$

5.5 Perencanaan Pondasi

Contoh Perhitungan Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tiang pancang direncanakan memakai tiang pancang produksi WIKA tipe 500 A2 dengan spesifikasi bahan sebagai berikut :

Tiang pancang beton pratekan (Prestressed Concrete Pile) dengan bentuk penampang bulat berongga (Round Hollow)

Mutu beton tiang pancang K-600 (concrete cube compressive strength is 600 kg/cm² at 28 days)

Klasifikasi tiang pancang :

As	= 7,70 cm ²	M crack	= 12,50 tm
Ac	= 1159,25 cm ²	M ultimate	= 18,75 tm
W	= 10399,83 cm ³		
D	= 50 cm		

5.5.1 Perhitungan daya dukung tiang pancang

Sebagai contoh perhitungan pondasi tiang pancang tipe P1. Gaya-gaya dalam diperoleh dari analisa SAP 2000 sebagai berikut :

Pu	= 339,58 t
Mx	= 3,08 tm
My	= 127,30 tm
Hx	= 127,15 t
Hy	= 58,49 t

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji SPT menurut Meyerhof (1956). Perhitungan disajikan pada tabel 4.65 dan gambar 4.8. Dari grafik tersebut, direncanakan pemancangan sedalam H = 18 m dengan P ijin 1 tiang = 121,42 ton.

5.5.2 Perhitungan jumlah tiang

Rencana jumlah tiang pancang :

$$n = \frac{Pu}{P_{ijin.1\ tiang}} = \frac{339,58}{121,42} = 2,8 \rightarrow \text{dipakai 9 tiang pancang}$$

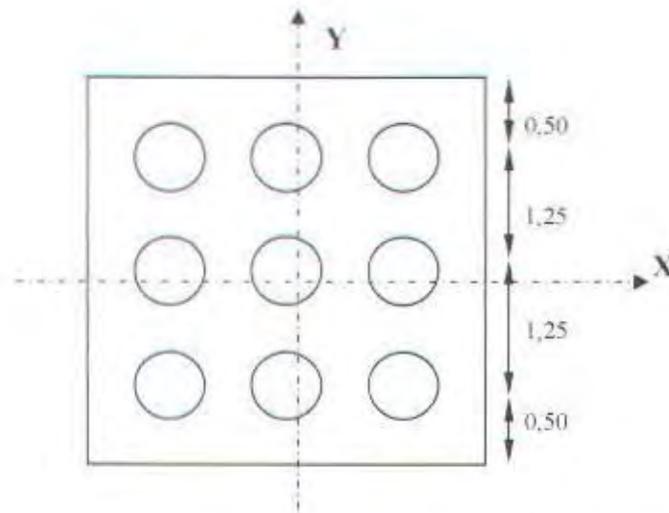
Jarak as ke as tiang terpasang ($2,5\phi$ sd. $3,0\phi$)

$$s = 3,0 \times 0,5 = 1,25 \text{ m}$$

Jarak tepi ke tepi poer

$$s_1 = 0,50 \text{ m}$$

Rencana dimensi poer = $3,5 \times 3,5 \times 1,0 \text{ m}$



Gambar 5.4 Rencana Penempatan Tiang Pancang

Kekuatan Group Tiang Pancang

$$\begin{aligned} \text{Eff} &= 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) = 1 - \frac{\text{arc} \cdot \text{tg}(0,5/1,25)}{90^\circ} \left(2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \right) \\ &= 0,68 \end{aligned}$$

$$P \text{ ijin group} = P \text{ ijin 1 tiang} \times \text{Eff}$$

$$P \text{ ijin group} = 121,42 \times 0,68$$

$$= 82,56 \text{ ton}$$

Beban maksimum tiang

$$\Sigma P_u = P_u + \text{Berat poer}$$

$$= 339,58 + (3,5 \times 3,5 \times 2,4 \times 1,0) = 368,98 \text{ ton}$$

$$\Sigma x^2 = 6 \times 1,25^2 = 9,375 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 6 \times 1,25^2 = 9,375 \text{ m}^2$$

$$X_{\max} = 1,25 \text{ m} \quad Y_{\max} = 1,25 \text{ m}$$

$$n = 9 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \frac{\sum Pu}{n} + \frac{My \times X_{\max}}{\sum x^2} + \frac{Mx \times Y_{\max}}{\sum y^2} \leq P_{\text{ijin, group}} \\ &= \frac{363,58}{9} + \frac{3,08 \times 1,25}{9,375} + \frac{127,15 \times 1,25}{9,375} \\ &= 57,76 \text{ ton} < P_{\text{ijin group}} = 82,56 \text{ ton} \quad \dots\dots\dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

5.5.3 Kontrol kekuatan tiang terhadap gaya lateral

$$H_x = 127,15 \text{ t}$$

$$H_y = 58,49 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} H_o &= \sqrt{H_x^2 + H_y^2} = \sqrt{15.328^2 + 31.749^2} = 35,26 \text{ ton} \quad (\text{untuk } 9 \text{ tiang}) \\ &= 3,92 \text{ ton} \quad (\text{untuk } 1 \text{ tiang}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_u &= 10 \text{ N} \quad (\text{korelasi Terzaghi \& Peck untuk tanah lempung berlanau}) \\ &= 10 \times 15,3 = 153 \text{ KPa} = 1,53 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$C_r = 0,5 C_u = 0,5 \times 1,53 = 7,65 \text{ kg/cm}^2$$

$$F = \frac{H_o}{9 \times C_r \times D} = \frac{3,92}{9 \times 7,65 \times 0,5} = 0,114$$

$$L_1 = F + 1,5D = 0,114 + 1,5 \times 0,5 = 0,864 \text{ m}$$

$$L_2 = 2,2L_1 = 2,2 \times 0,864 = 1,9 \text{ m} < h \text{ pemancangan} = 16,0 \text{ m}$$

Termasuk dalam kategori tiang panjang.

Untuk tiang pancang yang ujungnya tertahan (restraint pile) diperoleh harga kuat geser tanah :

$$\begin{aligned} H_o \text{ 1 tiang} &= 9 \times C_u \times D \times (L_1 - 1,5D) \\ &= 9 \times 15,3 \times 0,50 \times (0,864 - 1,5 \times 0,50) \\ &= 7,85 \text{ ton} > H_o \text{ terjadi} = 3,92 \text{ ton} \quad \dots\dots\dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M_{\text{ult aktual}} &= H_o \times (1,5D + 0,5F) = 3,92 \times (1,5 \times 0,50 + 0,5 \times 0,114) \\ &= 3,16 \text{ tm} < M_{\text{crack}} = 12,5 \text{ tm} \\ &< M_{\text{ultimate}} = 18,75 \text{ tm} \quad \dots\dots\dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

5.5.4 Perencanaan Poer (Pile Cap)

Data-data perencanaan poer :

Pu	=	339,58 ton
Dimensi	=	3,5 x 3,5 x 1.0 m
Jumlah tiang pancang	=	9 buah
Dimensi kolom	=	700 x 900 mm
Mutu beton f_c	=	30 MPa
Mutu baja f_y	=	390 MPa
Tulangan pokok	=	D-25
Selimit beton	=	70 mm
Tinggi efektif d	=	$1000 - 70 - 25 - \frac{1}{2} 25 = 892,5$ mm

Kontrol Geser Pons

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi (SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.11-2). Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan sebagai berikut :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_o \times d$$

tetapi tidak melebihi dari :

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \times \beta_c, \quad \text{dimana :}$$

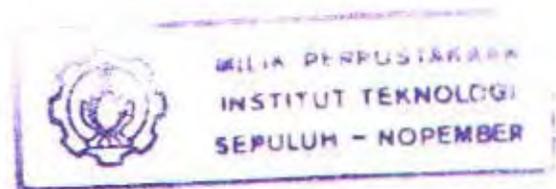
β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

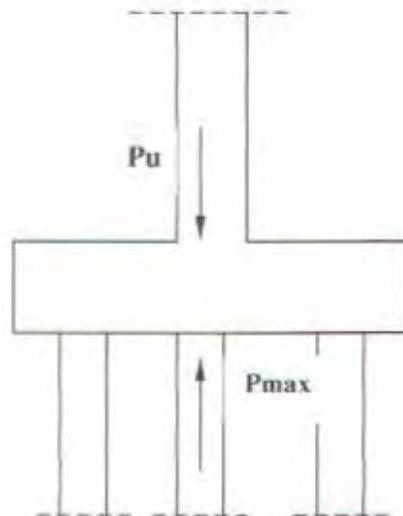
b_o = keliling penampang kritis pada poer.

Contoh perhitungan :

Keliling penampang kritis :

$$\begin{aligned} b_o &= 2 (b_k + d) + 2 (h_k + d) = 2 (700 + 892,5) + 2 (900 + 892,5) \\ &= 6770 \text{ mm} \end{aligned}$$





Gambar 5.5 Kontrol Geser Pons

Kuat geser pons :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1,286} \right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) \times 6770 \times 892,5 = 1,41 E + 07 N$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{30} \times 6770 \times 892,5 \times 1,286 = 1,42 E + 07 N \quad \rightarrow \text{menentukan}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 \times 1,42 E + 07 \\ &= 8,52 E + 06 N = 868,502 \text{ ton} > P_u - P_{\max} = 281,82 \text{ ton (OK)} \end{aligned}$$

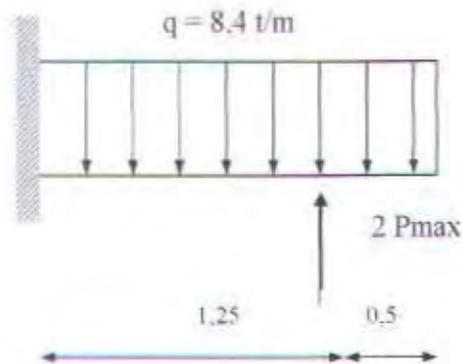
Selain itu dimensi poer (tebal poer) direncanakan juga dengan mempertimbangkan panjang penyaluran tiang pancang yaitu sebesar :

$$\begin{aligned} &= 40 \times D_{\text{tiang pancang}} \\ &= 40 \times 19 \text{ mm} = 480 \text{ mm} > t \text{ rencana poer} = 1000 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan lentur Poer

Pada penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang

sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q . Perhitungan gaya dalam pada poer diperoleh dengan mekanika statis tertentu.



Gambar 5.6 Pemodelan Poer

$$P_{\max} = 57,76 \text{ ton}$$

$$q = 2,4 \times 3,5 \times 1,0 = 8,4 \text{ t/m'}$$

Momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} M_u &= (2 \times 57,76 \times 1,0) - \left(\frac{1}{2} \times 8,4 \times 1,75^2\right) \\ &= 102,66 \text{ tm} = 1,007 \text{ E}+09 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$Rn = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1,007 \text{ E}+09}{0,8 \times 3500 \times 892,5^2} = 0,4515$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,294$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,4515}{390}} \right) = 0,00117$$

Dipakai $\rho_{\min} = 0,0036$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0036 \times 3500 \times 892,5 = 11245,5 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan **24 D-25**

Jarak pemasangan tulangan :

$$s = \frac{3500 - (2 \times 70)}{20} = 168 \text{ mm} \rightarrow \text{dipasang jarak } 125 \text{ mm}$$

Penulangan arah x dan arah y sama, karena bentuk poer yang bujursangkar.

Penulangan Geser Poer

Geser yang terjadi pada daerah kritis kolom harus dikontrol. Apabila geser yang terjadi lebih besar dari geser nominal beton, maka diperlukan tulangan geser yang diambil dari bengkokan tulangan utama.

Geser yang terjadi pada beton :

$$\begin{aligned} V_u &= (n \times P_{\max}) - (q \times l) = (2 \times 57,76) - (8,4 \times 1,75) \\ &= 100,82 \text{ ton} = 9,89 \text{ E}+05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_o d \right) = 0,6 \left(\frac{1}{6} \sqrt{30} \times 6770 \times 892,5 \right) = 3,31 \text{ E} + 06 \text{ N}$$

Karena $V_u < \phi V_c \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser.

5.5.5 Perencanaan Sloof (Tie Beam)

Data-data perencanaan sloof :

Pu	= 10 % x 339,58 ton	= 33,96 ton
Panjang sloof		= 5,0 m
Dimensi sloof		= 400 x 600 mm
Mutu beton f_c		= 30 MPa
Mutu baja f_y		= 390 MPa
Tulangan pokok		= D-25
Sengkang		= ϕ -10
Selimut beton		= 70 mm
Tinggi efektif d	= 600 - 70 - 10 - $\frac{1}{2}$ 25	= 507,5 mm

Kontrol dimensi sloof :

Tegangan ijin tarik beton :

$$f_r = 0,70 \sqrt{f_c'} = 0,70 \sqrt{30} = 3,83 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik yang terjadi :

$$f_r = \frac{Pu}{\phi bh} = \frac{3,33E+05}{0,8 \times 400 \times 600} = 1,735 \text{ MPa} < f_r \text{ ijin} = 3,83 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

Jadi dimensi sloof telah memenuhi.

Penulangan lentur sloof

Penulangan sloof didasarkan pada kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti pada penulangan kolom.

Beban yang bekerja pada sloof :

$$\text{Berat sendiri } q_u = 1,2 \times 0,4 \times 0,6 \times 2400 = 6912 \text{ kg/m}$$

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M_u &= 1/8 \times q_u \times l^2 = 1/8 \times 6,912 \times 5,0^2 \\ &= 21,6 \text{ ton-m} \quad = 2,12 \text{ E}+07 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan

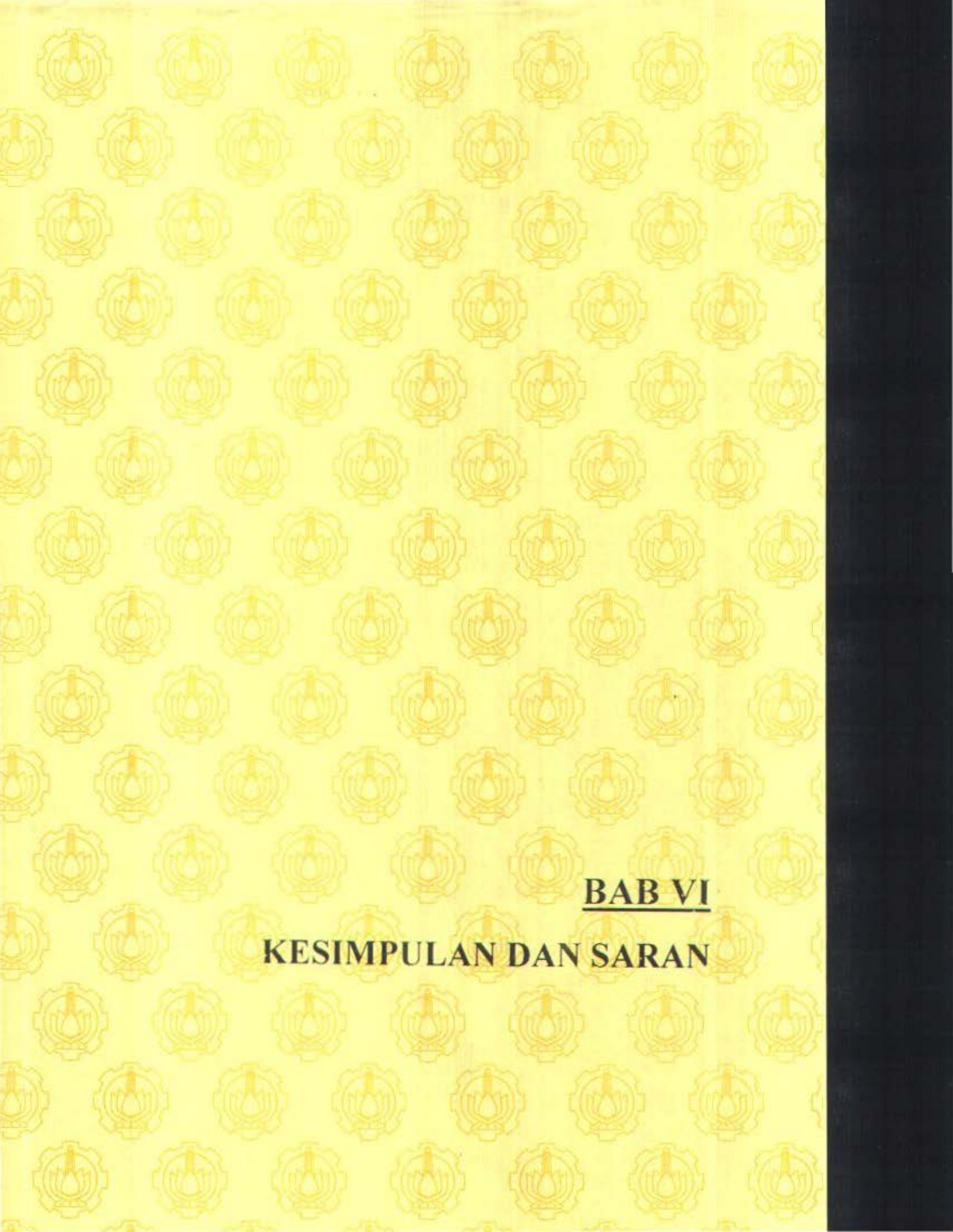
$$\begin{aligned} k_x &= \frac{M_u}{A_g \cdot h} = \frac{2,12E+07}{(400 \times 600) \times 600} = 0,147 \\ k_y &= \frac{Pu}{A_g} = \frac{3,33E+05}{400 \times 600} = 1,388 \end{aligned}$$

Dari diagram interaksi M-N, diperoleh $\rho = 0,0100$

Sehingga diperoleh :

$$\text{As perlu} = \rho \times A_g = 0,0100 \times 400 \times 600 = 2400,0 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **6 D-25** ($A_s = 2945,2 \text{ mm}^2$)



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan –perhitungan dan analisa yang telah saya kerjakan selama penyusunan Tugas Akhir dengan judul “ *MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PARKIR PLAZA MARINA DENGAN BETON PRATEKAN* ” saya mengambil kesimpulan sebagai berikut :

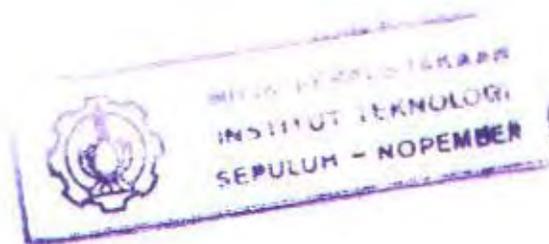
1. Pada perencanaan struktur atas seluruh komponen gedung parkir didesain dengan analisa kekuatan batas kecuali balok pratekan. Adapun seluruh komponen struktur gedung parkir sudah memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan dalam peraturan yang terkait. Berikut ini hasil-hasil perhitungan dan analisa untuk seluruh komponen gedung:

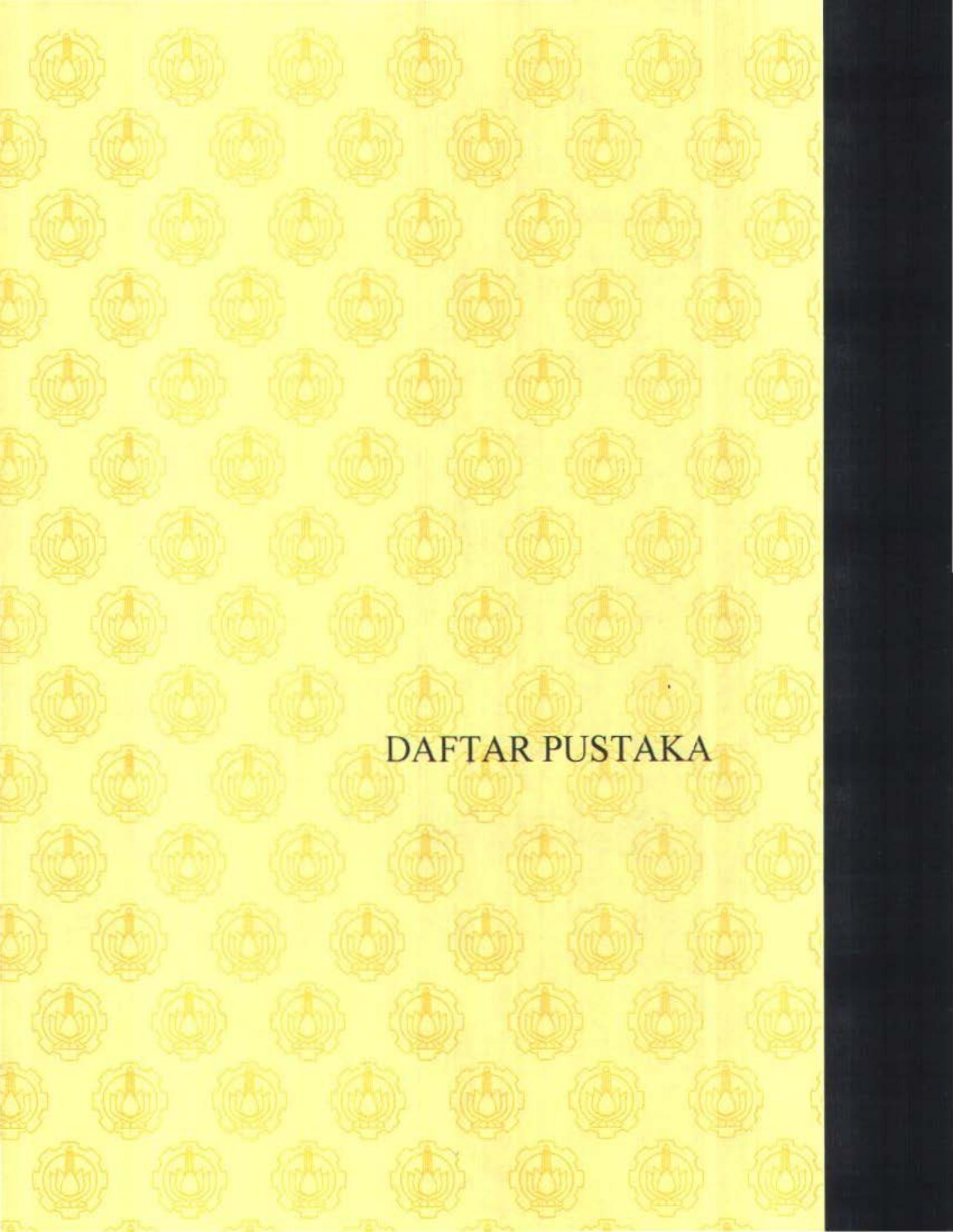
Panjang gedung	: 53 m
Lebar gedung	: 25 m
Tinggi gedung	: 24 m
Ketinggian tiap lantai	: 4 m
Dimensi Pelat Atap	: 10 cm
Dimensi Pelat Lantai	: 12 cm
Dimensi Balok Pratekan	: 70 x 130 cm
Dimensi Balok Induk	: 40 x 60 cm
Dimensi Balok Anak	: 30 x 50 cm
Dimensi Kolom Utama	: 70 x 90 cm
Dimensi Kolom Eksterior	: 70 x 70 cm
2. Untuk pemberian gaya pratekan pada balok-balok yang dipratekan, perancah pada masing-masing balok dibiarkan sampai seluruh balok-balok pratekan selesai dijacking agar tidak menimbulkan momen yang berlebihan pada balok pratekan.

6.2 Saran

Selama proses perhitungan dan analisa ada beberapa kendala yang menghambat sehingga hasil yang diperoleh belum menunjukkan hasil yang optimal ditinjau dari segi teknis. Untuk itu saya sebagai perencana pemula menyarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Jarak antar kolom jangan terlalu besar untuk mendesain balok pratekan, untuk menghindari kolom dari beban aksial yang sangat besar dari balok pratekan.
2. Perlu memperhatikan aspek pelaksanaan lapangan terutama untuk balok pratekan. Sebelum memulai perhitungan terhadap balok pratekan, terlebih dahulu ditentukan cara pelaksanaan dilapangan.

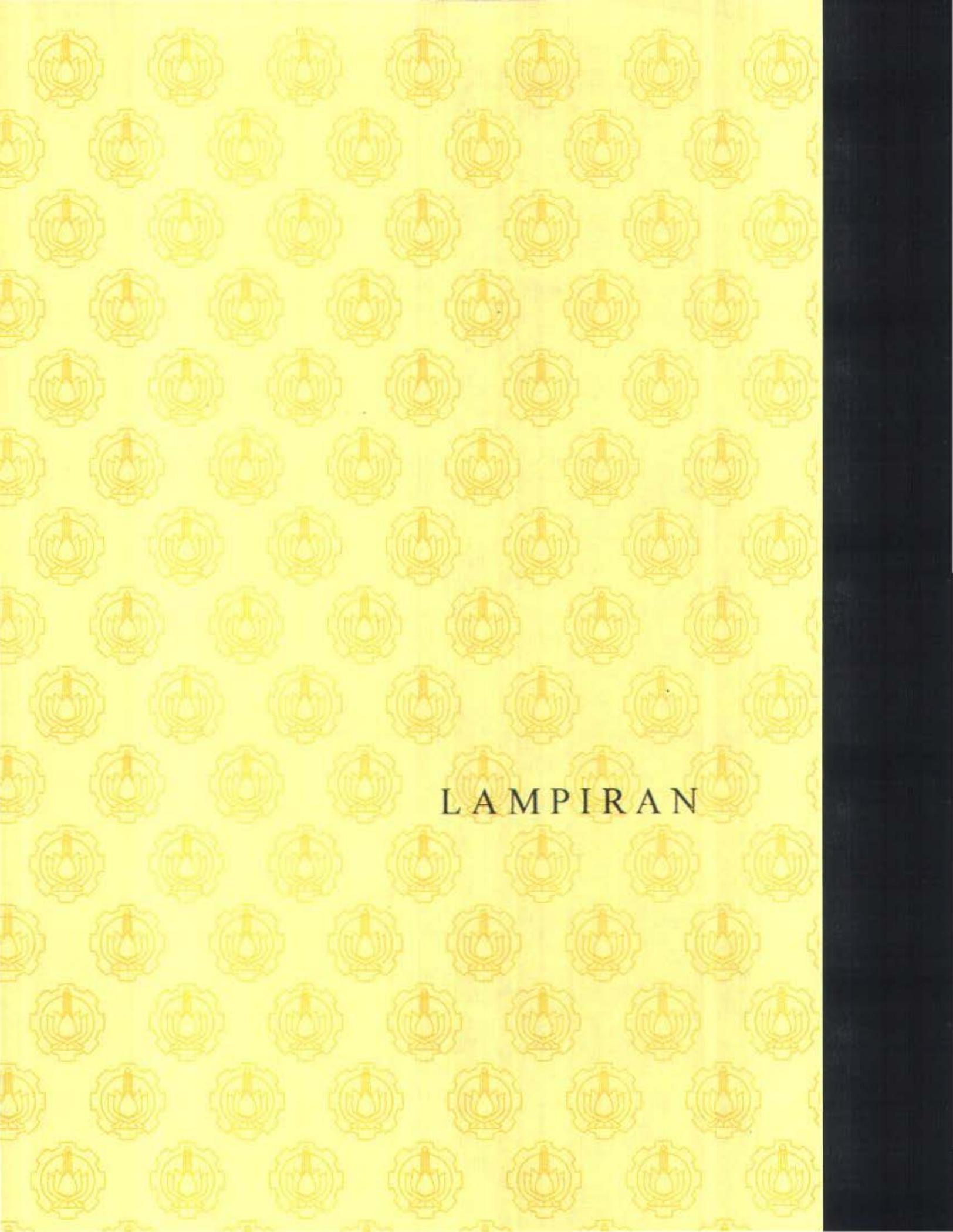




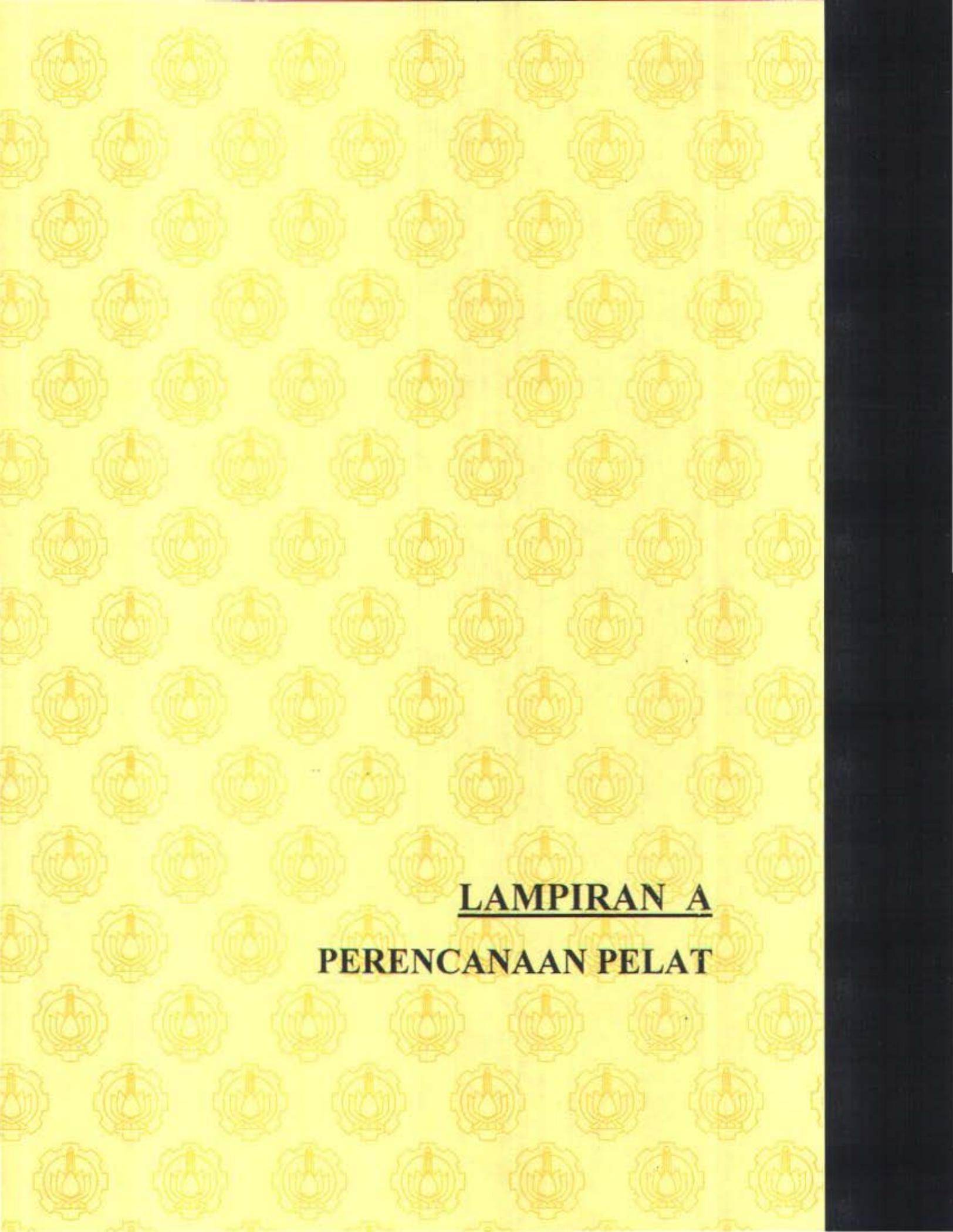
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum, *Tatacara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung* (SKSNI T-15-1991-03). Yayasan LPMB, Bandung.
2. PCI Design Hand Book, *Precast and Prestress Concrete*, Fourth Edition, PCI, Chicago, Illinois, 1992.
3. Lin Ned. T.Y Burns.H., *Desain Struktur Beton Prategang*, Jilid 1 dan 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991
4. Nawy, G. Edward, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Penerbit PT ERESKO, Bandung, 1990
5. Bowles, E. Joseph, *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Companies inc, 1996.
6. Wahyudi, Herman, *Beberapa Metoda Perhitungan Daya Dukung Tiang Pondasi*, Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, 1995
7. Departemen Pekerjaan Umum, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Yayasan LPMB, Bandung



LAMPIRAN



LAMPIRAN A
PERENCANAAN PELAT

4.1 Kontrol Tebal Pelat Atap

Letak	L_n (mm)	S_n (mm)	μ	b (mm)	h (mm)	t (mm)	be_1 (mm)	be_2 (mm)	be_{pakat} (mm)	$bslab$ (mm)	K	I_b (mm ⁴)	I_s (mm ⁴)	α	z_{em}	h_{min} (mm)	h_{min_2} (mm)	z_{max} (mm)	h_{max_1} (mm)	tebal (mm)
eksternor	4500	3700	1.22	400	700	100	1000	800	800	4000	1.34	$1.5E+10$	$3.3E+08$	46.0	142.0	5	97	127	90	100
				700	1300	100	3100	1500	1500	4000	1.23	$1.6E+11$	$3.3E+08$	471.9						
				400	700	100	1000	800	800	5000	1.34	$1.5E+10$	$4.2E+08$	36.8						
				300	500	100	1100	1100	1100	5000	1.74	$5.5E+09$	$4.2E+08$	13.1						
interior	4300	3700	1.16	700	1300	100	3100	1500	1500	4000	1.23	$1.6E+11$	$3.3E+08$	471.9	242.5	3	94	121	90	100
				700	1300	100	3100	1500	1500	4000	1.23	$1.6E+11$	$3.3E+08$	471.9						
				300	500	100	1100	1100	1100	5000	1.74	$5.5E+09$	$4.2E+08$	13.1						
				300	500	100	1100	1100	1100	5000	1.74	$5.5E+09$	$4.2E+08$	13.1						
eksternor	4500	4200	1.07	400	700	100	1000	800	800	4500	1.34	$1.5E+10$	$3.8E+08$	40.9	121.6	7	100	127	90	100
				700	1300	100	3100	1500	1500	4500	1.23	$1.6E+11$	$3.8E+08$	419.5						
				300	500	100	1100	1100	1100	5000	1.74	$5.5E+09$	$4.2E+08$	13.1						
				300	500	100	1100	1100	1100	5000	1.74	$5.5E+09$	$4.2E+08$	13.1						
interior	4300	4200	1.02	700	1300	100	3100	1500	1500	4500	1.23	$1.6E+11$	$3.8E+08$	419.5	216.3	4	96	121	90	100
				700	1300	100	3100	1500	1500	4500	1.23	$1.6E+11$	$3.8E+08$	419.5						
				300	500	100	1100	1100	1100	5000	1.74	$5.5E+09$	$4.2E+08$	13.1						
				300	500	100	1100	1100	1100	5000	1.74	$5.5E+09$	$4.2E+08$	13.1						
eksternor	3700	3700	1.00	400	700	100	1000	800	800	4000	1.34	$1.5E+10$	$3.3E+08$	46.0	49.5	13	83	104	90	100
				400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0						
				400	700	100	1000	800	800	4000	1.34	$1.5E+10$	$3.3E+08$	46.0						
				400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0						
interior	3700	3700	1.00	400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0	53.0	13	83	104	90	100
				400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0						
				400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0						
				400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0						
eksternor	4200	3700	1.14	400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0	48.5	14	92	118	90	100
				400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0						
				400	700	100	1000	800	800	4500	1.34	$1.5E+10$	$3.8E+08$	40.9						
				400	700	100	1600	1200	1200	4500	1.54	$1.8E+10$	$3.8E+08$	47.1						
interior	4200	3700	1.14	400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0	50.0	13	92	118	90	100
				400	700	100	1600	1200	1200	4000	1.54	$1.8E+10$	$3.3E+08$	53.0						
				400	700	100	1600	1200	1200	4500	1.54	$1.8E+10$	$3.8E+08$	47.1						
				400	700	100	1600	1200	1200	4500	1.54	$1.8E+10$	$3.8E+08$	47.1						

bel 4.2 Kontrol Tebal Pelat Lantai

Letak	L_n (mm)	S_o (mm)	β	b (mm)	\bar{b} (mm)	t (mm)	be_1 (mm)	be_2 (mm)	be_{pakai} (mm)	bilah (mm)	K	I_b (mm ⁴)	I_s (mm ⁴)	α	σ_m	h_{min_1} (mm)	h_{min_2} (mm)	h_{max} (mm)	h_{min_3} (mm)	tebal (mm)
Eksterior	4500	3650	1.23	400	700	120	980	880	880	4000	1.44	1.6E+10	5.8E+08	28.6	87.4	8	97	127	90	120
				700	1300	120	3060	1660	1660	4000	1.31	1.7E+11	5.8E+08	290.6						
				400	700	120	980	880	880	5000	1.44	1.6E+10	7.2E+08	22.8						
				300	500	120	1060	1260	1060	5000	1.75	5.5E+09	7.2E+08	7.6						
Interior	4300	3700	1.16	700	1300	120	3060	1660	1660	4000	1.31	1.7E+11	5.8E+08	290.6	149.1	5	94	121	90	120
				700	1300	120	3060	1660	1660	4000	1.31	1.7E+11	5.8E+08	290.6						
				300	500	120	1060	1260	1060	5000	1.75	5.5E+09	7.2E+08	7.6						
				300	500	120	1060	1260	1060	5000	1.75	5.5E+09	7.2E+08	7.6						
Eksterior	4500	4200	1.07	400	700	120	980	880	880	4500	1.44	1.6E+10	6.5E+08	25.4	74.7	10	100	127	90	120
				700	1300	120	3060	1660	1660	4500	1.31	1.7E+11	6.5E+08	258.3						
				300	500	120	1060	1260	1060	5000	1.75	5.5E+09	7.2E+08	7.6						
				300	500	120	1060	1260	1060	5000	1.75	5.5E+09	7.2E+08	7.6						
Interior	4300	4200	1.02	700	1300	120	3060	1660	1660	4500	1.31	1.7E+11	6.5E+08	258.3	133.0	6	96	121	90	120
				700	1300	120	3060	1660	1660	4500	1.31	1.7E+11	6.5E+08	258.3						
				300	500	120	1060	1260	1060	5000	1.75	5.5E+09	7.2E+08	7.6						
				300	500	120	1060	1260	1060	5000	1.75	5.5E+09	7.2E+08	7.6						
Eksterior	3700	3700	1.00	400	700	120	980	880	880	4000	1.44	1.6E+10	5.8E+08	28.6	30.8	20	83	104	90	120
				400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						
				400	700	120	980	880	880	4000	1.44	1.6E+10	5.8E+08	28.6						
				400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						

Tabel 4.3 Perhitungan Momen Pelat Atap

DL = 303 kg/m
LL = 120 kg/m
U = 555.6 kg/m

Tipe Pelat	L_y (m)	L_x (m)	β	Daerah	C	M_u (kgm)	M_u (Nmm)
A	5.00	4.00	1.25	tumpuan x	-48.0	-426.70	-4.18E+06
	5.00	4.00		lapangan x	48.0	426.70	4.18E+06
	5.00	4.00		tumpuan y	-38.0	-337.80	-3.31E+06
	5.00	4.00		lapangan y	38.0	337.80	3.31E+06
B	5.00	4.50	1.11	tumpuan x	-42.4	-477.04	-4.67E+06
	5.00	4.50		lapangan x	42.4	477.04	4.67E+06
	5.00	4.50		tumpuan y	-37.1	-417.41	-4.09E+06
	5.00	4.50		lapangan y	37.1	417.41	4.09E+06
C	4.00	4.00	1.00	tumpuan x	-36.0	-320.03	-3.14E+06
	4.00	4.00		lapangan x	36.0	320.03	3.14E+06
	4.00	4.00		tumpuan y	-36.0	-320.03	-3.14E+06
	4.00	4.00		lapangan y	36.0	320.03	3.14E+06
D	4.50	4.00	1.13	tumpuan x	-43.2	-384.03	-3.76E+06
	4.50	4.00		lapangan x	43.2	384.03	3.76E+06
	4.50	4.00		tumpuan y	-38.0	-337.80	-3.31E+06
	4.50	4.00		lapangan y	38.0	337.80	3.31E+06

Tabel 4.4 Perhitungan Momen Pelat Lantai

DL = 351 kg/m

LL = 500 kg/m

U = 1221.2 kg/m

Tipe Pelat	L _y (m)	L _x (m)	β	Daerah	C	M _u (kgm)	M _u (Nmm)
A	5.00	4.00	1.25	tumpuan x	-48.0	-937.88	-9.19E+06
	5.00	4.00		lapangan x	48.0	937.88	9.19E+06
	5.00	4.00		tumpuan y	-38.0	-742.49	-7.28E+06
	5.00	4.00		lapangan y	38.0	742.49	7.28E+06
B	5.00	4.50	1.11	tumpuan x	-42.4	-1048.52	-1.03E+07
	5.00	4.50		lapangan x	42.4	1048.52	1.03E+07
	5.00	4.50		tumpuan y	-37.1	-917.46	-8.99E+06
	5.00	4.50		lapangan y	37.1	917.46	8.99E+06
C	4.00	4.00	1.00	tumpuan x	-36.0	-703.41	-6.89E+06
	4.00	4.00		lapangan x	36.0	703.41	6.89E+06
	4.00	4.00		tumpuan y	-36.0	-703.41	-6.89E+06
	4.00	4.00		lapangan y	36.0	703.41	6.89E+06

bel 4.5 Penulangan Pelat Atap

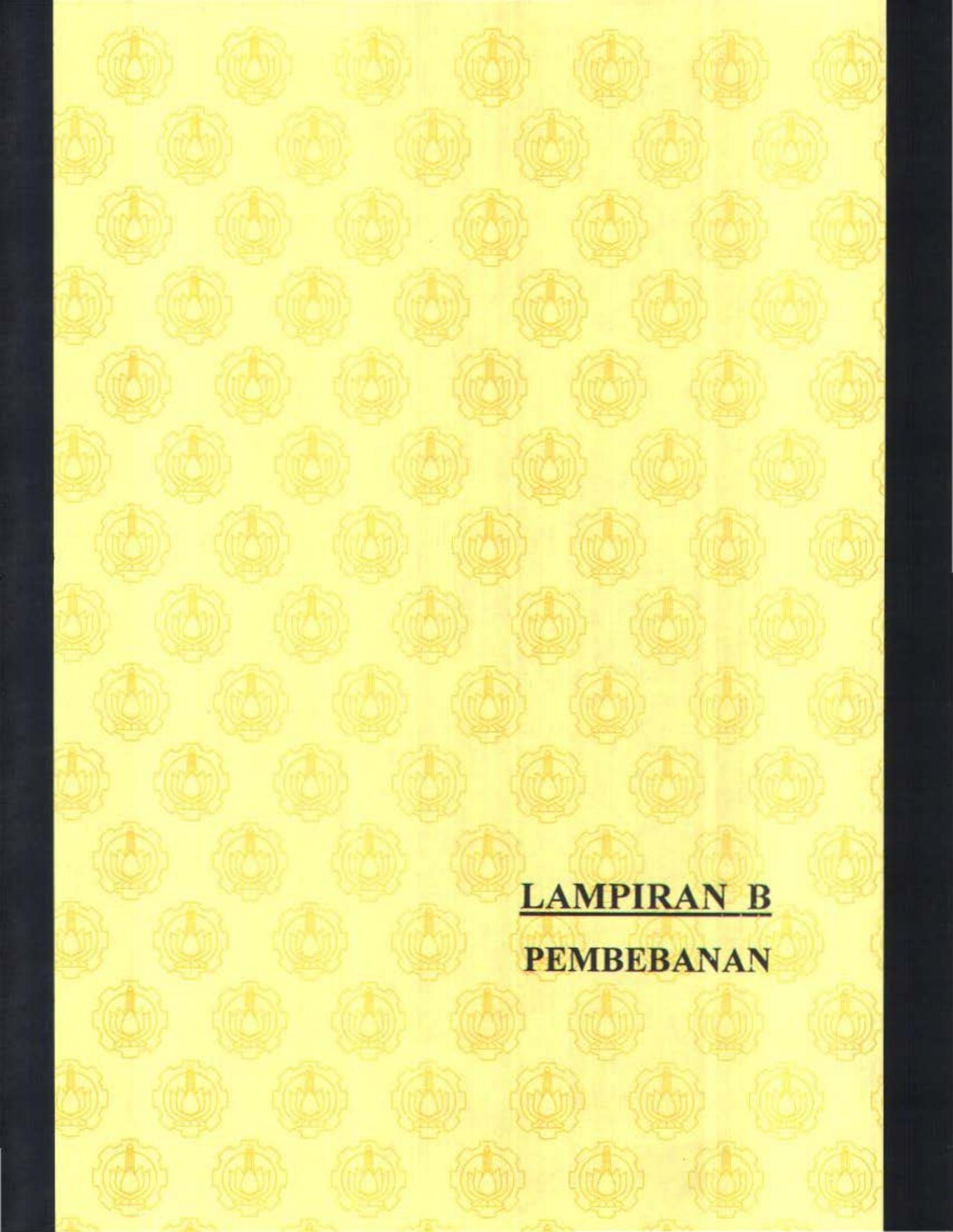
$f_c' = 30$ MPa $b = 1000$ mm
 $f_y = 320$ MPa $t = 100$ mm
 $d' = 40$ mm $dx = 55$ mm
 $\rho_{lx} = 0.033$ $dy = 45$ mm
 $\rho_{ly} = 0.004$ $m = 12.549$

pe lat	L_y (m)	L_x (m)	L_y/L_x	Daerah	M_u (Nmm)	M_n (Nmm)	R_n	ρ_{perlu}	ρ_{pakai}	As perlu (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)	As susut (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)
A	5	4	1.25	tumpuan x	-4.18E+06	-5.23E+06	-1.7280	-0.0052	-0.0052	-287.56	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				lapangan x	4.18E+06	5.23E+06	1.7280	0.0056	0.0056	307.80	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				tumpuan y	-3.31E+06	-4.14E+06	-2.0435	-0.0061	-0.0061	-276.69	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				lapangan y	3.31E+06	4.14E+06	2.0435	0.0067	0.0067	299.91	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
B	5	4.5	1.11	tumpuan x	-4.67E+06	-5.84E+06	-1.9318	-0.0058	-0.0058	-320.32	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				lapangan x	4.67E+06	5.84E+06	1.9318	0.0063	0.0063	345.66	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				tumpuan y	-4.09E+06	-5.11E+06	-2.5251	-0.0075	-0.0075	-339.06	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				lapangan y	4.09E+06	5.11E+06	2.5251	0.0083	0.0083	374.66	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
C	4	4	1.00	tumpuan x	-3.14E+06	-3.92E+06	-1.2960	-0.0040	-0.0044	-242.00	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				lapangan x	3.14E+06	3.92E+06	1.2960	0.0042	0.0044	242.00	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				tumpuan y	-3.14E+06	-3.92E+06	-1.9360	-0.0058	-0.0058	-262.63	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				lapangan y	3.14E+06	3.92E+06	1.9360	0.0063	0.0055	249.73	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
D	4.5	4	1.13	tumpuan x	-3.76E+06	-4.70E+06	-1.5552	-0.0047	-0.0047	-259.61	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				lapangan x	3.76E+06	4.70E+06	1.5552	0.0050	0.0050	275.98	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				tumpuan y	-3.31E+06	-4.14E+06	-2.0435	-0.0061	-0.0061	-276.69	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30
				lapangan y	3.31E+06	4.14E+06	2.0435	0.0067	0.0067	299.91	φ 10-200	392.70	200.00	φ 8-200	251.30

bel 4.6 Penulangan Pelat Lantai

$f_c = 30$ MPa $b = 1000$ mm
 $f_y = 320$ MPa $t = 120$ mm
 $d = 20$ mm $d_x = 95$ mm
 $m_x = 0.0333$ $d_y = 85$ mm
 $m_y = 0.0044$ $m = 12.549$

pe lat	L_y (m)	L_x (m)	L_y/L_x	Daerah	M_u (Nmm)	M_n (Nmm)	R_n	ρ_{perlu}	ρ_{pakai}	As perlu (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)	As susut (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)
A	5	4	1.25	tumpuan x	-9.19E+06	-1.15E+07	-1.2730	-0.0039	-0.0044	-418.00	ϕ 10-150	523.60	240.00	ϕ 8-200	251.30
				lapangan x	9.19E+06	1.15E+07	1.2730	0.0041	0.0044	418.00	ϕ 10-150	523.60	240.00	ϕ 8-200	251.30
				tumpuan y	-7.28E+06	-9.10E+06	-1.2589	-0.0038	-0.0044	-374.00	ϕ 10-200	392.70	240.00	ϕ 8-200	251.30
				lapangan y	7.28E+06	9.10E+06	1.2589	0.0040	0.0044	374.00	ϕ 10-200	392.70	240.00	ϕ 8-200	251.30
B	5	4.5	1.11	tumpuan x	-1.03E+07	-1.28E+07	-1.4232	-0.0043	-0.0044	-418.00	ϕ 10-150	523.60	240.00	ϕ 8-200	251.30
				lapangan x	1.03E+07	1.28E+07	1.4232	0.0046	0.0046	435.01	ϕ 10-150	523.60	240.00	ϕ 8-200	251.30
				tumpuan y	-8.99E+06	-1.12E+07	-1.5555	-0.0047	-0.0047	-401.30	ϕ 10-150	523.60	240.00	ϕ 8-200	251.30
				lapangan y	8.99E+06	1.12E+07	1.5555	0.0050	0.0050	426.63	ϕ 10-150	523.60	240.00	ϕ 8-200	251.30
C	4	4	1.00	tumpuan x	-6.89E+06	-8.62E+06	-0.9548	-0.0029	-0.0044	-418.00	ϕ 10-150	523.60	240.00	ϕ 8-200	251.30
				lapangan x	6.89E+06	8.62E+06	0.9548	0.0030	0.0044	418.00	ϕ 10-150	523.60	240.00	ϕ 8-200	251.30
				tumpuan y	-6.89E+06	-8.62E+06	-1.1926	-0.0036	-0.0044	-374.00	ϕ 10-200	392.70	240.00	ϕ 8-200	251.30
				lapangan y	6.89E+06	8.62E+06	1.1926	0.0038	0.0044	374.00	ϕ 10-200	392.70	240.00	ϕ 8-200	251.30



LAMPIRAN B
PEMBEBANAN

Perhitungan Gaya Geser Dasar Gempa dengan Analisa Statik Ekuivalen

Kriteria gedung Parkir Marina Plaza :

$$H = 24 \text{ m}$$

$$Wt = 8493084 \text{ kg}$$

Wilayah gempa : Zone 4
: tanah lunak

Waktu getar alami struktur :

$$T = 0,085H^{1/4} = 0,085 \times 24^{1/4} = 0,92 \text{ det}$$

Dari gambar 2.3 PPKGURG 1987 :

$$T = 0,92 \text{ detik} \quad \rightarrow \quad C = 0,05$$

Dari tabel 2.1 PPKGURG 1987 :

$$I = 1,0 \quad \rightarrow \text{gedung lain (perkantoran).}$$

Faktor jenis struktur :

$$K = 2,0 \quad \rightarrow \text{portal daktail beton bertulang}$$

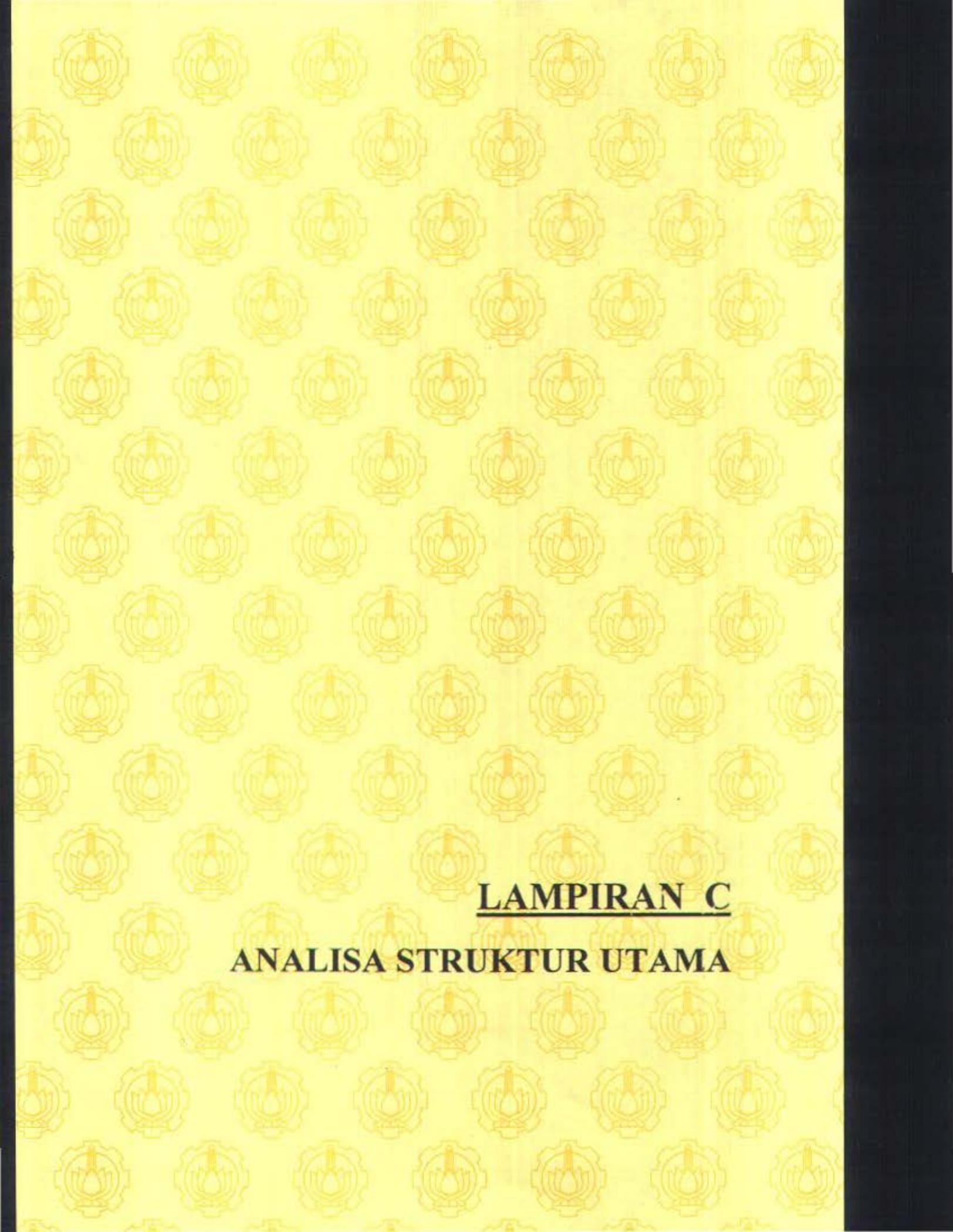
Gaya geser dasar gempa :

$$\begin{aligned} V &= C I K Wt \\ &= 0,05 \times 1,0 \times 2,0 \times 8493084 = 849308,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tabel 5. Berat Gedung

Lantai	Jenis beban	Macam Bahan	Berat (kg/m ²)	Berat Lantai	Total
atap	mati	Pelat/m ²	240	318000	1154319
		Tebal Spesi	63	83475	
		Balok Pratekan	2184	436800	
		Balok Anak	360	81000	
		Balok Induk	360	88560	
		Kolom	1176	98784	
	hidup	Beban Hidup/m ²	120	47700	
6	mati	Pelat/m ²	288	381600	1467753
		Tebal Spesi	63	83475	
		Balok Pratekan	2184	436800	
		Balok Anak	360	81000	
		Balok Induk	360	88560	
		Dinding	200	31200	
	Kolom	1176	197568		
hidup	Beban Hidup/m ²	500	198750		
5	mati	Pelat/m ²	288	381600	1467753
		Tebal Spesi	63	83475	
		Balok Pratekan	2184	436800	
		Balok Anak	360	81000	
		Balok Induk	360	88560	
		Dinding	200	31200	
	Kolom	1176	197568		
hidup	Beban Hidup/m ²	500	198750		
4	mati	Pelat/m ²	288	381600	1467753
		Tebal Spesi	63	83475	
		Balok Pratekan	2184	436800	
		Balok Anak	360	81000	
		Balok Induk	360	88560	
		Dinding	200	31200	
	Kolom	1176	197568		
hidup	Beban Hidup/m ²	500	198750		
3	mati	Pelat/m ²	288	381600	1467753
		Tebal Spesi	63	83475	
		Balok Pratekan	2184	436800	
		Balok Anak	360	81000	
		Balok Induk	360	88560	
		Dinding	200	31200	
	Kolom	1176	197568		
hidup	Beban Hidup/m ²	500	198750		
2	mati	Pelat/m ²	288	381600	1467753
		Tebal Spesi	63	83475	
		Balok Pratekan	2184	436800	
		Balok Anak	360	81000	
		Balok Induk	360	88560	
		Dinding	200	31200	
	Kolom	1176	197568		
hidup	Beban Hidup/m ²	500	198750		
Total / Wt					8493084





LAMPIRAN C

ANALISA STRUKTUR UTAMA

SPR000 v7.42 Filer: HILSON WANKER-BID Mgr-m Units PAGE 1
6/17/04 16:57:46

LOAD DISCREPANTION MULTIPLIER

COMP	TYPE	QMS	FACTOR	TYPE	SCALE
COMP06	RSL	01	1.0000	STATIC(REAL)	- + 1,000 + 1,000
		11	1.0000	STATIC(FVT)	

SPR000 v7.42 Filer: HILSON WANKER-BID Mgr-m Units PAGE 2
6/17/04 16:57:46

PARAMS ELEMENT TABLE

PARAM	TYPE	LOC	E	Q1	Q2	T	Q3	Q4
140	SL	0.00	-37408.50	-31087.48	-3.496E+03	1.007E+01	42100	-87850.58
		6.25	-37408.50	-31087.48	-3.496E+03	1.007E+01	42153	-87850.58
		12.50	-37408.50	-31087.48	-3.496E+03	1.007E+01	42206	-87850.58
		18.75	-37408.50	-31087.48	-3.496E+03	1.007E+01	42259	-87850.58
		25.00	-37408.50	-31087.48	-3.496E+03	1.007E+01	42312	-87850.58
145	COMB06	0.00	-41180.77	-30587.20	-1.199E+02	1.207E+02	47.66	-92329.41
		6.25	-41180.77	-30587.20	-1.199E+02	1.207E+02	47.74	-92329.41
		12.50	-41180.77	-30587.20	-1.199E+02	1.207E+02	47.82	-92329.41
		18.75	-41180.77	-30587.20	-1.199E+02	1.207E+02	47.89	-92329.41
		25.00	-41180.77	-30587.20	-1.199E+02	1.207E+02	47.96	-92329.41
194	SL	0.00	11068.49	-91687.49	8.548E+04	-5.673E+03	4.95	-114723.68
		6.25	11068.49	-91687.49	8.548E+04	-5.673E+03	4.96	-114723.68
		12.50	11068.49	-91687.49	8.548E+04	-5.673E+03	4.96	-114723.68
		18.75	11068.49	-91687.49	8.548E+04	-5.673E+03	4.95	-114723.68
		25.00	11068.49	-91687.49	8.548E+04	-5.673E+03	4.95	-114723.68
181	COMB06	0.00	8965.02	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.27	-106154.72
		6.25	8965.02	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.23	-106154.72
		12.50	8965.02	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.29	-106154.72
		18.75	8965.02	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.25	-106154.72
		25.00	8965.02	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.21	-106154.72
185	SL	0.00	-1479.72	-81687.49	1.039E+03	3.078E+02	3.40	-111149.78
		6.25	-1479.72	-81687.49	1.039E+03	3.078E+02	3.42	-111149.78
		12.50	-1479.72	-81687.49	1.039E+03	3.078E+02	3.41	-111149.78
		18.75	-1479.72	-81687.49	1.039E+03	3.078E+02	3.40	-111149.78
		25.00	-1479.72	-81687.49	1.039E+03	3.078E+02	3.40	-111149.78
245	COMB06	0.00	-1124.44	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.02	-133365.72
		6.25	-1124.44	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.08	-133365.72
		12.50	-1124.44	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.03	-133365.72
		18.75	-1124.44	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.09	-133365.72
		25.00	-1124.44	-87937.49	-8.653E+03	-6.537E+02	3.14	-133365.72
188	SL	0.00	373.39	-81687.49	1.928E+03	3.078E+02	5.252E+01	-111508.24
		6.25	373.39	-81687.49	1.928E+03	3.078E+02	5.132E+01	-111508.24
		12.50	373.39	-81687.49	1.928E+03	3.078E+02	5.012E+01	-111508.24
		18.75	373.39	-81687.49	1.928E+03	3.078E+02	4.892E+01	-111508.24
		25.00	373.39	-81687.49	1.928E+03	3.078E+02	4.772E+01	-111508.24
108	COMB06	0.00	376.70	-87937.49	-4.731E+03	-3.966E+02	1.11	-133612.90
		6.25	376.70	-87937.49	-4.731E+03	-3.966E+02	1.14	-133612.90
		12.50	376.70	-87937.49	-4.731E+03	-3.966E+02	1.17	-133612.90
		18.75	376.70	-87937.49	-4.731E+03	-3.966E+02	1.20	-133612.90
		25.00	376.70	-87937.49	-4.731E+03	-3.966E+02	1.23	-133612.90
248	SL	0.00	-1836.08	-81687.49	1.701E+03	1.004E+02	-9.701E+01	-111991.63
		6.25	-1836.08	-81687.49	1.701E+03	1.004E+02	-9.608E+01	-111991.63
		12.50	-1836.08	-81687.49	1.701E+03	1.004E+02	-9.514E+01	-111991.63
		18.75	-1836.08	-81687.49	1.701E+03	1.004E+02	-9.421E+01	-111991.63
		25.00	-1836.08	-81687.49	1.701E+03	1.004E+02	-9.328E+01	-111991.63

137	CIRCUIT	31.00	-42336.04	31487.20	1.7912E-03	7.0045E-02	-1.03	-111891.64
		6.00	-40847.83	-37937.48	-1.9902E-03	-1.2492E-02	-6.7428E-01	-134215.00
		6.25	-41869.83	-37772.47	-1.8902E-03	-1.2492E-02	-6.6232E-01	411591.79
		12.00	-37022.02	213670.00	-1.9902E-03	-1.2492E-02	-6.4992E-01	703694.00
		18.75	-3192.63	16762.62	-1.9902E-03	-1.2492E-02	-6.3752E-01	14159.49
25.00	-2192.63	27037.92	-1.9902E-03	-1.2492E-02	-6.2502E-01	-134215.65		
140	TL	31.00	12296.04	-35887.20	8.4032E-04	9.8392E-04	+10.33	+107620.00
		6.00	12296.04	-15704.97	8.4032E-04	9.8392E-04	-10.33	41129.00
		6.25	12296.04	-15722.30	8.4032E-04	9.8392E-04	-10.33	30426.89
		12.00	12296.04	10768.87	8.4032E-04	9.8392E-04	-10.33	41129.11
		18.75	12296.04	21487.20	8.4032E-04	9.8392E-04	-10.33	-107619.96
139	CIRCUIT	6.00	14700.77	-3.991.40	-5.5252E-04	-2.8162E-03	-12.08	-128979.06
		6.25	14700.77	-48782.47	-5.5252E-04	-2.8162E-03	-12.08	49921.00
		12.00	14700.77	2.1212E-02	-1.9202E-04	-2.8162E-03	-12.08	109130.27
		18.75	14700.77	18782.47	-5.5252E-04	-2.8162E-03	-12.08	49921.00
		25.00	14700.77	37987.20	-5.5252E-04	-2.8162E-03	-12.08	-128979.97
149	TL	31.00	-37743.74	-31087.20	2.4192E-04	9.0112E-04	-2.47	-97523.91
		6.25	-37743.74	-30477.47	2.4192E-04	9.0112E-04	-2.47	59392.07
		12.00	-37743.74	41268.04	2.4192E-04	9.0112E-04	-2.47	106772.07
		18.75	-37743.74	10771.41	2.4192E-04	9.0112E-04	-2.47	59392.07
		25.00	-37743.74	21087.20	2.4192E-04	9.0112E-04	-2.47	-87823.91
138	CIRCUIT	6.00	-41406.20	-32587.20	-5.0022E-03	-4.1152E-02	-2.81	-92099.04
		6.25	-41406.20	-16701.20	-5.0022E-03	-4.1152E-02	-2.81	60024.04
		12.00	-41406.20	213798.07	-5.0022E-03	-4.1152E-02	-2.81	110672.92
		18.75	-41406.20	16201.20	-5.0022E-03	-4.1152E-02	-2.81	60024.04
		25.00	-41406.20	32587.20	-5.0022E-03	-4.1152E-02	-2.81	-92099.89
140	TL	6.00	11718.04	-31087.20	2.6332E-04	1.9352E-02	-1.22	-123710.94
		6.25	11718.04	-15704.97	2.6332E-04	1.9352E-02	-1.22	34048.26
		12.00	11718.04	3.9108E-04	2.6332E-04	1.9352E-02	-1.22	63336.00
		18.75	11718.04	15704.97	2.6332E-04	1.9352E-02	-1.22	34048.26
		25.00	11718.04	31687.20	2.6332E-04	1.9352E-02	-1.22	-114710.80
140	CIRCUIT	6.00	9104.00	-3.991.00	-3.1082E-03	-1.0832E-02	-1.59	-126121.57
		6.25	9104.00	-15782.20	-3.1082E-03	-1.0832E-02	-1.59	42253.30
		12.00	9104.00	41222.00	-3.1082E-03	-1.0832E-02	-1.59	100987.74
		18.75	9104.00	16782.20	-3.1082E-03	-1.0832E-02	-1.59	42253.30
		25.00	9104.00	31687.20	-3.1082E-03	-1.0832E-02	-1.59	-126121.68
141	TL	6.00	-1811.00	-37887.20	-2.7182E-04	1.3252E-02	-5.1042E-01	-111067.23
		6.25	-1811.00	-15704.97	-2.7182E-04	1.3252E-02	-5.0872E-01	37691.29
		12.00	-1811.00	3.0072E-04	-2.7182E-04	1.3252E-02	-5.0702E-01	26979.34
		18.75	-1811.00	15704.97	-2.7182E-04	1.3252E-02	-5.0532E-01	37691.29
		25.00	-1811.00	31687.20	-2.7182E-04	1.3252E-02	-5.0362E-01	-111067.23
141	CIRCUIT	6.00	-4333.00	-27207.40	-3.0742E-03	2.2142E-03	-1.3662E-01	-133071.24
		6.25	-4333.00	-14782.20	-3.0742E-03	2.2142E-03	-1.2622E-01	45103.26
		12.00	-4333.00	6.4982E-03	-3.0742E-03	2.2142E-03	-1.2572E-01	103837.01
		18.75	-4333.00	14782.20	-3.0742E-03	2.2142E-03	-1.2522E-01	45103.49
		25.00	-4333.00	27207.40	-3.0742E-03	2.2142E-03	-1.2472E-01	-133071.25
142	TL	6.00	982.00	-32687.20	-2.9802E-03	1.0822E-02	-1.4142E-01	-117433.14
		6.25	982.00	-15704.97	-2.9802E-03	1.0822E-02	-1.4122E-01	37325.94
		12.00	982.00	9.3982E-04	-2.9802E-03	1.0822E-02	-1.4102E-01	88413.71
		18.75	982.00	15704.97	-2.9802E-03	1.0822E-02	-1.4082E-01	37325.94
		25.00	982.00	31687.20	-2.9802E-03	1.0822E-02	-1.4062E-01	-117433.10
142	CIRCUIT	6.00	860.00	-37887.20	-2.1582E-03	-2.1092E-02	-2.6292E-01	-133926.89
		6.25	860.00	-15792.40	-2.1582E-03	-2.1092E-02	-2.3922E-01	44848.19
		12.00	860.00	9.1982E-03	-2.1582E-03	-2.1092E-02	-2.2602E-01	103892.69
		18.75	860.00	15782.20	-2.1582E-03	-2.1092E-02	-2.1702E-01	44848.19
		25.00	860.00	31987.20	-2.1582E-03	-2.1092E-02	-2.1992E-01	-133926.90
135	TL	6.00	-3886.00	-31487.20	1.2722E-03	2.4652E-03	1.2772E-01	-117896.46
		6.25	-3886.00	-15704.97	1.2722E-03	2.4652E-03	1.2762E-01	34832.44
		12.00	-3886.00	6.1022E-04	1.2722E-03	2.4652E-03	1.2762E-01	80120.20

	16.75	+9236.83	19746.87	1.272E-03	2.465E-03	1.275E-01	36932.43
	20.00	-5236.83	37487.90	1.272E-03	2.465E-03	1.274E-01	-411976.88
170 COMMON	0.00	-4227.38	-97321.49	-5.117E-03	-9.189E-03	1.013E-01	-124237.89
	6.25	-2277.446	+18792.48	+1.170E-03	-2.789E-03	1.086E-01	44236.98
	12.50	-2277.446	9.449E+03	+1.170E-03	-2.789E-03	1.159E+01	107921.91
	18.75	+2277.446	18792.48	-1.173E-03	-1.789E-03	1.232E-01	31236.98
	25.00	+2277.446	37587.90	-1.173E-03	-1.789E-03	1.305E-01	-124238.18
170 SL	0.00	2.248E+02	-91457.50	+6.252E-03	-1.899E-03	3.777E+01	-407352.09
	6.25	2249.80	+19766.97	+6.252E-03	-1.899E-03	3.782E+01	31245.17
	12.50	2249.80	4.630E+04	+6.252E-03	-1.899E-03	3.787E+01	90232.94
	18.75	2249.80	18766.97	+6.252E-03	-1.899E-03	3.792E+01	42345.16
	25.00	2249.80	37537.90	+6.252E-03	-1.899E-03	3.797E+01	-107537.36
170 COMMON	0.00	2.479E+02	-91927.48	+4.847E-04	3.615E-03	1.200E-01	-122847.90
	6.25	2479.60	+24792.47	+4.847E-04	3.615E-03	1.205E+01	49271.41
	12.50	2479.60	8.492E+04	+4.847E-04	3.615E-03	1.210E+01	158282.74
	18.75	2479.60	18792.48	+4.847E-04	3.615E-03	1.215E+01	49271.41
	25.00	2479.60	37937.90	+4.847E-04	3.615E-03	1.220E+01	-122847.74
170 SL	0.00	+37741.40	-31287.90	6.500E-04	6.254E-03	1.278E-01	-87521.08
	6.25	+1747.46	+13477.47	6.500E-04	6.254E-03	1.283E-01	38294.88
	12.50	+37741.40	6.769E+05	6.500E-04	6.254E-03	1.287E-01	106175.78
	18.75	+37741.40	18477.47	6.500E-04	6.254E-03	1.292E-01	58394.88
	25.00	+37741.40	37247.90	6.500E-04	6.254E-03	1.297E-01	-87521.08
170 COMMON	0.00	+41303.60	-30987.90	-2.403E-03	-2.651E-02	1.825E-01	-92996.10
	6.25	+1153.62	-16301.40	-2.403E-03	-2.651E-02	1.975E-01	60227.60
	12.50	+41303.60	6.797E+04	-2.403E-03	-2.651E-02	2.126E-01	110675.60
	18.75	+41303.60	16201.40	-2.403E-03	-2.651E-02	2.276E-01	60227.60
	25.00	+41303.60	32987.90	-2.403E-03	-2.651E-02	2.426E-01	-92996.10
170 SL	0.00	11200.00	-32887.90	1.483E-03	1.483E-02	1.214E-01	-114711.42
	6.25	11200.00	+13766.97	1.483E-03	1.483E-02	1.219E-01	34047.68
	12.50	11200.00	1.333E+04	1.483E-03	1.483E-02	1.224E-01	83339.45
	18.75	11200.00	15766.97	1.483E-03	1.483E-02	1.229E-01	34047.68
	25.00	11200.00	31637.90	1.483E-03	1.483E-02	1.234E-01	-114711.42
170 COMMON	0.00	8107.14	-37307.90	-1.163E-03	-1.349E-02	1.390E-01	-158170.09
	6.25	8107.14	-18792.48	-1.163E-03	-1.349E-02	1.395E-01	42332.89
	12.50	8107.14	1.534E+05	-1.163E-03	-1.349E-02	1.400E-01	100987.27
	18.75	8107.14	3792.48	-1.163E-03	-1.349E-02	1.508E-01	42332.89
	25.00	8107.14	37307.90	-1.163E-03	-1.349E-02	1.513E-01	-158170.09
170 SL	0.00	-1202.11	-91887.90	-1.228E-03	1.228E-02	5.997E-02	-111067.12
	6.25	+2922.11	-15766.97	-1.228E-03	1.228E-02	6.012E-02	37691.88
	12.50	+1202.11	2.110E+04	-1.228E-03	1.228E-02	6.027E-02	86979.78
	18.75	+1202.11	15766.97	-1.228E-03	1.228E-02	6.188E-02	37691.88
	25.00	+1202.11	30637.90	-1.228E-03	1.228E-02	6.244E-02	-111067.12
170 COMMON	0.00	+1163.80	-37887.90	-1.300E-03	-8.320E-04	6.240E-02	-123270.98
	6.25	-7163.80	-18792.48	-1.300E-03	-8.320E-04	7.378E-02	43103.98
	12.50	+1163.80	3.389E+03	-1.300E-03	-8.320E-04	1.990E-02	102838.90
	18.75	+1163.80	18792.48	-1.300E-03	-8.320E-04	8.704E-02	43103.98
	25.00	+1163.80	37637.90	-1.300E-03	-8.320E-04	9.816E-02	-123271.28
180 SL	0.00	382.00	-91457.90	-1.231E-04	2.520E-03	2.151E-02	-111432.90
	6.25	382.00	+18766.97	-1.231E-04	2.520E-03	2.208E-02	77326.16
	12.50	382.00	2.702E+04	-1.231E-04	2.520E-03	2.285E-02	86613.90
	18.75	382.00	18766.97	-1.231E-04	2.520E-03	2.362E-02	37326.16
	25.00	382.00	37437.90	-1.231E-04	2.520E-03	2.439E-02	-111432.98
180 COMMON	0.00	388.99	-91927.48	-9.299E-04	-8.347E-03	2.192E-02	-1335267.98
	6.25	388.99	+18792.48	-9.299E-04	-8.347E-03	2.711E-02	44819.61
	12.50	388.99	3.099E+03	-9.299E-04	-8.347E-03	3.228E-02	303882.98
	18.75	388.99	18792.48	-9.299E-04	-8.347E-03	3.748E-02	44819.61
	25.00	388.99	37837.90	-9.299E-04	-8.347E-03	4.267E-02	-1335267.98
180 SL	0.00	+1297.08	-31067.90	-1.071E-04	1.699E-03	-3.339E-03	-111926.00
	6.25	+207.09	+18766.97	-1.071E-04	1.699E-03	-2.566E-03	36532.60

	22.50	-43887.09	2.397E-04	-1.071E-04	1.699E-03	-1.896E-03	96120.37
	18.75	-43887.09	1.976E-04	-1.071E-04	1.699E-03	-1.227E-03	76932.29
181 COMB	22.50	-43887.09	31657.50	-1.071E-04	1.699E-03	-8.577E-04	-111926.51
	0.00	-43887.09	-37007.50	-3.107E-04	-1.366E-03	-3.563E-03	-136137.82
	6.25	-43887.09	-19782.59	-3.107E-04	-1.366E-03	-1.204E-03	46237.14
	12.50	-43887.09	1.590E-03	-3.107E-04	-1.366E-03	1.104E-03	162971.53
	18.75	-43887.09	1.9782.60	-3.107E-04	-1.366E-03	3.462E-03	46237.14
	22.50	-43887.09	37937.50	-3.107E-04	-1.366E-03	5.610E-03	-136137.82
182 CL	0.00	12249.20	-31687.50	-9.412E-05	-1.391E-03	-1.533E-02	-107813.45
	6.25	12249.20	-19786.47	-9.412E-05	-1.391E-03	-1.477E-02	11245.66
	12.50	12249.20	2.8737E+04	-9.412E-05	-1.391E-03	-1.412E-02	96533.43
	18.75	12249.20	19786.47	-9.412E-05	-1.391E-03	-1.353E-02	11245.66
	22.50	12249.20	31687.50	-9.412E-05	-1.391E-03	-1.297E-02	-107813.45
183 COMB	0.00	14794.81	-37937.50	-1.177E-04	3.092E-03	-1.693E-02	-128647.01
	6.25	14794.81	-19782.59	-1.177E-04	3.092E-03	-1.601E-02	49527.86
	12.50	14794.81	1.390E+03	-1.177E-04	3.092E-03	-1.508E-02	102262.33
	18.75	14794.81	1.9782.60	-1.177E-04	3.092E-03	-1.417E-02	49527.86
	22.50	14794.81	37937.50	-1.177E-04	3.092E-03	-1.325E-02	-128647.01
187 CL	0.00	-37741.84	-32087.50	7.181E-04	6.701E-03	-9.630E-03	-87821.06
	6.25	-37741.84	-19477.27	7.181E-04	6.701E-03	-1.030E-02	38394.91
	12.50	-37741.84	1.310E+05	7.181E-04	6.701E-03	-1.477E-02	106775.97
	18.75	-37741.84	19477.27	7.181E-04	6.701E-03	-1.324E-02	38394.91
	22.50	-37741.84	32087.50	7.181E-04	6.701E-03	-2.921E-02	-87821.06
189 COMB	0.00	-41433.90	-32887.50	-1.394E-03	-2.081E-02	-3.308E-02	-92996.16
	6.25	-41433.90	-16201.00	-1.394E-03	-2.081E-02	-2.637E-02	60027.63
	12.50	-41433.90	2.148E+04	-1.394E-03	-2.081E-02	-1.766E-02	112675.72
	18.75	-41433.90	16201.00	-1.394E-03	-2.081E-02	-8.940E-03	60027.63
	22.50	-41433.90	32887.50	-1.394E-03	-2.081E-02	-2.325E-02	-92996.16
184 CL	0.00	11310.23	-31687.50	4.516E-04	1.331E-02	-5.434E-03	-114711.42
	6.25	11310.23	-19786.47	4.516E-04	1.331E-02	-8.258E-03	34047.69
	12.50	11310.23	1.110E+05	4.516E-04	1.331E-02	-1.106E-02	87538.48
	18.75	11310.23	1.9786.47	4.516E-04	1.331E-02	-1.391E-02	34047.69
	22.50	11310.23	31687.50	4.516E-04	1.331E-02	-1.673E-02	-114711.42
184 COMB	0.00	9107.00	-31987.50	-4.699E-04	-1.326E-02	-1.967E-02	-136122.10
	6.25	9107.00	-19782.59	-4.699E-04	-1.326E-02	-1.667E-02	42762.08
	12.50	9107.00	6.181E-04	-4.699E-04	-1.326E-02	-1.385E-02	100987.27
	18.75	9107.00	1.9782.59	-4.699E-04	-1.326E-02	-1.093E-02	42762.08
	22.50	9107.00	31987.50	-4.699E-04	-1.326E-02	-7.424E-03	-136122.10
197 CL	0.00	-4312.18	-31687.50	0.00	1.133E-02	-6.761E-03	-111067.12
	6.25	-4312.18	-19786.47	0.00	1.133E-02	-6.733E-03	37691.09
	12.50	-4312.18	1.390E+03	0.00	1.133E-02	-6.749E-03	96979.76
	18.75	-4312.18	1.9786.47	0.00	1.133E-02	-6.743E-03	37691.09
	22.50	-4312.18	31687.50	0.00	1.133E-02	-6.737E-03	-111067.12
188 COMB	0.00	-1183.99	-37937.50	-5.133E-04	-3.412E-03	-1.489E-02	-133271.81
	6.25	-1183.99	-19782.59	-5.133E-04	-3.412E-03	-2.173E-02	45163.97
	12.50	-1183.99	1.310E+05	-5.133E-04	-3.412E-03	-8.311E-03	103628.36
	18.75	-1183.99	1.9782.59	-5.133E-04	-3.412E-03	-5.303E-03	45163.97
	22.50	-1183.99	37937.50	-5.133E-04	-3.412E-03	-2.094E-03	-133271.81
196 CL	0.00	362.18	-31687.50	-6.620E-05	3.635E-03	-4.312E-03	-111432.90
	6.25	362.18	-19786.47	-6.620E-05	3.635E-03	-3.773E-03	37326.18
	12.50	362.18	1.390E+05	-6.620E-05	3.635E-03	-3.234E-03	86613.96
	18.75	362.18	1.9786.47	-6.620E-05	3.635E-03	-2.696E-03	37326.18
	22.50	362.18	31687.50	-6.620E-05	3.635E-03	-2.157E-03	-111432.90
186 COMB	0.00	305.37	-37937.50	-2.786E-04	-6.619E-03	-1.763E-03	-135526.38
	6.25	305.37	-19782.59	-2.786E-04	-6.619E-03	-6.021E-03	46548.63
	12.50	305.37	1.121E+03	-2.786E-04	-6.619E-03	-4.280E-03	103982.85
	18.75	305.37	1.9782.59	-2.786E-04	-6.619E-03	-2.539E-03	46548.63
	22.50	305.37	37937.50	-2.786E-04	-6.619E-03	-7.969E-04	-135526.38
197 CL	0.00	-1887.08	-31687.50	-9.074E-05	-1.583E-03	-1.869E-03	-111926.50

	6.25	-16971.00	-12746.97	-9.074E-05	1.383E-03	-1.428E-03	36082.60
	12.50	-14957.00	120788.04	-9.074E-05	1.383E-03	-8.613E-04	86120.37
	18.75	-12577.26	127466.97	-9.074E-05	1.383E-03	-2.930E-04	34832.60
	25.00	-10977.00	274617.26	-9.074E-05	1.383E-03	2.732E-04	-111926.51
187	control						
	0.00	-42217.79	-37037.50	-4.293E-05	-1.974E-03	-1.868E-03	-138137.89
	6.25	-42217.79	-16792.59	-4.293E-05	-1.974E-03	-1.601E-03	44257.12
	12.50	-42217.79	1.436E-05	-4.293E-05	-1.974E-03	-1.335E-03	122971.10
	18.75	-42217.79	16792.59	-4.293E-05	-1.974E-03	-1.064E-03	44237.11
	25.00	-42217.79	37037.50	-4.293E-05	-1.974E-03	-7.959E-04	-134137.89
188	oil						
	0.00	22749.23	-31867.50	-1.917E-04	-1.196E-03	-6.493E-04	-107823.45
	6.25	22749.23	-17766.97	-1.917E-04	-1.196E-03	-2.085E-04	47345.68
	12.50	22749.23	1.040E-04	-1.917E-04	-1.196E-03	2.528E-04	90339.88
	18.75	22749.23	17766.97	-1.917E-04	-1.196E-03	7.156E-04	47345.68
	25.00	22749.23	31867.50	-1.917E-04	-1.196E-03	1.175E-03	-107823.45
189	control						
	0.00	14798.88	-37991.50	0.00	2.623E-03	1.455E-04	-128847.09
	6.25	14798.88	-16792.59	0.00	1.623E-03	1.450E-04	49927.96
	12.50	14798.88	1.072E-03	0.00	2.623E-03	1.450E-04	108262.93
	18.75	14798.88	16792.59	0.00	2.623E-03	1.378E-04	49927.96
	25.00	14798.88	37991.50	0.00	2.623E-03	1.350E-04	-128847.09
189	oil						
	0.00	-87741.84	-31007.50	7.189E-04	6.914E-03	2.315E-02	-87821.06
	6.25	-87741.84	-169171.47	7.189E-04	6.914E-03	1.866E-02	58394.01
	12.50	-87741.84	-1.113E-06	7.189E-04	6.914E-03	1.417E-02	106776.01
	18.75	-87741.84	169171.47	7.189E-04	6.914E-03	9.672E-03	58394.01
	25.00	-87741.84	31007.50	7.189E-04	6.914E-03	5.170E-03	-87821.06
189	control						
	0.00	-41403.90	-92887.50	-9.201E-04	-1.671E-02	9.114E-03	-90996.16
	6.25	-41403.90	-10201.25	-9.201E-04	-1.671E-02	1.086E-02	60027.03
	12.50	-41403.90	1.603E-04	-9.201E-04	-1.671E-02	1.662E-02	110675.12
	18.75	-41403.90	10201.25	-9.201E-04	-1.671E-02	2.237E-02	60027.03
	25.00	-41403.90	92887.50	-9.201E-04	-1.671E-02	2.812E-02	-90996.16
190	oil						
	0.00	11220.23	-4487.50	4.456E-04	1.226E-02	1.813E-02	-114711.40
	6.25	11220.23	-19766.97	4.456E-04	1.226E-02	1.334E-02	34047.68
	12.50	11220.23	0.00	4.456E-04	1.226E-02	1.058E-02	83335.40
	18.75	11220.23	19766.97	4.456E-04	1.226E-02	7.775E-03	34047.68
	25.00	11220.23	4487.50	4.456E-04	1.226E-02	4.990E-03	-114711.40
190	control						
	0.00	9107.01	-37037.50	-1.093E-04	-1.309E-02	1.001E-02	-134132.19
	6.25	9107.01	-16792.59	-1.093E-04	-1.309E-02	7.332E-03	42052.58
	12.50	9107.01	1.600E-04	-1.093E-04	-1.309E-02	1.263E-02	100997.17
	18.75	9107.01	16792.59	-1.093E-04	-1.309E-02	1.393E-02	42052.58
	25.00	9107.01	37037.50	-1.093E-04	-1.309E-02	1.304E-02	-134132.19
191	oil						
	0.00	-1312.14	-31867.50	6.164E-05	1.064E-02	7.189E-03	-111067.12
	6.25	-1312.14	-13766.97	6.164E-05	1.064E-02	6.204E-03	27891.96
	12.50	-1312.14	6.307E-06	6.164E-05	1.064E-02	6.479E-03	85979.78
	18.75	-1312.14	13766.97	6.164E-05	1.064E-02	6.033E-03	27891.96
	25.00	-1312.14	31867.50	6.164E-05	1.064E-02	5.648E-03	-111067.12
191	control						
	0.00	-1183.99	-37991.50	-1.472E-04	-5.100E-03	6.095E-03	-139271.23
	6.25	-1183.99	-16792.59	-1.472E-04	-5.100E-03	6.955E-03	45103.97
	12.50	-1183.99	1.598E-06	-1.472E-04	-5.100E-03	7.376E-03	103838.34
	18.75	-1183.99	16792.59	-1.472E-04	-5.100E-03	6.790E-03	45103.97
	25.00	-1183.99	37991.50	-1.472E-04	-5.100E-03	9.716E-03	-139271.23
192	oil						
	0.00	862.19	-31867.50	-6.304E-05	4.304E-03	2.310E-03	-111430.90
	6.25	862.19	-16786.97	-6.304E-05	4.304E-03	2.709E-03	37326.18
	12.50	862.19	1.782E-05	-6.304E-05	4.304E-03	3.709E-03	86613.95
	18.75	862.19	16786.97	-6.304E-05	4.304E-03	3.509E-03	37326.18
	25.00	862.19	31671.95	-6.304E-05	4.304E-03	3.905E-03	-111430.90
192	control						
	0.00	862.19	-37991.50	-1.818E-05	-5.652E-03	3.741E-03	-133536.38
	6.25	862.19	-16786.97	-1.818E-05	-5.652E-03	3.955E-03	24048.60
	12.50	862.19	1.280E-04	-1.818E-05	-5.652E-03	3.968E-03	102882.99
	18.75	862.19	16786.97	-1.818E-05	-5.652E-03	4.062E-03	24048.60
	25.00	862.19	37991.50	-1.818E-05	-5.652E-03	4.196E-03	-133536.38
193	oil						

	0.00	-41887.88	-31687.50	-8.100E-05	1.275E-03	-1.473E-04	-311926.51
	6.25	-41887.88	-31766.97	-8.100E-05	1.275E-03	3.980E-04	36932.66
	12.50	-41887.88	-31846.44	-8.100E-05	1.275E-03	8.460E-04	86120.34
	18.75	-41887.88	-31925.91	-8.100E-05	1.275E-03	1.371E-03	136321.60
	25.00	-41887.88	-32005.38	-8.100E-05	1.275E-03	1.870E-03	186522.86
193	0.00	-41887.88	-32084.85	1.080E-04	-1.643E-03	2.556E-03	-124157.86
	6.25	-41887.88	-32164.32	1.080E-04	-1.643E-03	1.900E-03	-18237.12
	12.50	-41887.88	-32243.79	1.080E-04	-1.643E-03	1.244E-03	102971.50
	18.75	-41887.88	-32323.26	1.080E-04	-1.643E-03	5.890E-04	44237.11
	25.00	-41887.88	-32402.73	1.080E-04	-1.643E-03	-6.788E-04	-134137.68
194	0.00	12348.23	-31687.50	-0.780E-00	-1.047E+03	-8.391E-04	-107910.45
	6.25	12348.23	-31766.97	-0.780E-00	-1.047E+03	-5.798E-04	-41245.66
	12.50	12348.23	-31846.44	-0.780E-00	-1.047E+03	-3.185E-04	80533.42
	18.75	12348.23	-31925.91	-0.780E-00	-1.047E+03	1.418E-04	41245.66
	25.00	12348.23	-32005.38	-0.780E-00	-1.047E+03	9.021E-04	-107910.45
194	0.00	14798.68	-32084.85	6.555E-05	2.261E-03	6.301E-04	-122847.04
	6.25	14798.68	-32164.32	6.555E-05	2.261E-03	2.685E-04	-49227.29
	12.50	14798.68	-32243.79	6.555E-05	2.261E-03	-1.430E-04	108262.23
	18.75	14798.68	-32323.26	6.555E-05	2.261E-03	-5.846E-04	49227.29
	25.00	14798.68	-32402.73	6.555E-05	2.261E-03	-9.661E-04	-122847.04
195	0.00	-37741.61	-31687.50	7.013E-04	6.936E-03	-1.430E-01	-87821.09
	6.25	-37741.61	-31766.97	7.013E-04	6.936E-03	-1.074E-01	-38394.89
	12.50	-37741.61	-31846.44	7.013E-04	6.936E-03	-1.718E-01	100775.79
	18.75	-37741.61	-31925.91	7.013E-04	6.936E-03	-1.761E-01	50394.89
	25.00	-37741.61	-32005.38	7.013E-04	6.936E-03	-1.308E-01	-87821.09
195	0.00	-41483.64	-32084.85	-5.257E-04	-1.409E-02	2.056E-01	-92996.19
	6.25	-41483.64	-32164.32	-5.257E-04	-1.409E-02	-2.023E-01	-60027.60
	12.50	-41483.64	-32243.79	-5.257E-04	-1.409E-02	-1.990E-01	110675.69
	18.75	-41483.64	-32323.26	-5.257E-04	-1.409E-02	-1.958E-01	60027.60
	25.00	-41483.64	-32402.73	-5.257E-04	-1.409E-02	-1.925E-01	-92996.19
196	0.00	11220.33	-31687.50	4.273E-04	1.135E-02	-1.036E-01	-114711.42
	6.25	11220.33	-31766.97	4.273E-04	1.135E-02	-1.063E-01	-31647.67
	12.50	11220.33	-31846.44	4.273E-04	1.135E-02	-1.089E-01	83335.40
	18.75	11220.33	-31925.91	4.273E-04	1.135E-02	-1.116E-01	34047.69
	25.00	11220.33	-32005.38	4.273E-04	1.135E-02	-1.143E-01	-114711.42
196	0.00	9107.12	-32084.85	6.461E-05	-1.301E-02	-1.302E-01	-130612.10
	6.25	9107.12	-32164.32	6.461E-05	-1.301E-02	-1.306E-01	-42262.50
	12.50	9107.12	-32243.79	6.461E-05	-1.301E-02	-1.310E-01	100991.27
	18.75	9107.12	-32323.26	6.461E-05	-1.301E-02	-1.314E-01	42262.50
	25.00	9107.12	-32402.73	6.461E-05	-1.301E-02	-1.318E-01	-130612.10
197	0.00	-3107.11	-31687.50	8.948E-05	1.014E-02	-5.370E-02	-111367.12
	6.25	-3107.11	-31766.97	8.948E-05	1.014E-02	-5.626E-02	-37692.98
	12.50	-3107.11	-31846.44	8.948E-05	1.014E-02	-5.682E-02	60979.79
	18.75	-3107.11	-31925.91	8.948E-05	1.014E-02	-5.738E-02	37692.98
	25.00	-3107.11	-32005.38	8.948E-05	1.014E-02	-5.794E-02	-111367.12
197	0.00	-1183.97	-32084.85	1.551E-04	-6.170E-03	-6.903E-02	-133271.02
	6.25	-1183.97	-32164.32	1.551E-04	-6.170E-03	-7.002E-02	-45103.97
	12.50	-1183.97	-32243.79	1.551E-04	-6.170E-03	-7.092E-02	109938.38
	18.75	-1183.97	-32323.26	1.551E-04	-6.170E-03	-7.184E-02	45103.97
	25.00	-1183.97	-32402.73	1.551E-04	-6.170E-03	-7.281E-02	-133271.02
198	0.00	382.20	-31687.50	-8.850E-05	4.711E-03	-2.268E-02	-111432.92
	6.25	382.20	-31766.97	-8.850E-05	4.711E-03	-2.254E-02	-37326.13
	12.50	382.20	-31846.44	-8.850E-05	4.711E-03	-2.200E-02	86613.95
	18.75	382.20	-31925.91	-8.850E-05	4.711E-03	-2.165E-02	37326.13
	25.00	382.20	-32005.38	-8.850E-05	4.711E-03	-2.130E-02	-111432.92
198	0.00	381.39	-32084.85	2.043E-04	-5.176E-03	-2.686E-02	-133556.49
	6.25	381.39	-32164.32	2.043E-04	-5.176E-03	-2.814E-02	-44648.60
	12.50	381.39	-32243.79	2.043E-04	-5.176E-03	-2.942E-02	103882.98
	18.75	381.39	-32323.26	2.043E-04	-5.176E-03	-3.069E-02	44648.60
	25.00	381.39	-32402.73	2.043E-04	-5.176E-03	-3.197E-02	-133556.49

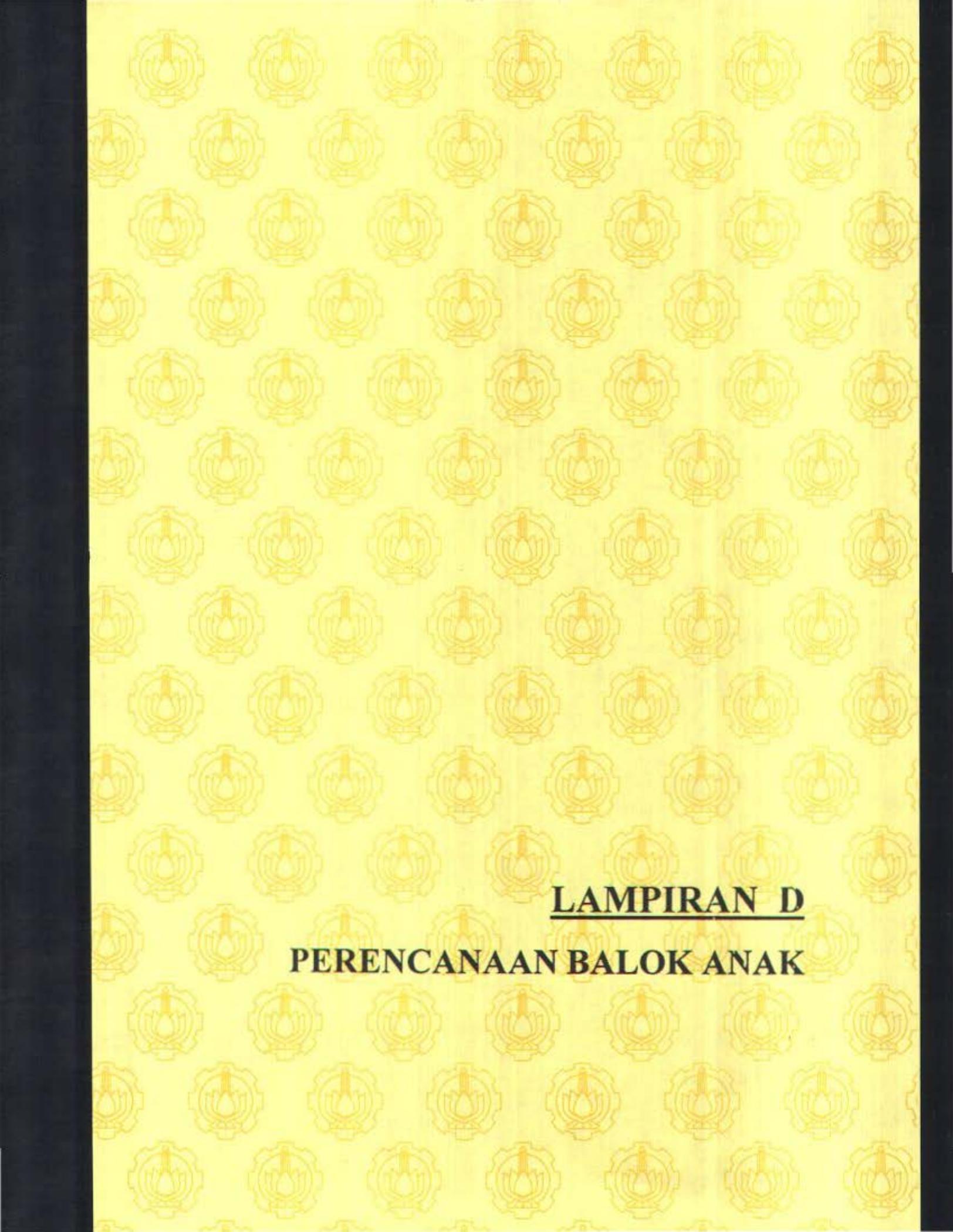
135	13	0,00	+5887,09	-31687,00	-1,968E-03	1,266E-03	1,331E-03	-11,092E-01
		6,25	-1857,00	-10,466,97	+7,968E-03	1,066E-03	5,111E-04	26632,69
		12,50	+1887,09	+2,734E+08	-7,968E-03	1,266E-03	1,009E-03	86120,37
		18,75	-5887,09	10766,97	+1,968E-03	1,266E-03	1,307E-03	36832,39
		25,00	+5887,09	81687,00	-1,968E-03	1,266E-03	2,008E-03	-11,092E-01
144	0,00000	0,00	+2217,72	+37307,20	2,314E-04	-3,694E-03	1,689E-03	-234137,88
		6,25	-2217,72	-37307,20	-2,314E-04	-3,694E-03	2,403E-04	44237,12
		12,50	+2217,72	37307,20	2,314E-04	-3,694E-03	-1,209E-03	102871,80
		18,75	-2217,72	-37307,20	-2,314E-04	-3,694E-03	+2,851E-03	44237,12
		25,00	+2217,72	37307,20	2,314E-04	-3,694E-03	-1,097E-03	-234137,88
148	0,00	0,00	10349,20	-31687,00	+5,304E-03	-9,306E-04	1,259E-03	+307513,83
		6,25	10349,20	-45786,97	-5,304E-03	-9,306E-04	1,289E-03	41285,69
		12,50	10349,20	+1,300E+05	-5,304E-03	-9,306E-04	1,320E-03	30933,43
		18,75	10349,20	15786,97	+5,304E-03	+9,306E-04	1,351E-03	41285,69
		25,00	10349,20	81687,00	-5,304E-03	-9,306E-04	1,382E-03	+307513,83
149	0,00000	0,00	14798,81	-37307,20	1,211E-04	2,007E-03	1,399E-03	-528847,65
		6,25	14798,81	-45786,97	-1,211E-04	-2,007E-03	1,558E-03	49673,80
		12,50	14798,81	1,100E+05	1,211E-04	2,007E-03	1,642E-03	108262,39
		18,75	14798,81	15786,97	-1,211E-04	-2,007E-03	1,766E-03	49673,80
		25,00	14798,81	37307,20	1,211E-04	2,007E-03	1,291E-03	-528847,65
200	0,00	0,00	+37743,64	-31027,00	6,641E+04	6,907E+03	2,38	-87903,94
		6,25	+37743,64	-15477,47	6,641E+04	6,907E+03	2,38	58992,04
		12,50	+37743,64	+3,409E+05	6,641E+04	6,907E+03	2,37	106772,04
		18,75	+37743,64	18477,47	6,641E+04	6,907E+03	2,37	58992,04
		25,00	+37743,64	31027,00	6,641E+04	6,907E+03	2,37	-87903,94
201	0,00000	0,00	-41406,04	+22807,20	2,902E-04	-1,357E-02	2,72	-92898,99
		6,25	-41406,04	-16801,60	2,902E-04	-1,357E-02	2,72	60024,60
		12,50	-41406,04	6,156E+04	2,902E-04	-1,357E-02	2,71	110672,88
		18,75	-41406,04	16801,60	2,902E-04	-1,357E-02	2,71	60024,60
		25,00	-41406,04	22807,20	2,902E-04	-1,357E-02	2,71	-92898,99
202	0,00	0,00	11218,20	-31487,00	3,932E-04	1,082E-02	1,12	-114710,84
		6,25	11218,20	-45786,97	3,932E-04	1,082E-02	1,12	34058,20
		12,50	11218,20	-2,311E+05	3,932E-04	1,082E-02	1,12	83936,09
		18,75	11218,20	15786,97	3,932E-04	1,082E-02	1,12	34058,20
		25,00	11218,20	31487,00	3,932E-04	1,082E-02	1,12	-114710,84
203	0,00000	0,00	8104,73	-37307,20	1,064E-04	-1,323E-02	1,40	-136121,64
		6,25	8104,73	-45786,97	1,064E-04	-1,323E-02	1,39	42253,37
		12,50	8104,73	1,318E+05	1,064E-04	-1,323E-02	1,39	100967,75
		18,75	8104,73	15786,97	1,064E-04	-1,323E-02	1,39	42253,37
		25,00	8104,73	37307,20	1,064E-04	-1,323E-02	1,39	-136121,64
204	0,00	0,00	+5887,09	-31687,00	1,890E+03	9,788E-03	4,602E-01	-311067,35
		6,25	+5887,09	-45786,97	1,890E+03	9,788E-03	1,616E-01	37691,36
		12,50	+5887,09	-1,300E+05	1,890E+03	9,788E-03	1,616E-01	80978,33
		18,75	+5887,09	10766,97	1,890E+03	9,788E-03	4,602E-01	37691,36
		25,00	+5887,09	31687,00	1,890E+03	9,788E-03	4,602E-01	-311067,35
205	0,00000	0,00	-5185,90	-37307,20	6,584E-04	-6,808E-03	6,322E-01	-373271,85
		6,25	-5185,90	-45786,97	6,584E-04	-6,808E-03	6,091E-01	45103,82
		12,50	-5185,90	1,340E+05	6,584E-04	-6,808E-03	6,048E-01	103237,80
		18,75	-5185,90	15786,97	6,584E-04	-6,808E-03	6,000E-01	45103,82
		25,00	-5185,90	37307,20	6,584E-04	-6,808E-03	5,967E-01	-373271,85
206	0,00	0,00	382,09	-31687,00	+4,157E-03	4,952E-03	1,436E-01	-112403,27
		6,25	382,09	-45786,97	-4,157E-03	4,952E-03	1,240E-01	8725,99
		12,50	382,09	-9,433E+05	-4,157E-03	4,952E-03	1,244E-01	86413,71
		18,75	382,09	10766,97	+4,157E-03	4,952E-03	1,448E-01	37325,93
		25,00	382,09	31687,00	+4,157E-03	4,952E-03	1,452E-01	-112403,27
207	0,00000	0,00	382,09	+37307,20	5,203E-04	+4,884E-03	2,180E-01	-339526,67
		6,25	382,09	-16801,60	5,203E-04	+4,884E-03	2,157E-01	44840,31
		12,50	382,09	6,300E+03	5,203E-04	+4,884E-03	2,124E-01	16382,69
		18,75	382,09	16801,60	5,203E-04	+4,884E-03	2,091E-01	44840,31
		25,00	382,09	37307,20	5,203E-04	+4,884E-03	2,058E-01	-339526,67



MILIK PERPUSTAKAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI
 SEPULUH - NOPEMBER

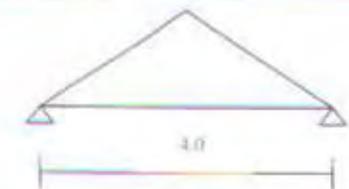
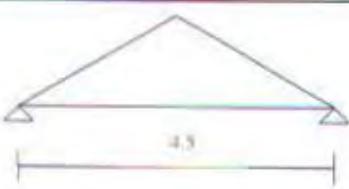
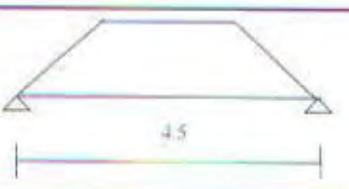
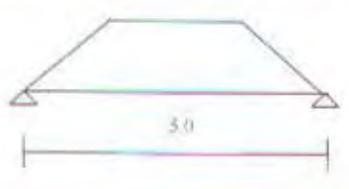
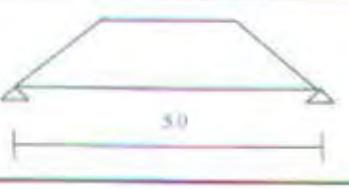
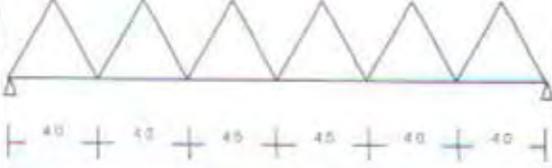
	20.00	377.73	-37037.85	8.528e-04	-7.601E-03	-1.39	-133613.93
223	21						
	0.00	+1633.07	+31697.50	-9.137E-04	1.522E-03	0.096E-01	-111991.81
	6.25	+1938.22	+15766.97	-9.107E-04	1.322E-03	5.092E-01	36767.29
	12.50	+1838.22	-2.733E+04	-9.137E-04	1.322E-03	5.098E-01	86055.07
	18.75	+1838.22	15766.97	-9.137E-04	1.322E-03	5.104E-01	36767.29
	25.00	+1633.07	31697.50	-9.137E-04	1.322E-03	5.109E-01	-111991.80
223	22						
	0.00	+2191.60	+37937.49	0.668E-04	-3.533E-03	0.912E-01	+134219.81
	6.25	+2191.60	+16792.59	0.668E-04	-3.533E-03	0.898E-01	44159.14
	12.50	+2191.60	6.067E+03	0.668E-04	-3.533E-03	0.879E-01	102893.90
	18.75	+2191.60	31697.49	0.668E-04	-3.533E-03	0.862E-01	44159.14
	25.00	+2191.60	37937.49	0.668E-04	-3.533E-03	0.842E-01	+134219.80
224	23						
	0.00	12296.57	-51687.50	-4.785E-05	-7.046E-04	10.04	-107020.09
	6.25	12296.57	+5766.97	-4.785E-05	-7.046E-04	10.04	43339.03
	12.50	12296.57	-1.469E+04	-4.785E-05	-7.046E-04	10.04	90476.79
	18.75	12296.57	15766.97	-4.785E-05	-7.046E-04	10.04	43339.03
	25.00	12296.57	51687.50	-4.785E-05	-7.046E-04	10.04	-107020.08
224	24						
	0.00	14786.16	-37937.50	1.385E-05	7.872E-04	11.77	-126974.79
	6.25	14786.16	-16792.59	1.385E-05	7.872E-04	11.77	49402.31
	12.50	14786.16	6.067E+03	1.385E-05	7.872E-04	11.77	100124.73
	18.75	14786.16	31697.50	1.385E-05	7.872E-04	11.77	49402.31
	25.00	14786.16	37937.50	1.385E-05	7.872E-04	11.77	-126974.79

217	0.00	+1898.84	+31607.80	+8.644E-05	1.291E-03	-1.047E-01	+121706.69
	6.25	+1898.84	+31706.97	+8.644E-05	1.291E-03	-1.047E-01	36803.40
	12.50	+1898.84	+31806.04	+8.644E-05	1.291E-03	-1.047E-01	80333.60
	18.75	+1898.84	+31905.11	+8.644E-05	1.291E-03	-1.047E-01	123863.80
	25.00	+1898.84	+32004.18	+8.644E-05	1.291E-03	-1.047E-01	167394.00
218	0.00	+2217.53	+37937.50	4.018E-04	-1.590E-03	+6.966E-02	+134185.00
	6.25	+2217.53	+38036.57	4.018E-04	-1.590E-03	+6.966E-02	44250.64
	12.50	+2217.53	+38135.64	4.018E-04	-1.590E-03	+6.966E-02	103871.28
	18.75	+2217.53	+38234.71	4.018E-04	-1.590E-03	+6.966E-02	165241.92
	25.00	+2217.53	+38333.78	4.018E-04	-1.590E-03	+6.966E-02	226612.56
219	0.00	12349.89	+31687.00	+4.899E-05	-6.463E-04	-3.603E-02	+107813.04
	6.25	12349.89	+31786.07	+4.899E-05	-6.463E-04	-3.603E-02	31288.18
	12.50	12349.89	+31885.14	+4.899E-05	-6.463E-04	-3.603E-02	61795.32
	18.75	12349.89	+31984.21	+4.899E-05	-6.463E-04	-3.603E-02	92302.46
	25.00	12349.89	+32083.28	+4.899E-05	-6.463E-04	-3.603E-02	122809.60
220	0.00	14799.62	+37937.50	1.901E-04	1.870E-03	+4.101E-01	+128817.60
	6.25	14799.62	+38036.57	1.901E-04	1.870E-03	+4.101E-01	49527.17
	12.50	14799.62	+38135.64	1.901E-04	1.870E-03	+4.101E-01	109242.73
	18.75	14799.62	+38234.71	1.901E-04	1.870E-03	+4.101E-01	169258.29
	25.00	14799.62	+38333.78	1.901E-04	1.870E-03	+4.101E-01	229273.85
221	0.00	+37485.45	+31087.80	6.063E-04	6.863E-03	-41.57	+87306.92
	6.25	+37485.45	+31186.87	6.063E-04	6.863E-03	-41.57	26037.08
	12.50	+37485.45	+31285.94	6.063E-04	6.863E-03	-41.57	64343.14
	18.75	+37485.45	+31385.01	6.063E-04	6.863E-03	-41.57	102649.20
	25.00	+37485.45	+31484.08	6.063E-04	6.863E-03	-41.57	140955.26
222	0.00	+41180.98	+32087.49	4.650E-03	-2.253E-02	+46.18	+93333.91
	6.25	+41180.98	+32186.56	4.650E-03	-2.253E-02	+46.18	24695.08
	12.50	+41180.98	+32285.63	4.650E-03	-2.253E-02	+46.18	63001.14
	18.75	+41180.98	+32384.70	4.650E-03	-2.253E-02	+46.18	101307.20
	25.00	+41180.98	+32483.77	4.650E-03	-2.253E-02	+46.18	139613.26
223	0.00	11061.70	+31687.80	3.472E-04	1.051E-02	+3.39	+114703.00
	6.25	11061.70	+31786.87	3.472E-04	1.051E-02	+3.39	34021.96
	12.50	11061.70	+31885.94	3.472E-04	1.051E-02	+3.39	67043.92
	18.75	11061.70	+31985.01	3.472E-04	1.051E-02	+3.39	100065.88
	25.00	11061.70	+32084.08	3.472E-04	1.051E-02	+3.39	133087.84
224	0.00	9959.36	+37937.49	2.582E-03	-1.643E-02	+6.78	+136154.28
	6.25	9959.36	+38036.56	2.582E-03	-1.643E-02	+6.78	42210.71
	12.50	9959.36	+38135.63	2.582E-03	-1.643E-02	+6.78	100056.60
	18.75	9959.36	+38234.70	2.582E-03	-1.643E-02	+6.78	177912.49
	25.00	9959.36	+38333.77	2.582E-03	-1.643E-02	+6.78	255768.38
225	0.00	+2479.49	+31687.80	7.291E-05	9.554E-03	+2.94	+111119.91
	6.25	+2479.49	+31786.87	7.291E-05	9.554E-03	+2.94	31609.00
	12.50	+2479.49	+31885.94	7.291E-05	9.554E-03	+2.94	62108.00
	18.75	+2479.49	+31985.01	7.291E-05	9.554E-03	+2.94	92607.00
	25.00	+2479.49	+32084.08	7.291E-05	9.554E-03	+2.94	123106.00
226	0.00	+1704.60	+37937.49	8.028E-04	-1.077E-01	+4.74	+130064.45
	6.25	+1704.60	+38036.56	8.028E-04	-1.077E-01	+4.74	48001.29
	12.50	+1704.60	+38135.63	8.028E-04	-1.077E-01	+4.74	103712.53
	18.75	+1704.60	+38234.70	8.028E-04	-1.077E-01	+4.74	167423.77
	25.00	+1704.60	+38333.77	8.028E-04	-1.077E-01	+4.74	231135.01
227	0.00	374.00	+31687.80	-7.101E-05	5.093E-03	+7.870E-01	+117809.61
	6.25	374.00	+31786.87	-7.101E-05	5.093E-03	+7.870E-01	37289.80
	12.50	374.00	+31885.94	-7.101E-05	5.093E-03	+7.870E-01	74579.60
	18.75	374.00	+31985.01	-7.101E-05	5.093E-03	+7.870E-01	111869.40
	25.00	374.00	+32084.08	-7.101E-05	5.093E-03	+7.870E-01	149159.20
228	0.00	377.79	+37937.49	6.528E-04	-7.607E-03	+1.39	+133613.76
	6.25	377.79	+38036.56	6.528E-04	-7.607E-03	+1.39	44161.17
	12.50	377.79	+38135.63	6.528E-04	-7.607E-03	+1.39	104409.84
	18.75	377.79	+38234.70	6.528E-04	-7.607E-03	+1.39	165208.51
	25.00	377.79	+38333.77	6.528E-04	-7.607E-03	+1.39	226007.18

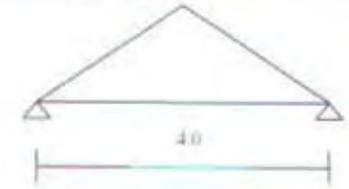
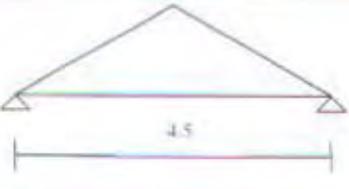
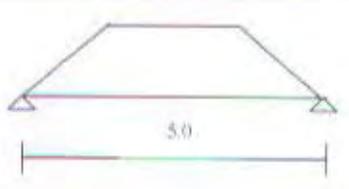
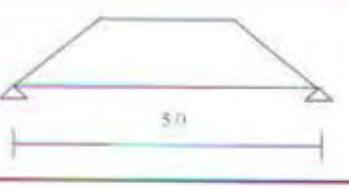
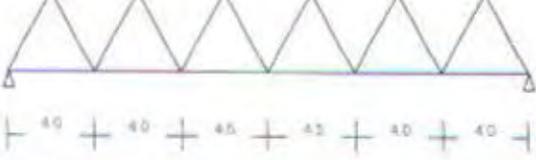


LAMPIRAN D
PERENCANAAN BALOK ANAK

Tabel 4.7 Beban Segitiga dan Trapesium Balok Atap

Tipe Pembebanan	Lx (m)	Ly (m)	D (kg/m)	L (kg/m)
	4.0	-	303.0	120.0
	4.5	-	303.0	120.0
	4.0	4.5	303.0	120.0
	4.0	5.0	303.0	120.0
	4.5	5.0	303.0	120.0
	-	-	303.0	120.0

Tabel 4.8 Beban Segitiga dan Trapesium Balok Lantai

Tipe Pembebanan	Lx (m)	Ly (m)	D (kg/m)	L (kg/m)
	4.0	-	351.0	500.0
	4.5	-	351.0	500.0
	4.0	5.0	351.0	500.0
	4.5	5.0	351.0	500.0
	-	-	351.0	500.0

Tabel 4.9 Perhitungan Lentur Balok Anak

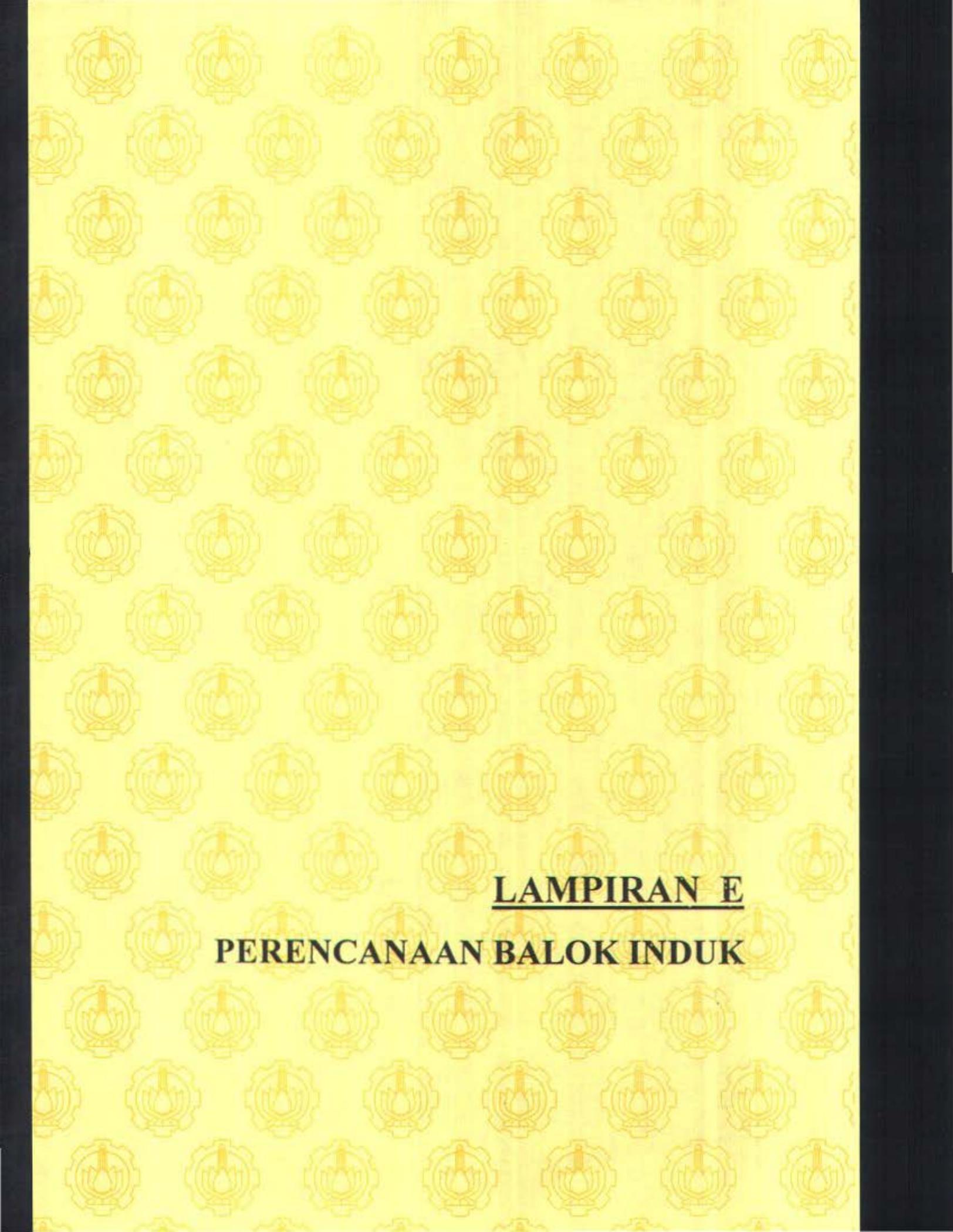
$f_c' = 30$ MPa $b = 300$ mm
 $f_y = 390$ MPa $b_e = 1060$ mm
 $m = 15.294$ $d = 440.5$ mm
 $\rho_{\min} = 0.0036$
 $\rho_{\max} = 0.0253$

Lantai	Tipe Balok	Tulangan Daerah Tumpuan							Tulangan Daerah Lapangan						
		Mu' (Nmm)	Rn	ρ perlu	ρ pakai	As mm ²	Dipasang		Mu' (Nmm)	Rn	ρ perlu	ρ pakai	As mm ²	Dipasang	
							Tulangan	As						Tulangan	As
2 s/d 6	BA1	4.45E+07	0.956	0.0025	0.0036	475.7	2D-19	567.0	2.55E+07	0.155	0.0004	0.0005	248.2	2D-19	567.0
	BA2	4.31E+07	0.925	0.0024	0.0036	475.7	2D-19	567.0	2.48E+07	0.151	0.0004	0.0005	241.5	2D-19	567.0
Atap	BA3	2.57E+07	0.552	0.0014	0.0036	475.7	2D-19	567.0	1.43E+07	0.087	0.0002	0.0003	139.1	2D-19	567.0
	BA4	2.51E+07	0.538	0.0014	0.0036	475.7	2D-19	567.0	1.40E+07	0.085	0.0002	0.0003	136.1	2D-19	567.0
	BA5	2.44E+07	0.524	0.0014	0.0036	475.7	2D-19	567.0	1.37E+07	0.083	0.0002	0.0003	133.1	2D-19	567.0

Tabel 4.10. Perencanaan Geser Balok Anak

$f_c' = 30$ MPa
 $f_y = 320$ MPa

Lantai	Tipe Pelat	Tulangan geser sejarak d						Tulangan geser sejarak lebih dari d		
		V_u (N)	b mm	d mm	ϕV_c (N)	s (mm)	Dipasang	V_u (N)	s (mm)	Dipasang
2 s/d 6	BA1	4.12E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	3.40E+04	502	$\phi 10-300$
	BA2	3.98E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	3.29E+04	502	$\phi 10-300$
Atap	BA3	2.47E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	1.95E+04	502	$\phi 10-300$
	BA4	2.37E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	1.90E+04	502	$\phi 10-300$
	BA5	2.31E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	1.85E+04	502	$\phi 10-300$



LAMPIRAN E
PERENCANAAN BALOK INDUK

Perhitungan Tulangan Balok daerah Lapangan

MPa $\rho_{min} = 0.0036$
 MPa $\rho_{maks} = 0.0253$

94

Tipe balok	Mu (N/mm)	b (mm)	be (mm)	d (mm)	Rn	ρ perlu	ρ pakai	a (mm)	Rn	ρ perlu	ρ pakai	As bawah (mm ²)	Dipasang As	As atas (mm ²)	Dipasang As'
B1	1.01E+07	400	980	537.5	0.109	0.0003	0.0036	29.6	0.045	0.0001	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B2	2.28E+07	400	980	537.5	0.246	0.0006	0.0036	29.6	0.100	0.0003	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B3	1.88E+07	400	980	537.5	0.181	0.0005	0.0036	29.6	0.074	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B4	1.49E+07	400	980	537.5	0.161	0.0004	0.0036	29.6	0.066	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B1	1.36E+07	400	980	537.5	0.147	0.0004	0.0036	29.6	0.060	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B2	2.63E+07	400	980	537.5	0.284	0.0007	0.0036	29.6	0.116	0.0003	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B3	1.93E+07	400	980	537.5	0.209	0.0005	0.0036	29.6	0.085	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B4	1.68E+07	400	980	537.5	0.181	0.0005	0.0036	29.6	0.074	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B1	1.36E+07	400	980	537.5	0.147	0.0004	0.0036	29.6	0.060	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B2	2.62E+07	400	980	537.5	0.283	0.0007	0.0036	29.6	0.116	0.0003	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B3	2.00E+07	400	980	537.5	0.216	0.0006	0.0036	29.6	0.088	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B4	1.67E+07	400	980	537.5	0.180	0.0005	0.0036	29.6	0.074	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B1	1.37E+07	400	980	537.5	0.149	0.0004	0.0036	29.6	0.061	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B2	4.86E+07	400	980	537.5	0.525	0.0014	0.0036	29.6	0.214	0.0006	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B3	1.99E+07	400	980	537.5	0.215	0.0006	0.0036	29.6	0.088	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B4	1.07E+07	400	980	537.5	0.180	0.0005	0.0036	29.6	0.074	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B1	4.20E+07	400	980	537.5	0.454	0.0012	0.0036	29.6	0.185	0.0005	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B2	3.72E+07	400	980	537.5	0.402	0.0010	0.0036	29.6	0.164	0.0004	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B3	1.98E+07	400	980	537.5	0.214	0.0006	0.0036	29.6	0.087	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B4	1.67E+07	400	980	537.5	0.180	0.0005	0.0036	29.6	0.074	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B1	2.61E+07	400	980	537.5	0.282	0.0007	0.0036	29.6	0.115	0.0003	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B2	2.31E+07	400	980	537.5	0.249	0.0006	0.0036	29.6	0.102	0.0003	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B3	2.08E+07	400	980	537.5	0.225	0.0006	0.0036	29.6	0.092	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
B4	1.66E+07	400	980	537.5	0.179	0.0005	0.0036	29.6	0.073	0.0002	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25

5.2 Perhitungan Tulangan Balok daerah Tumpuan Negatif

$f_c = 30$ MPa $\rho_{min} = 0,0036$
 $f_y = 390$ MPa $\rho_{maks} = 0,0253$
 $m = 15,294$

Tipe Balok	Mu (Nmm)	b (mm)	d (mm)	d' (mm)	Rn	ρ_{db}	ρ'	ρ	As atas (mm ²)	Dipasang As	As' (mm ²)	Dipasang As'
B1	1,65E+08	400	537,5	62,5	0,892	0,0023	0,0026	0,0049	1057,6	3 D-25	556,7	2 D-25
B2	9,53E+07	400	537,5	62,5	0,515	0,0013	0,0015	0,0028	608,3	2 D-25	321,4	2 D-25
B3	7,43E+07	400	537,5	62,5	0,402	0,0010	0,0012	0,0022	473,7	2 D-25	250,5	2 D-25
B4	6,79E+07	400	537,5	62,5	0,367	0,0009	0,0011	0,0020	432,9	2 D-25	229,0	2 D-25
B1	1,92E+08	400	537,5	62,5	1,037	0,0027	0,0030	0,0057	1230,4	3 D-25	646,7	2 D-25
B2	1,83E+08	400	537,5	62,5	0,990	0,0026	0,0029	0,0055	1174,4	2 D-25	617,6	2 D-25
B3	1,44E+08	400	537,5	62,5	0,780	0,0020	0,0023	0,0043	923,9	2 D-25	486,9	2 D-25
B4	1,38E+08	400	537,5	62,5	0,744	0,0019	0,0022	0,0041	880,3	2 D-25	464,0	2 D-25
B1	2,80E+08	400	537,5	62,5	1,513	0,0040	0,0044	0,0084	1804,4	4 D-25	943,9	2 D-25
B2	2,62E+08	400	537,5	62,5	1,415	0,0037	0,0041	0,0078	1685,7	4 D-25	882,7	2 D-25
B3	2,32E+08	400	537,5	62,5	1,253	0,0033	0,0036	0,0069	1490,5	4 D-25	781,8	2 D-25
B4	1,88E+08	400	537,5	62,5	1,017	0,0027	0,0030	0,0056	1206,8	3 D-25	634,5	2 D-25
B1	3,55E+08	400	537,5	62,5	1,918	0,0051	0,0056	0,0107	2296,9	5 D-25	1196,5	3 D-25
B2	3,33E+08	400	537,5	62,5	1,799	0,0048	0,0052	0,0100	2151,8	5 D-25	1122,3	3 D-25
B3	3,06E+08	400	537,5	62,5	1,654	0,0044	0,0048	0,0092	1975,6	5 D-25	1032,0	3 D-25
B4	2,85E+08	400	537,5	62,5	1,528	0,0040	0,0044	0,0085	1822,4	4 D-25	953,2	2 D-25
B1	4,30E+08	400	537,5	62,5	2,327	0,0063	0,0068	0,0130	2799,1	6 D-25	1451,6	3 D-25
B2	3,55E+08	400	537,5	62,5	1,921	0,0051	0,0056	0,0107	2300,8	5 D-25	1198,4	3 D-25
B3	3,53E+08	400	537,5	62,5	1,909	0,0051	0,0055	0,0106	2285,9	5 D-25	1190,8	3 D-25
B4	3,22E+08	400	537,5	62,5	1,739	0,0046	0,0050	0,0097	2078,8	5 D-25	1084,9	3 D-25
B1	4,12E+08	400	537,5	62,5	2,230	0,0060	0,0065	0,0125	2680,1	6 D-25	1391,4	3 D-25
B2	3,30E+08	400	537,5	62,5	1,786	0,0048	0,0052	0,0099	2135,7	5 D-25	1114,1	3 D-25
B3	3,38E+08	400	537,5	62,5	1,829	0,0049	0,0053	0,0102	2188,7	5 D-25	1141,2	3 D-25
B4	3,10E+08	400	537,5	62,5	1,675	0,0044	0,0049	0,0093	2000,8	5 D-25	1044,9	3 D-25



MILIK PERPUSTAKAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI
 SEPULUH - NOPEMBER

5.3 Perhitungan Tulangan Balok daerah Tumpuan Positif

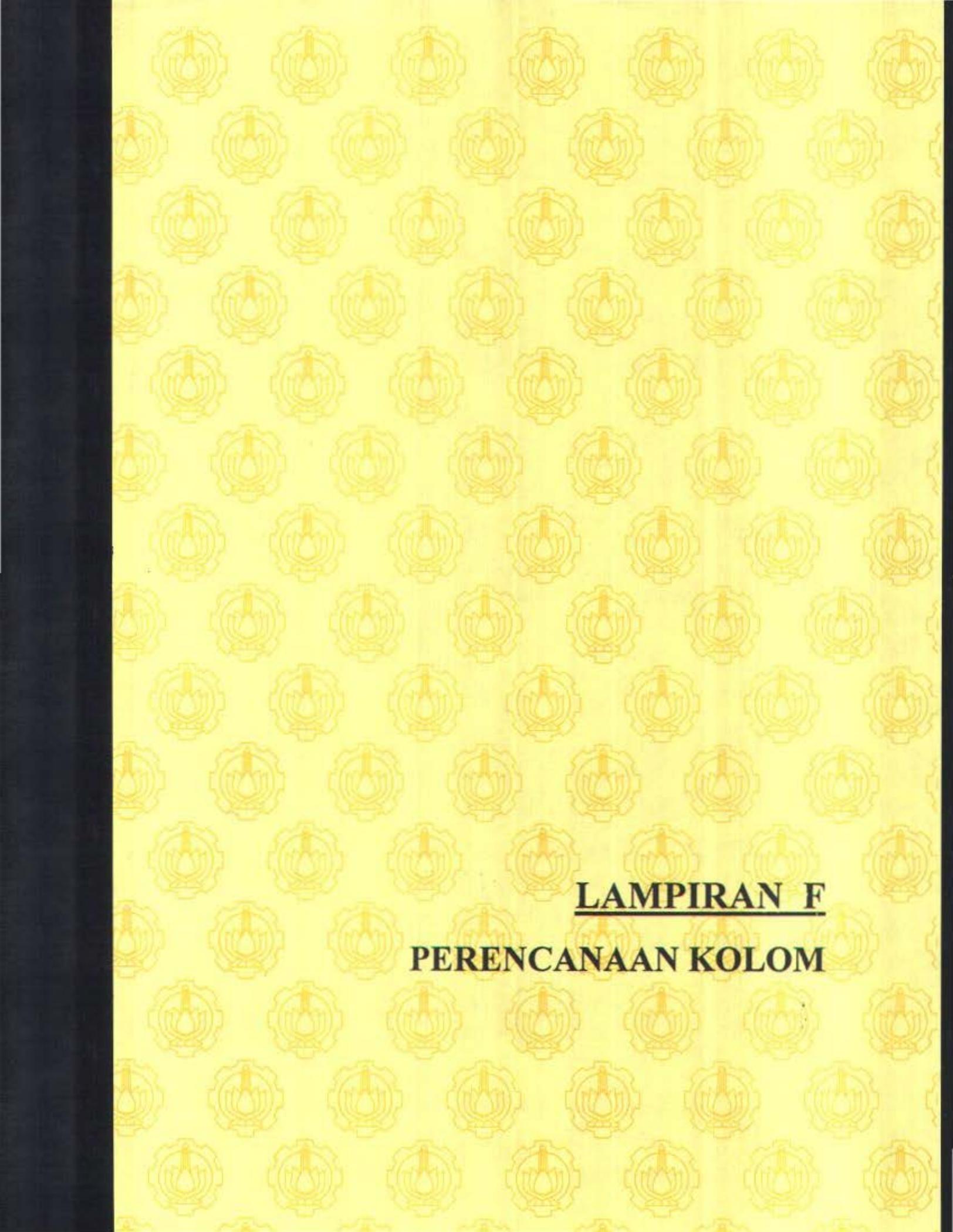
$f_c' = 30$ MPa $\rho_{min} = 0,0036$
 $f_y = 590$ MPa $\rho_{maks} = 0,0253$
 $m = 15,294$

antai	Tipe Balok	Mu (Nmm)	b (mm)	d (mm)	d' (mm)	Rn	$\rho\delta$	ρ'	ρ	ρ pakai	As atas (mm ²)	Dipasang As	As' (mm ²)	Dipasang As'
1	B1	1.19E+08	400	537.5	62.5	0.642	0.0017	0.0019	0.0035	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
	B2	6.74E+07	400	537.5	62.5	0.364	0.0009	0.0011	0.0020	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
	B3	5.29E+07	400	537.5	62.5	0.286	0.0007	0.0008	0.0016	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
	B4	3.74E+07	400	537.5	62.5	0.202	0.0005	0.0006	0.0011	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
2	B1	2.07E+08	400	537.5	62.5	1.121	0.0029	0.0033	0.0062	0.0062	1331.6	3 D-25	665.8	2 D-25
	B2	2.33E+08	400	537.5	62.5	1.258	0.0033	0.0036	0.0070	0.0070	1496.2	4 D-25	748.1	2 D-25
	B3	1.07E+08	400	537.5	62.5	0.581	0.0015	0.0017	0.0032	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
	B4	1.07E+08	400	537.5	62.5	0.577	0.0015	0.0017	0.0032	0.0036	774.0	2 D-25	387.0	2 D-25
3	B1	2.81E+08	400	537.5	62.5	1.521	0.0040	0.0044	0.0084	0.0084	1813.4	4 D-25	906.7	2 D-25
	B2	3.01E+08	400	537.5	62.5	1.627	0.0043	0.0047	0.0090	0.0090	1942.8	4 D-25	971.4	2 D-25
	B3	1.86E+08	400	537.5	62.5	1.006	0.0026	0.0029	0.0056	0.0056	1194.1	3 D-25	597.1	2 D-25
	B4	1.88E+08	400	537.5	62.5	1.017	0.0027	0.0030	0.0056	0.0056	1206.8	3 D-25	603.4	2 D-25
4	B1	3.35E+08	400	537.5	62.5	1.810	0.0048	0.0053	0.0101	0.0101	2165.4	5 D-25	1082.7	3 D-25
	B2	3.47E+08	400	537.5	62.5	1.878	0.0050	0.0054	0.0105	0.0105	2248.3	5 D-25	1124.1	3 D-25
	B3	2.61E+08	400	537.5	62.5	1.412	0.0037	0.0041	0.0078	0.0078	1681.9	4 D-25	840.9	2 D-25
	B4	2.52E+08	400	537.5	62.5	1.362	0.0036	0.0040	0.0075	0.0075	1621.6	4 D-25	810.8	2 D-25
5	B1	3.91E+08	400	537.5	62.5	2.116	0.0057	0.0061	0.0118	0.0118	2539.2	6 D-25	1269.6	3 D-25
	B2	3.59E+08	400	537.5	62.5	1.944	0.0052	0.0056	0.0108	0.0108	2328.6	5 D-25	1164.3	3 D-25
	B3	3.11E+08	400	537.5	62.5	1.685	0.0045	0.0049	0.0094	0.0094	2012.4	5 D-25	1006.2	3 D-25
	B4	2.90E+08	400	537.5	62.5	1.566	0.0041	0.0045	0.0087	0.0087	1868.7	4 D-25	934.4	2 D-25
6	B1	3.76E+08	400	537.5	62.5	2.034	0.0054	0.0059	0.0113	0.0113	2439.0	5 D-25	1219.5	3 D-25
	B2	3.07E+08	400	537.5	62.5	1.660	0.0044	0.0048	0.0092	0.0092	1982.1	5 D-25	991.0	3 D-25
	B3	3.06E+08	400	537.5	62.5	1.655	0.0044	0.0048	0.0092	0.0092	1976.3	5 D-25	988.1	2 D-25
	B4	2.69E+08	400	537.5	62.5	1.453	0.0038	0.0042	0.0081	0.0081	1731.2	4 D-25	865.6	2 D-25

5.4 Perencanaan Geser Balok Induk

$f_c' = 30$ MPa
 $f_y = 320$ MPa

Tipe	Tipe Balok	Tulangan geser sejarak d							Tulangan geser sejarak lebih dari d			
		V_u (N)	h mm	d mm	ϕV_c (N)	$\min \phi V_s$ (N)	$\phi V_c + \min \phi V_s$	s (mm)	Dipasang	V_u (N)	s (mm)	Dipasang
atap	B1	6.26E+04	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	5.68E+04	377	$\phi 10-300$
	B2	8.53E+04	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	8.00E+04	377	$\phi 10-300$
	B3	1.35E+04	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	7.85E+03	377	$\phi 10-300$
	B4	4.57E+04	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	4.00E+04	377	$\phi 10-300$
6	B1	9.37E+04	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	9.03E+04	377	$\phi 10-300$
	B2	1.32E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.26E+05	377	$\phi 10-300$
	B3	6.19E+04	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	5.89E+04	377	$\phi 10-300$
	B4	8.33E+04	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	7.65E+04	377	$\phi 10-300$
5	B1	1.48E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.45E+05	377	$\phi 10-300$
	B2	1.60E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.53E+05	377	$\phi 10-300$
	B3	1.07E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.04E+05	377	$\phi 10-300$
	B4	1.24E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.17E+05	377	$\phi 10-300$
4	B1	1.90E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.86E+05	377	$\phi 10-300$
	B2	1.78E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.71E+05	377	$\phi 10-300$
	B3	1.44E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.41E+05	377	$\phi 10-300$
	B4	1.55E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.17E+05	377	$\phi 10-300$
3	B1	2.15E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	2.12E+05	377	$\phi 10-300$
	B2	1.83E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.76E+05	377	$\phi 10-300$
	B3	1.70E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.67E+05	377	$\phi 10-300$
	B4	1.74E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.67E+05	377	$\phi 10-300$
2	B1	2.05E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	2.02E+05	377	$\phi 10-300$
	B2	1.62E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.55E+05	377	$\phi 10-300$
	B3	1.67E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.64E+05	377	$\phi 10-300$
	B4	1.63E+05	400	537.5	1.18E+05	4.30E+04	1.61E+05	377	$\phi 10-150$	1.56E+05	377	$\phi 10-300$



LAMPIRAN F
PERENCANAAN KOLOM

Perhitungan Tulangan Lentur-Aksial Kolumn

$f_c = 40 \text{ MPa}$

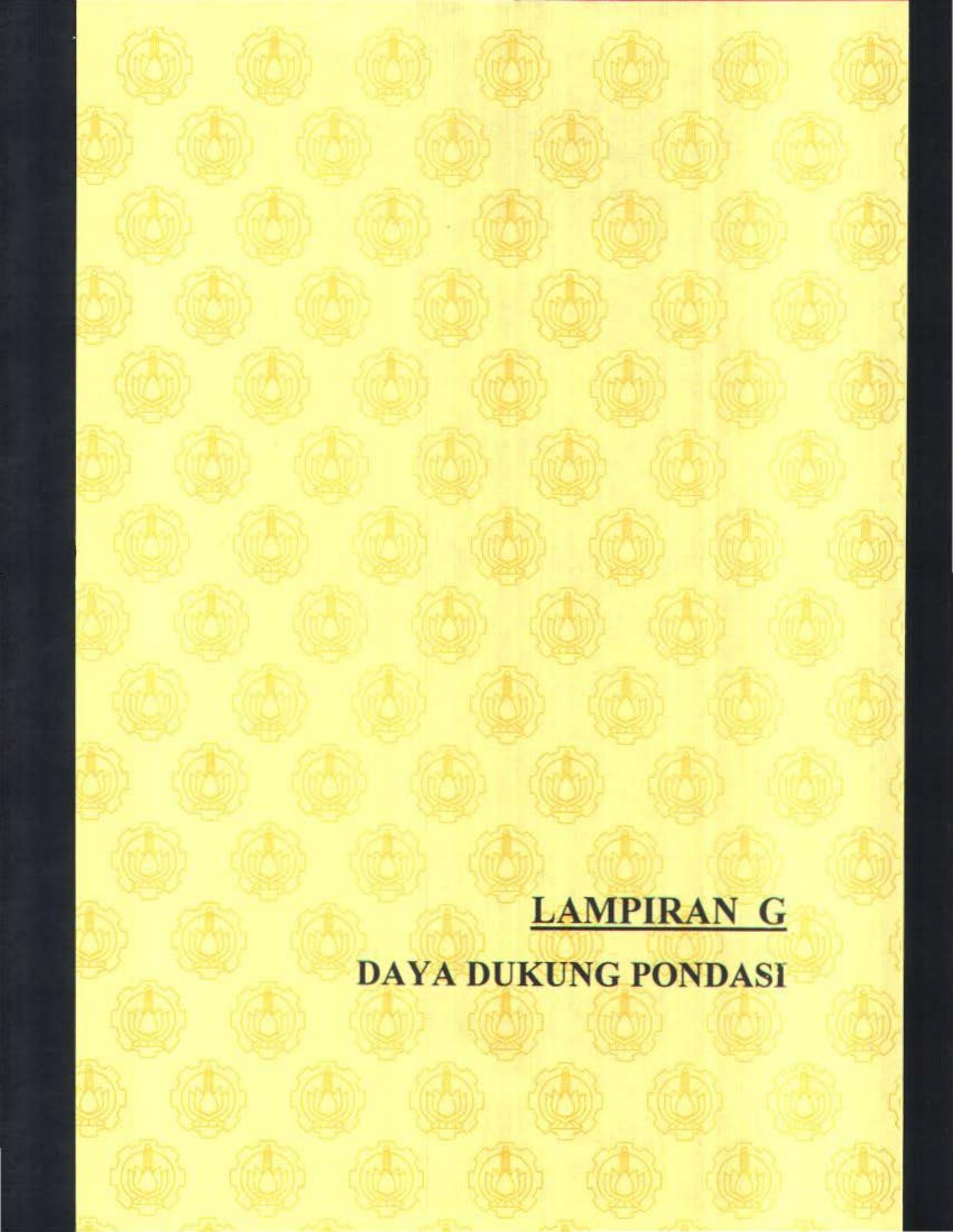
$f_y = 390 \text{ MPa}$

Tipe Dok	b (mm)	h (mm)	α_A	α_B	k	λ	P_u (N)	M_{2b-x} (Nmm)	M_{2s-x} (Nmm)	M_{2b-y} (Nmm)	M_{2s-y} (Nmm)	P_c (N)	δ_b	δ_s	ϕM_n (Nmm)	Dipasang	$A_s \text{ ada}$ (mm ²)	$\rho \text{ ada}$	P_{ub} (N)	P_n (N)
K1	700	700	1.00	1.05	1.33	23	8.03E+05	9.22E+06	2.75E+08	1.96E+06	3.44E+08	6.48E+07	1.02	1.04	4.89E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.51E+07	1.24E+07
K2	700	700	1.00	0.55	1.25	22	2.18E+06	2.65E+06	1.60E+08	1.96E+06	4.08E+08	7.33E+07	1.05	1.04	5.17E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.70E+07	3.36E+07
K3	700	900	1.00	1.32	1.21	18	3.57E+06	1.13E+07	1.60E+08	3.22E+08	1.29E+09	1.32E+08	1.00	1.00	1.71E+09	20D-25	8836.2	0.0180	1.78E+07	5.50E+07
K4	700	700	1.00	1.17	1.27	23	1.60E+06	2.10E+07	1.45E+08	1.26E+07	3.69E+08	6.38E+07	1.04	1.04	3.86E+08	10D-25	9818.0	0.0200	1.72E+07	2.46E+07
K1	700	700	1.05	1.05	1.34	23	6.68E+05	1.64E+07	1.02E+08	3.53E+06	2.87E+08	6.38E+07	1.02	1.03	2.83E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.51E+07	1.03E+07
K2	700	700	0.55	0.53	1.15	20	1.73E+06	1.47E+07	1.18E+08	3.53E+06	3.33E+08	8.66E+07	1.00	1.00	4.08E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.70E+07	2.67E+07
K3	700	900	0.39	1.32	1.13	19	2.96E+06	2.72E+07	1.24E+08	9.11E+08	1.46E+09	1.26E+08	1.00	1.00	2.45E+09	30D-25	17672.4	0.0361	1.38E+07	4.55E+07
K4	700	700	0.74	1.17	1.22	23	1.28E+06	3.32E+07	9.91E+07	2.03E+07	2.05E+08	6.29E+07	1.05	1.03	2.66E+08	10D-25	4909.0	0.0100	2.13E+07	1.96E+07
K1	700	700	1.05	1.05	1.34	23	5.32E+05	2.13E+07	2.73E+07	4.41E+06	2.73E+08	6.38E+07	1.01	1.03	2.03E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.51E+07	8.18E+06
K2	700	700	0.53	0.53	1.15	20	1.26E+06	1.47E+07	1.04E+08	4.41E+06	3.18E+08	8.66E+07	1.00	1.00	3.86E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.70E+07	1.93E+07
K3	700	900	0.39	1.32	1.13	19	2.34E+06	4.05E+07	1.15E+08	8.47E+08	1.33E+09	1.26E+08	1.00	1.00	2.26E+09	30D-25	14727.0	0.0301	1.48E+07	3.61E+07
K4	700	700	0.74	1.17	1.22	23	9.34E+05	4.97E+07	1.08E+08	2.95E+07	1.94E+08	6.29E+07	1.00	1.00	2.78E+08	10D-25	4909.0	0.0100	2.13E+07	1.44E+07
K1	700	700	1.05	1.05	1.34	23	3.94E+05	2.27E+07	9.93E+07	5.79E+06	2.58E+08	6.38E+07	1.01	1.02	2.68E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.51E+07	6.06E+06
K2	700	700	0.53	0.53	1.15	20	8.20E+05	1.60E+07	9.92E+07	5.79E+06	2.98E+08	8.66E+07	1.00	1.00	3.66E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.70E+07	1.26E+07
K3	700	900	0.39	1.32	1.13	19	1.73E+06	5.14E+07	1.62E+08	8.31E+08	1.24E+09	1.26E+08	1.00	1.00	2.15E+09	30D-25	14727.0	0.0301	1.48E+07	2.66E+07
K4	700	700	0.74	1.17	1.22	23	6.19E+05	6.32E+07	1.11E+08	3.18E+07	1.86E+08	6.29E+07	1.02	1.01	2.95E+08	10D-25	4909.0	0.0100	2.13E+07	9.52E+06
K1	700	700	1.05	1.05	1.34	23	2.56E+05	2.40E+07	1.32E+08	7.95E+06	2.19E+08	6.38E+07	1.01	1.01	2.81E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.51E+07	3.94E+06
K2	700	700	0.53	0.53	1.15	20	4.49E+05	1.20E+07	8.61E+07	7.95E+06	2.49E+08	8.66E+07	1.00	1.00	3.10E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.70E+07	6.91E+06
K3	700	900	0.39	1.32	1.13	19	1.12E+06	5.89E+07	7.89E+07	8.34E+08	1.05E+09	1.26E+08	1.00	1.00	1.96E+09	28D-25	13745.2	0.0281	1.52E+07	1.72E+07
K4	700	700	0.74	1.17	1.22	23	3.49E+05	7.42E+07	1.08E+08	3.27E+07	1.60E+08	6.29E+07	1.01	1.04	2.95E+08	10D-25	4909.0	0.0100	2.13E+07	5.36E+06
K1	700	700	1.05	1.05	1.34	23	1.19E+05	2.91E+07	1.08E+08	9.03E+06	1.63E+08	6.38E+07	1.00	1.04	2.37E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.51E+07	1.83E+06
K2	700	700	0.53	0.53	1.15	20	1.61E+05	2.09E+07	6.95E+07	9.03E+06	1.81E+08	8.66E+07	1.00	1.00	2.39E+08	10D-25	4909.0	0.0100	1.70E+07	2.47E+06
K3	700	900	0.39	1.32	1.13	19	5.02E+05	6.45E+07	5.22E+07	8.94E+08	1.24E+09	1.26E+08	1.00	1.00	2.20E+09	30D-25	14727.0	0.0301	1.48E+07	7.72E+06
K4	700	700	0.74	1.17	1.22	23	1.39E+05	8.30E+07	1.09E+08	3.39E+07	1.23E+08	6.29E+07	1.00	1.04	2.84E+08	10D-25	4909.0	0.0100	2.13E+07	2.12E+06

Analisa Tulangan Geser Kolom

$f_c = 30 \text{ MPa}$
 $f_y = 320 \text{ MPa}$

	T_u (N/mm)	V_u (N)	N_u (N)	b (mm)	d (mm)	ϕT_c (N/mm)	Ket	$0.5 \phi V_c$ (N)	ϕV_c (N)	Ket	s (mm)
	4.73E+07	1.59E+05	8.03E+05	700	637.5	7.51E+07		2.73E+05	5.46E+05		215
	2.12E+07	1.61E+05	2.18E+06	700	637.5	7.51E+07		3.22E+05	6.45E+05		215
	1.77E+07	5.71E+05	3.57E+06	700	637.5	7.51E+07		3.72E+05	7.45E+05		215
	4.73E+07	1.28E+05	1.86E+06	700	637.5	7.51E+07		3.01E+05	6.05E+05		215
	6.14E+07	1.63E+05	6.68E+05	700	637.5	7.51E+07		2.68E+05	5.36E+05		215
	2.44E+07	1.63E+05	1.73E+06	700	637.5	7.51E+07		3.06E+05	6.12E+05		215
	2.28E+07	6.91E+05	2.96E+06	700	637.5	7.51E+07		3.50E+05	7.00E+05		215
	6.14E+07	1.03E+05	1.28E+06	700	637.5	7.51E+07		2.90E+05	5.80E+05		215
	6.20E+07	1.43E+05	5.32E+05	700	637.5	7.51E+07		2.63E+05	5.27E+05		215
	2.12E+07	1.44E+05	1.26E+06	700	637.5	7.51E+07		2.89E+05	5.78E+05		215
	2.18E+07	6.32E+05	2.34E+06	700	637.5	7.51E+07		3.28E+05	6.56E+05		215
	6.20E+07	9.10E+04	9.34E+05	700	637.5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	2.78E+05	5.55E+05	Tulangan geser dipasang praktis	215
	5.55E+07	1.14E+05	3.94E+05	700	637.5	7.51E+07		3.58E+05	5.17E+05		215
	1.58E+07	1.18E+05	8.20E+05	700	637.5	7.51E+07		2.74E+05	5.47E+05		215
	1.87E+07	5.79E+05	1.73E+06	700	637.5	7.51E+07		3.06E+05	6.12E+05		215
	5.35E+07	7.45E+04	6.19E+05	700	637.5	7.51E+07		2.66E+05	5.33E+05		215
	4.03E+07	7.80E+04	2.56E+05	700	637.5	7.51E+07		2.54E+05	5.07E+05		215
	9.32E+06	8.17E+04	4.49E+05	700	637.5	7.51E+07		2.60E+05	5.21E+05		215
	9.32E+06	4.89E+05	1.12E+06	700	637.5	7.51E+07		2.84E+05	5.68E+05		215
	1.40E+07	5.15E+04	3.49E+05	700	637.5	7.51E+07		2.57E+05	5.14E+05		215
	2.64E+07	3.41E+04	1.19E+05	700	637.5	7.51E+07		2.49E+05	4.97E+05		215
	4.32E+06	3.72E+04	1.61E+05	700	637.5	7.51E+07		2.50E+05	5.00E+05		215
	9.03E+06	4.97E+05	5.02E+05	700	637.5	7.51E+07		2.62E+05	5.25E+05		215
	2.64E+07	3.66E+04	1.39E+05	700	637.5	7.51E+07		2.49E+05	4.99E+05		215



LAMPIRAN G
DAYA DUKUNG PONDASI



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH**

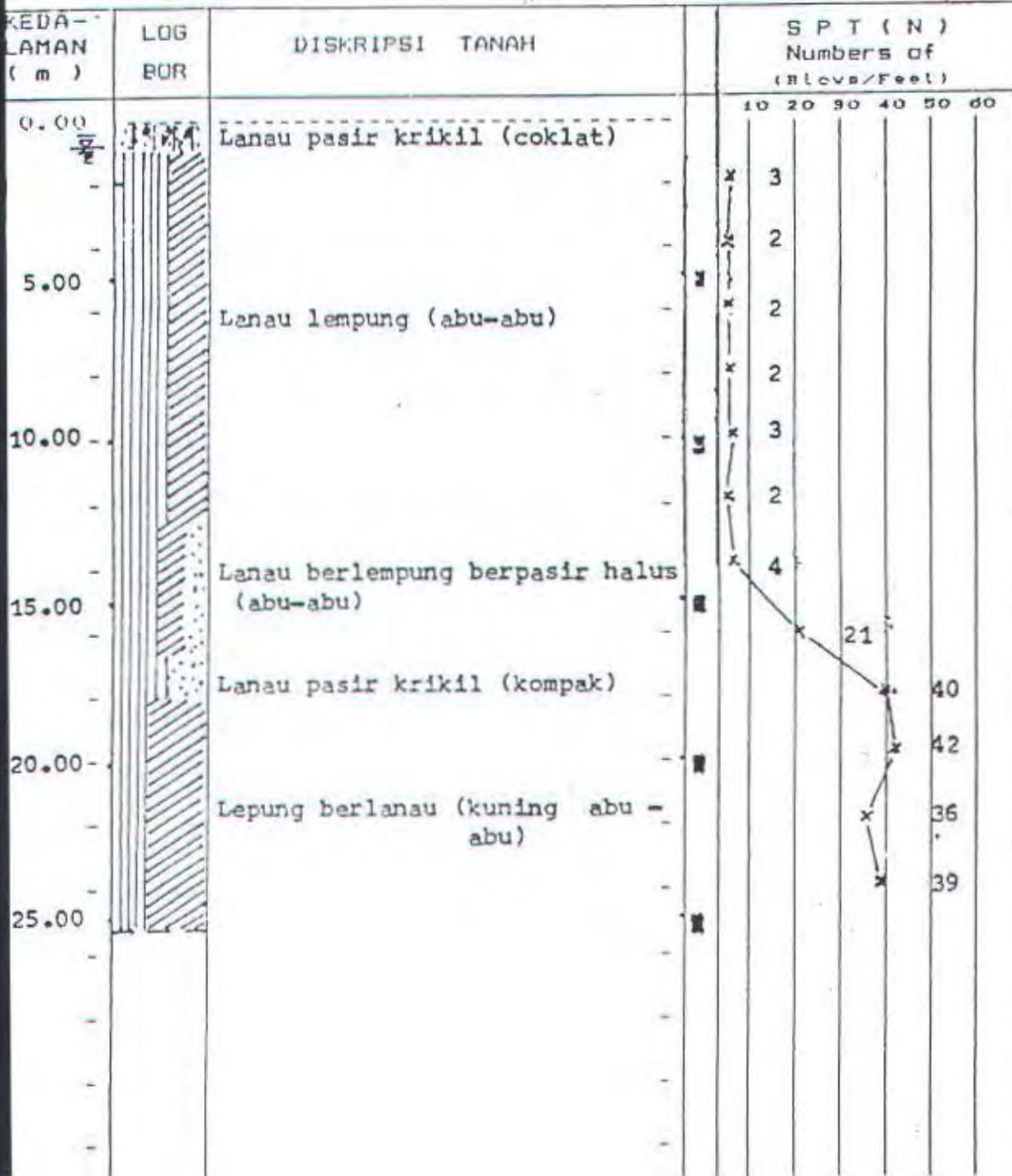
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO, TELP. 031-5946094-Fax (031) 5947284 SURABAYA (60111)

GAMBAR PROFIL BORING

PROYEK	: TELKOM	TITIK BOR	: B.1
LOKASI	: STO RUNGKUT II SURABAYA	TANGGAL	: 19 - 8 - 1996
		M A T	: - 3.00 m

Remark :

	top soil		Lempung		Pasir		Muka Airtanah
	Lanau		Perikil		Kerang		Contoh asli



PROJECT : PT. TELKOM
 LOCATION : STO. RUNGKUT
 BOR HOLE No. : B-1

Depth (m)	Sieve & Hydrometer (%)			Grading passing sieve no. (%)			Natural state						
	G	S	S+C	4	40	200	Gs	Yt	Wc	Yd	e	n	Sr
4.50-5.00	0	15	85	100	95	85	2,470	1,558	66,15	0,938	1,634	62,03	100,00
9.50-10.00	0	13	87	100	95	87	2,631	1,449	100,08	0,724	2,633	72,47	100,00
14.50-15.00	2	25	73	98	88	73	2,590	1,438	101,39	0,714	2,626	72,42	100,00
19.50-20.00	0	20	80	100	90	80	2,574	1,740	43,75	1,211	1,126	52,96	100,00
24.50-25.00	0	12	88	100	95	88	2,704	1,660	58,47	1,048	1,581	61,26	100,00

Depth (m)	Unconfined		Direct Shear		Triaxial		Vane Test	Consolidation test			Coef. of Permeability k
	qu	qu*	C	Q	UU Cu	Qu	T	Pp	Cc	Cv (t.50)	k
4.50-5.00	0,195	*	*	*	*	*	*	0,279	0,683	1,136E-04	7,65E-08
9.50-10.00	0,210	*	*	*	*	*	*	0,503	1,180	1,490E-03	7,34E-07
14.50-15.00	1,270	*	*	*	*	*	*	0,722	1,110	1,640E-03	6,75E-07
19.50-20.00	3,200	*	*	*	*	*	*	1,092	0,437	2,260E-04	5,42E-07
24.50-25.00	3,000	*	*	*	*	*	*	1,350	0,651	2,340E-04	5,33E-07

REMARKS :

G = GRAVEL
 S = SAND
 S+C = SILT + CLAY
 GS = SPECIFIC GRAVITY
 Yt = WET DENSITY (gr/cc)
 Wc = WATER CONTENT (%)
 Yd = DRY DENSITY (gr/cc)
 * = NOT TESTED

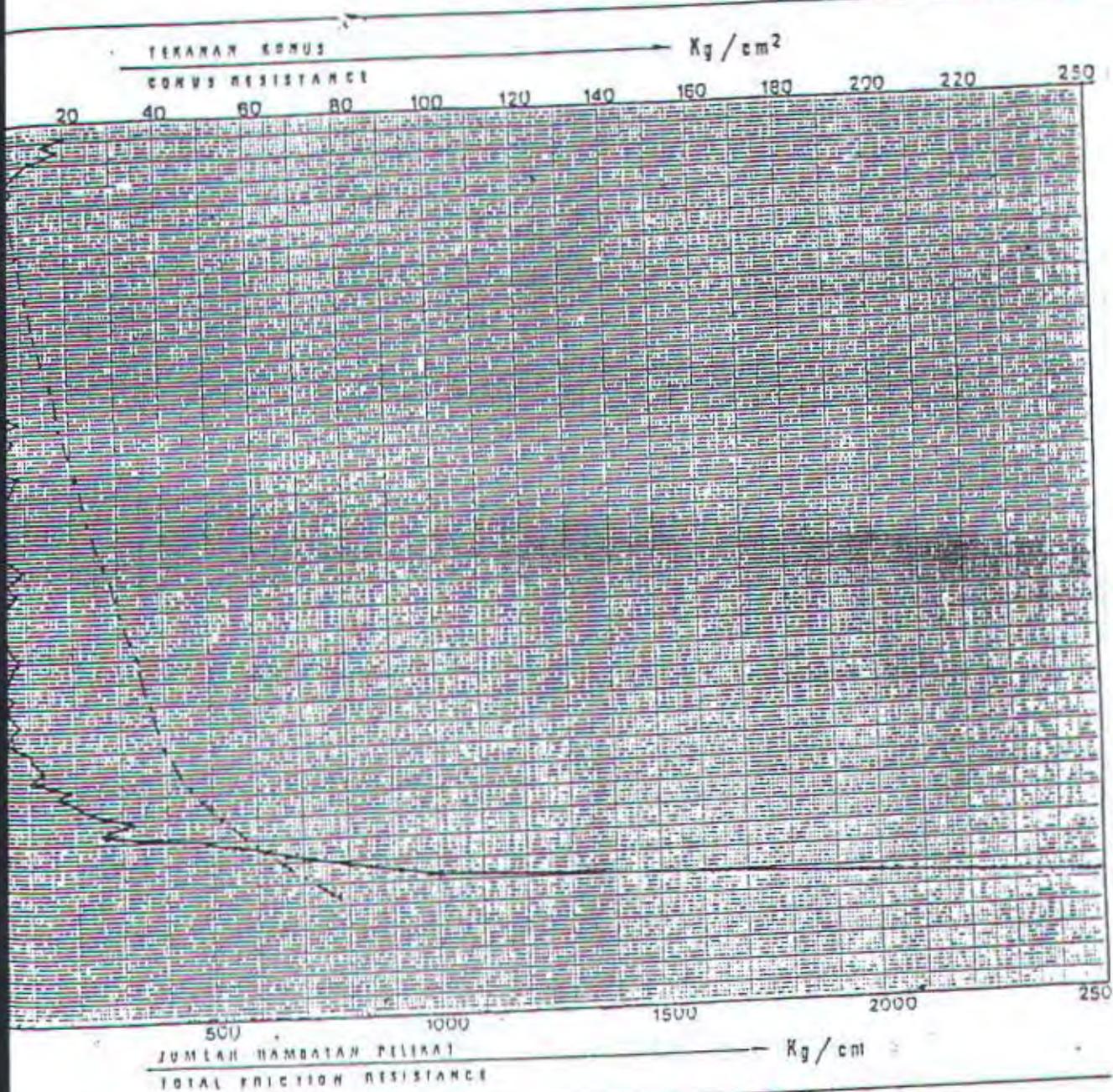
e = VOID RATIO
 n = POROSITY (%)
 Sr = SATURATION (%)
 Pp = PRECONSOLIDATION PRESSURE (kg/cm²)
 Cc = COMPRESSION INDEX
 Cv = COEFF. OF CONSOLIDATION (cm²/sec)
 k = COEFF. PERMEABILITY (cm/sec)



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
KAMPUS ITS KEPUTIH SURABAYA TELP. 596094 SURABAYA 60111

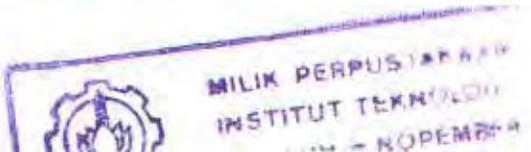
DUTCH CONE
PENETROMETER TEST

PROJECT : TELKOM
LOCATION : STO RUMIKIT II
POINT No. : S. 1
DATE : 19 AGUSTUS 1996



KETERANGAN :

- : TEKANAN KONUS.
- - - : JUMLAH HAMBATAN PELEKAT.

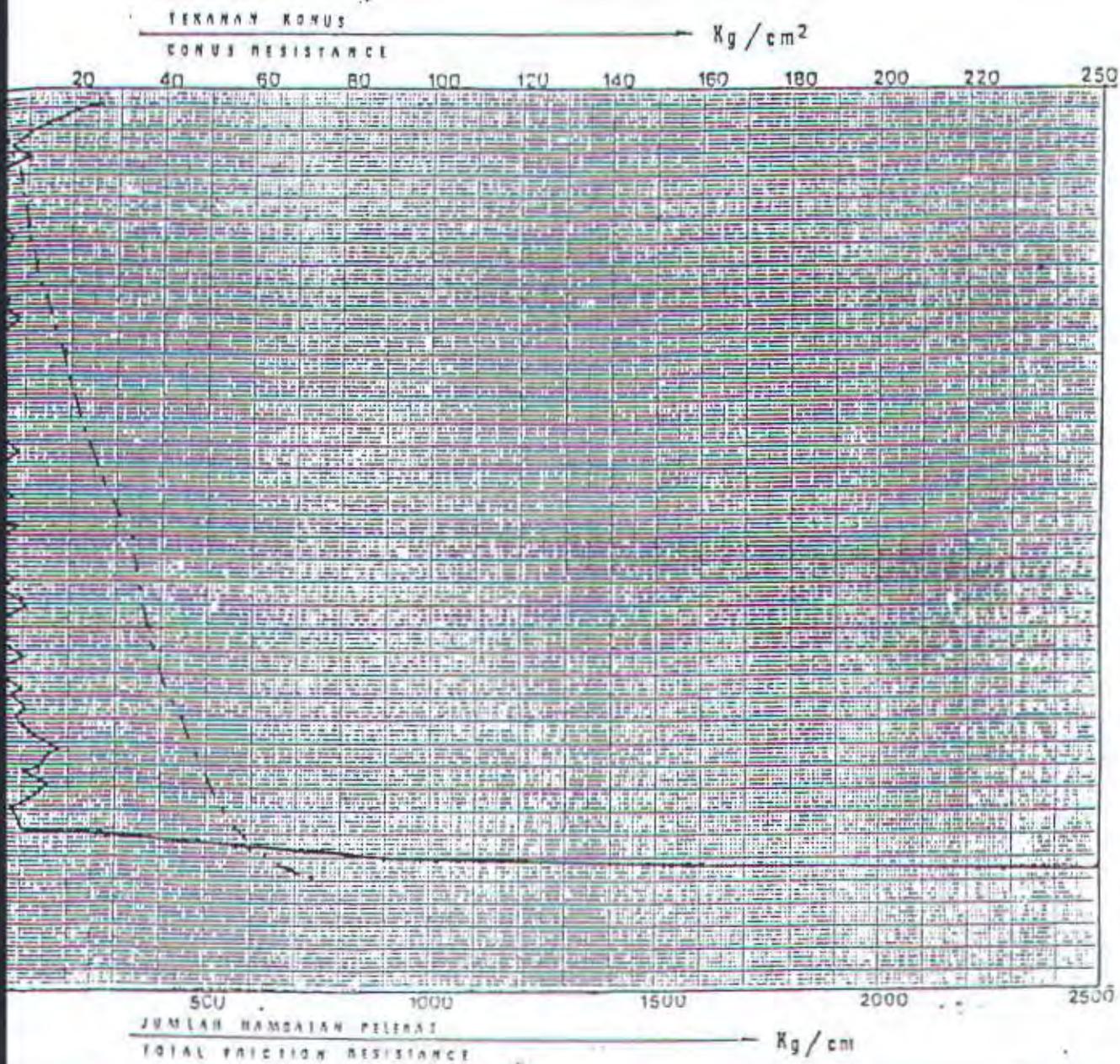




INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLO TELP. 596094 SURABAYA 60111

DUTCH CONE
PENETROMETER TEST

PROJECT : TELKOM
LOCATION : STO RINGZUT II
POINT No. : S2
DATE : 20 AGUSTUS 1996



KETERANGAN :

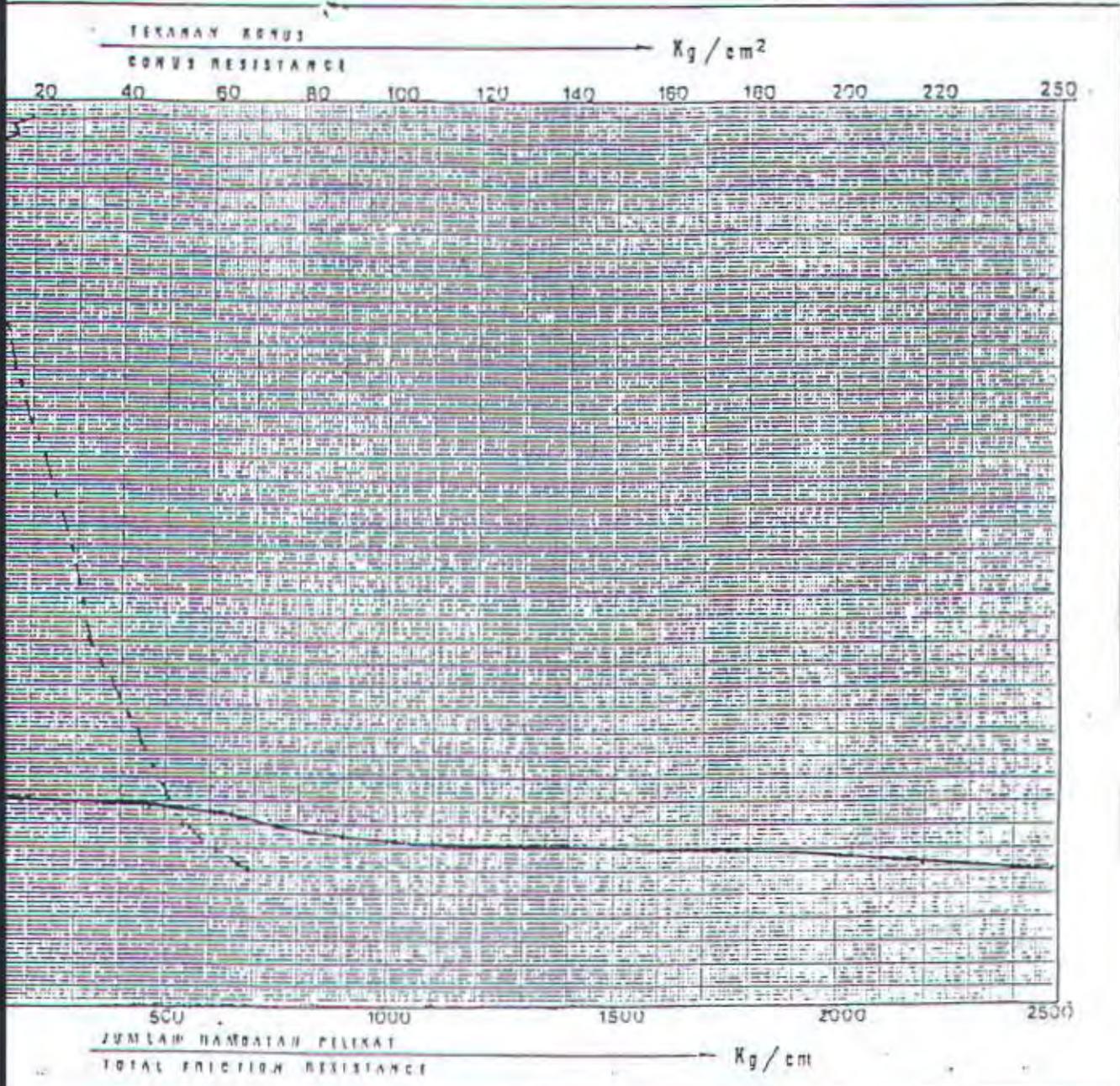
- : ISKANAN KONUS.
- - - : JUMLAH HAMBATAN PELEKAT.



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 KAMPUS ITS KEPUTIH SURABAYA TELP. 596094 SURABAYA 60111

DUTCH CONE
 PENETROMETER TEST

PROJECT : TELKOM
 LOCATION : STO RENGKOT II
 POINT No. : S. 3
 DATE : 20 AGUSTUS 1996



KETERANGAN :
 ———— : TEKANAN KONUS.
 - - - - - : JUMLAH HAMBATAN PELEKAT.

**PERHITUNGAN DAYA DUKUNG TANAH
PADA PONDASI TIANG PANCANG**

Daya dukung tiang pondasi dihitung berdasarkan metode Meyerhof, sebagai berikut :

$$Q_{ad} = Q_L / F$$

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

$$Q_p = 4 \cdot N \cdot A_p$$

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

$$Q_s = \frac{\pi \cdot B \cdot D}{50} \cdot N_{av}$$

dengan

Q_{ad} = daya dukung ijin tiang pondasi

Q_L = daya dukung tanah maximum (ton)

N = harga SPT didasar pondasi

A_p = luas penampang ujung tiang pondasi

F = angka keamanan, diambil = 3

N_{av} = harga N rata-rata disepanjang tiang yang terbenam (D)

B = diameter ujung tiang pondasi (m)

D = panjang tiang pondasi yang tertanam (m)

Q_p = daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi

Q_s = daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah

TABEL PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PONDASI

Diameter tiang Pancang = 50 cm
 Angka Keamanan = 3

Elevasi	N	Ap	Q _p	Nav	B	D	Q _s	Q _L	Q _{ad}
Dasar T.P		m ²	ton		m	m	ton	ton	ton
4.0	2.0	0.196	15.71	2.00	0.5	4.0	2.51	18.22	6.07
5.0	2.0	0.196	15.71	2.00	0.5	5.0	3.14	18.85	6.28
6.0	2.0	0.196	15.71	2.00	0.5	6.0	3.77	19.48	6.49
7.0	2.0	0.196	15.71	2.00	0.5	7.0	4.40	20.11	6.70
8.0	2.0	0.196	15.71	2.00	0.5	8.0	5.03	20.73	6.91
9.0	2.5	0.196	19.63	2.08	0.5	9.0	5.88	25.52	8.51
10.0	3.0	0.196	23.56	2.20	0.5	10.0	6.91	30.47	10.16
11.0	2.5	0.196	19.63	2.25	0.5	11.0	7.78	27.41	9.14
12.0	2.0	0.196	15.71	2.20	0.5	12.0	8.29	24.00	8.00
13.0	3.0	0.196	23.56	2.30	0.5	13.0	9.39	32.96	10.99
14.0	4.0	0.196	31.42	2.45	0.5	14.0	10.78	42.19	14.06
15.0	15.0	0.196	117.81	3.50	0.5	15.0	16.49	134.30	44.77
16.0	21.0	0.196	164.93	4.84	0.5	16.0	24.33	189.26	63.09
17.0	30.0	0.196	235.62	6.64	0.5	17.0	35.46	271.08	90.36
18.0	40.0	0.196	314.16	8.86	0.5	18.0	50.10	364.26	121.42
19.0	41.0	0.196	322.01	10.87	0.5	19.0	64.88	386.90	128.97
20.0	42.0	0.196	329.87	12.70	0.5	20.0	79.80	409.66	136.55
21.0	39.0	0.196	306.31	14.16	0.5	21.0	93.42	399.72	133.24
22.0	36.0	0.196	282.74	15.31	0.5	22.0	105.82	388.56	129.52
23.0	37.0	0.196	290.60	16.40	0.5	23.0	118.50	409.10	136.37
24.0	39.0	0.196	306.31	17.47	0.5	24.0	131.72	438.03	146.01

LAMPIRAN H
METODE PELAKSANAAN



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH – NOBEM

ESTIMASI UMUR BETON DAN PRATEGANGAN

PRATEGANGAN LANTAI 1



Umur beton :

Lantai 1 = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 5 = 0 hari

Gaya Prategang :

Lantai 1 = 0 hari

Beban statis : 1,0 DL

PRATEGANGAN LANTAI 2



Umur beton :

Lantai 5 = 42 hari

Lantai 6 = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 2 = 28 hari

Lantai 1 = 0 hari

Gaya Prategang :

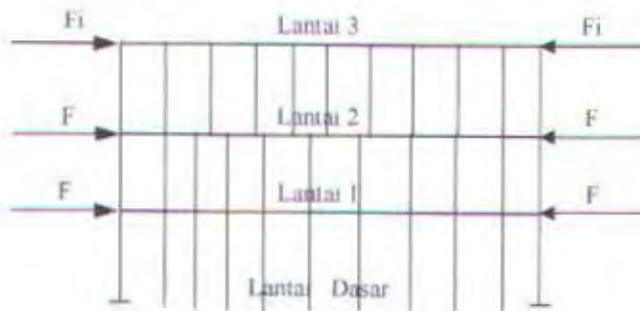
Lantai 1 = F (28 hari)

Lantai 2 = Fi

Beban statis : 1,0 DL

Saat Lantai 2 akan diprategang, Lantai 1 menahan seluruh beban di lantai 2 yang didistribusikan melalui perancah.

PRATEGANGAN LANTAI 3



Umur beton :

Lantai 1 = 70 hari

Lantai 2 = 42 hari

Lantai 3 = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 1 = 56 hari

Lantai 2 = 28 hari

Lantai 3 = 0 hari

Beban statis : 1,0 DL

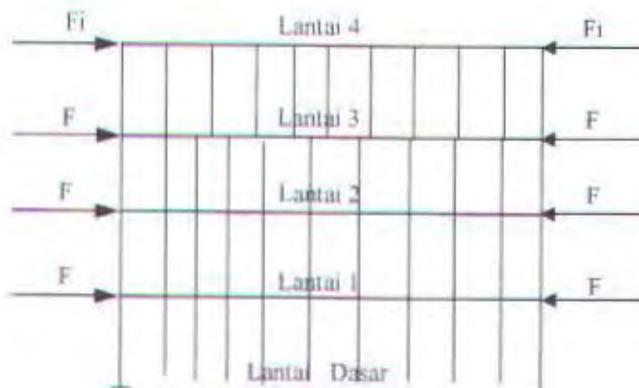
Gaya Prategang :

Lantai 1 = F (56 hari)

Lantai 2 = F (28 hari)

Lantai 3 = F_i

PRATEGANGAN LANTAI 4



Umur beton :

Lantai 1 = 98 hari

Lantai 2 = 70 hari

Lantai 3 = 42 hari

Lantai 4 = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 1 = 84 hari

Lantai 2 = 56 hari

Lantai 3 = 28 hari

Lantai 4 = 0 hari

Beban statis : 1,0 DL

Gaya Prategang :

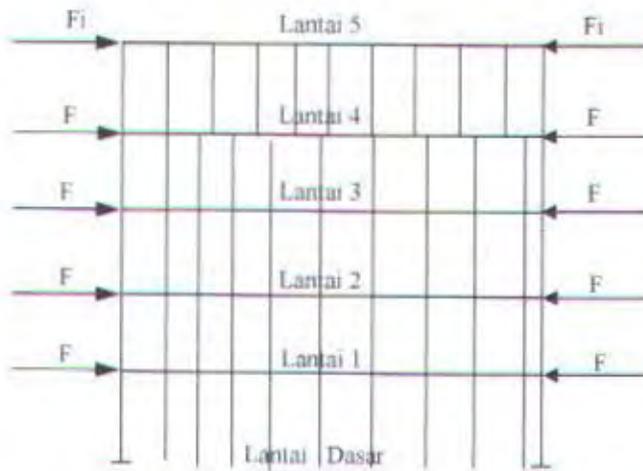
Lantai 1 = F (84 hari)

Lantai 2 = F (56 hari)

Lantai 3 = F (28 hari)

Lantai 4 = F_i

PRATEGANGAN LANTAI 5



Umur beton :

Lantai 1 = 126 hari

Lantai 2 = 98 hari

Lantai 3 = 70 hari

Lantai 4 = 42 hari

Lantai 5 = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 1 = 112 hari

Lantai 2 = 84 hari

Lantai 3 = 56 hari

Lantai 4 = 28 hari

Lantai 5 = 0 hari

Beban statis : 1,0 DL

Gaya Prategang :

Lantai 1 = F (112 hari)

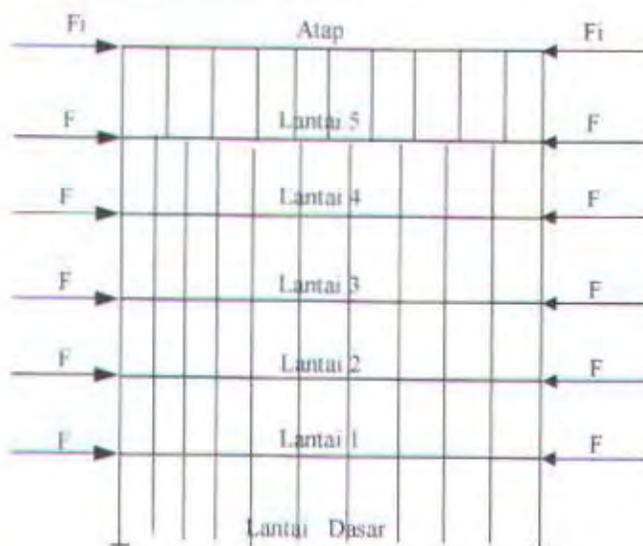
Lantai 2 = F (84 hari)

Lantai 3 = F (56 hari)

Lantai 4 = F (28 hari)

Lantai 5 = F_i

PRATEGANGAN ATAP



Umur beton :

Lantai 1 = 154 hari

Lantai 2 = 126 hari

Lantai 3 = 98 hari

Lantai 4 = 70 hari

Lantai 5 = 42 hari

Lantai Atap = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 1 = 140 hari

Lantai 2 = 112 hari

Lantai 3 = 84 hari

Lantai 4 = 56 hari

Lantai 5 = 28 hari

Lantai Atap = 0 hari

Beban statis : 1,0 DL

Gaya Prategang :

Lantai 1 = F (140 hari)

Lantai 2 = F (112 hari)

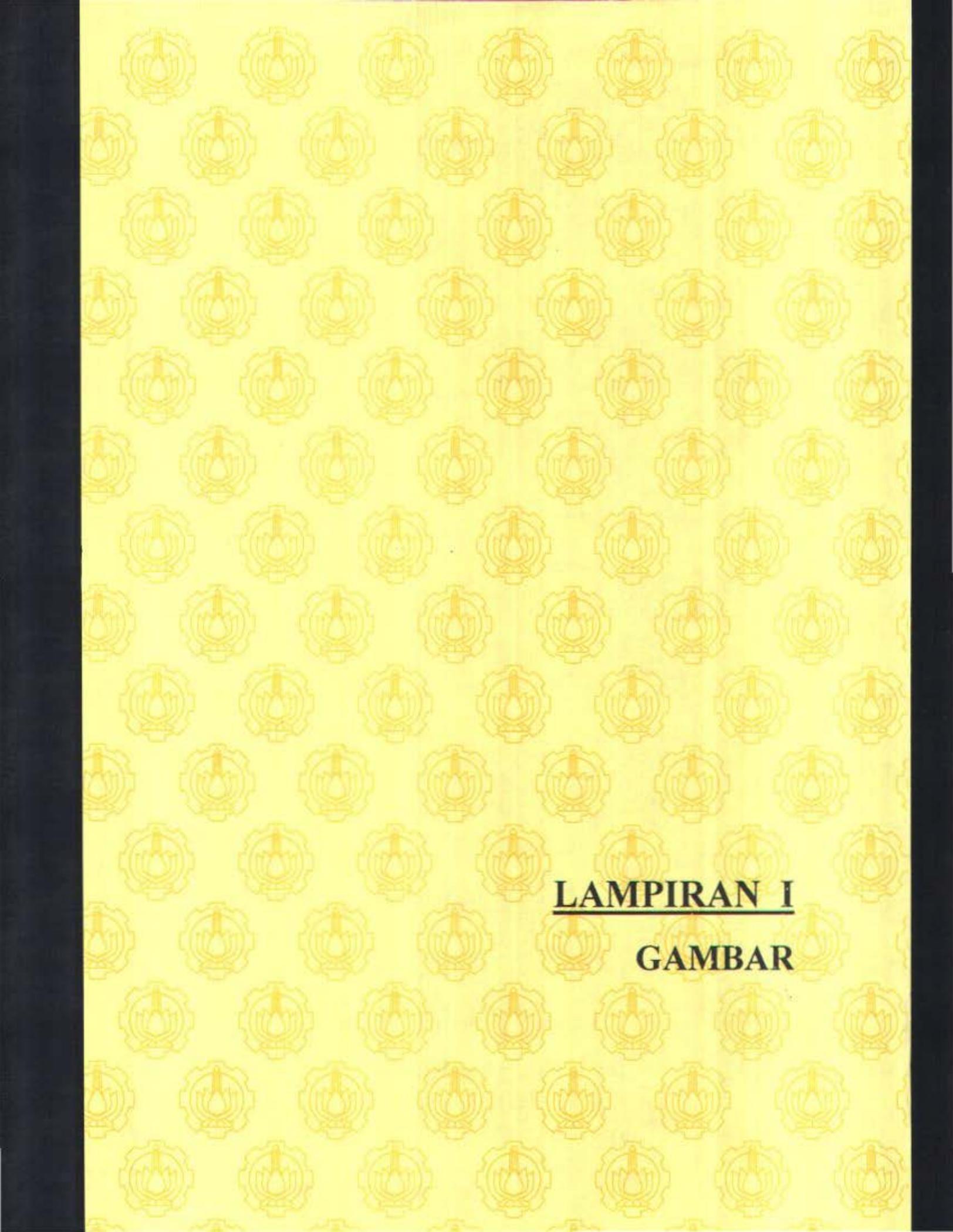
Lantai 3 = F (84 hari)

Lantai 4 = F (56 hari)

Lantai 5 = F (28 hari)

Lantai Atap = Fi

Setelah seluruhnya di jacking, perancah baru boleh dibongkar dengan terlebih dahulu membongkar perancah di lantai paling atas (Atap).



LAMPIRAN I

GAMBAR