

675 / ITS / 4 / 2004



## TUGAS AKHIR

# MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PT. PELNI SURABAYA DENGAN BALOK PRATEKAN

Oleh :

DONNY MEGA UTAMA  
3197 100 049



RIS  
690.523  
Uta  
M-1  

---

2003

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

2003

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	4-4-2003
Terima Dari	FI

**TUGAS AKHIR**

**MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PT. PELNI  
SURABAYA DENGAN BALOK PRATEKAN**

**SURABAYA, JANUARI 2003  
MENGETAHUI / MENYETUJUI**

**DOSEN PEMBIMBING 1**

**DOSEN PEMBIMBING 2**



**Ir. DJOKO IRAWAN, MS.**  
NIP. 131 651 440



**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  
2003**

# MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG PT. PELNI SURABAYA DENGAN BALOK PRATEKAN

## Oleh :

DONNY MEGA UTAMA  
NRP : 3197.100.049

## Dosen Pembimbing :

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
BUDI SUSWANTO, ST., MT.

## ABSTRAK

Gedung PT. PELNI Surabaya adalah gedung yang dirancang sebagai pusat perkantoran yang menunjang kinerja perusahaan. Untuk mendapatkan ruang yang luas, dilakukan modifikasi perencanaan dengan menggunakan balok-balok pratekan. Pertimbangan pemilihan beton pratekan adalah dari kemampuannya untuk memikul beban dengan bentang yang besar. Hal ini dikarenakan beton pratekan mampu mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi secara aktif. Selain itu dimensi balok pratekan jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan balok bertulang dengan bentang yang sama, sehingga dapat mengurangi berat mati struktur.

Modifikasi perencanaan struktur hanya ditinjau dari segi teknis struktur saja, tanpa mempertimbangkan segi ekonomi dan estetika. Analisa struktur gedung mengacu pada peraturan yang berlaku di Indonesia dan peraturan penunjang lainnya. Secara umum struktur gedung direncanakan dengan memenuhi persyaratan keamanan struktur, berdasarkan kekuatan dan deformasi yang timbul akibat beban yang bekerja pada struktur tersebut dengan tingkat daktilitas 2.

Khusus untuk balok pratekan, perencanaan didasarkan pada metode pelaksanaan di lapangan dengan mempertimbangkan kekuatan dan perilaku komponen struktur pada tahap yang kritis sejak saat prategangan diberikan. Kehilangan pratekan merupakan faktor yang penting dalam analisa balok pratekan, karena dapat mengurangi kekuatan keseluruhan struktur.

Kolom yang memikul balok pratekan mengalami pengaruh yang cukup besar akibat adanya gaya prategang. Pengaruh terbesar terdapat pada kolom terbawah yang memikul balok pratekan tersebut. Untuk mengatasi masalah ini dilakukan penambahan jumlah tulangan lentur-aksial kolom secara gradual berdasarkan beban-beban luar yang terjadi. Semakin ke bawah jumlah tulangan kolom semakin mengecil.

Kata kunci : *balok pratekan, kehilangan pratekan, perencanaan struktur.*

*Penulis menghaturkan terima kasih sebesar-besarnya atas segala kontribusi yang telah diberikan :*

- ❧ Allah SWT -yang telah menentukan jalan hidup makhluk-Nya- dengan segala rahmat dan nikmat yang tak terbatas.*
- ❧ Mama dan Papa atas segala kasih sayang, perhatian, dan doa restunya.*
- ❧ Pak Djoko Irawan dan Pak Budi Suswanto atas bimbingan dan arahnya*
- ❧ Adik-adikku tercinta, Vivin dan Wawan yang memberikan warna terang hari-hariku.*
- ❧ Miftachul Ilmah, terima kasih sedalam-dalamnya atas segala kesabaran dan keikhlasan perhatian yang diberikan.*
- ❧ Sobat-sobatku : Febby, Hisyam (atas sharingnya), Heri (hari-hari terakhir yang berkesan), Wanda, Yulia, Popi, Budi, Bambang, Feny, Meinar, Pakdhe 'Candra', Wowon, Pipit '99.*
- ❧ Tidak lupa juga kepada : Komeng (it's a great teamwork), Mbak Dian (trims TA-nya), Faried 'Karung', Rofi, Agus, Dani, Ginting '99', Ari, Didik 'Gopel', Hendra '96', Imam dan seluruh crew S-40.*
- ❧ Mas Dony dan Mbak Dewi, terima kasih dukungannya.*
- ❧ Arek-arek Malang : Mawan, Agung-Dwi (suwun sing akeh), Rindra, Dodok, Wadudi dan Vita.*
- ❧ Pak Parno, Mas Pardi dan seluruh penghuni kos U-199.*
- ❧ Mbah 'Mo (baksonya), Cak So dan Pak Damiri.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah swt atas segala rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Tugas akhir dengan judul *Modifikasi Perencanaan Gedung PT. Peln Surabaya dengan Balok 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. Ir. Djoko Irawan, MS. dan Budi Suswanto, ST, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ir. Hidajat Soegihardjo, MS. dan Ir. Sudiwaluyo MSc selaku dosen wali penyusun.
3. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc, PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. 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, Januari 2003

Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman	
ABSTRAK		
KATA PENGANTAR	i	
DAFTAR ISI	ii	
DAFTAR GAMBAR	v	
DAFTAR TABEL	vi	
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1.	Latar Belakang	1
1.2.	Tujuan	1
1.3.	Perumusan Masalah	2
1.4.	Batasan Masalah	2
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.	Perencanaan Tulangan Lentur	3
2.1.1.	Perencanaan Lentur dengan Tulangan Tunggal	4
2.1.2.	Perencanaan Lentur dengan Tulangan Rangkap	4
2.1.3.	Perencanaan Lentur Balok T	5
2.1.4.	Rasio Tulangan Minimum dan Maksimum	6
2.1.5.	Lendutan	7
2.1.6.	Retak	8
2.1.7.	Panjang Penyaluran	9
2.2.	Perencanaan Tulangan Geser	10
2.2.1.	Kekuatan Geser oleh Beton	10
2.2.2.	Kekuatan Geser oleh Tulangan Geser	11
2.3.	Perencanaan Tulangan Torsi	12
2.4.1.	Kuat Momen Torsi oleh Beton	12
2.4.2.	Kuat Momen Torsi oleh Tulangan Torsi	12
2.4.	Pelat	13
2.4.1.	Pelat Satu Arah (Non Pratekan)	13
2.4.2.	Pelat Dua Arah (Non Pratekan)	13
2.5.	Balok Anak dan Balok Induk	14
2.6.	Balok Pratekan	16
2.6.1.	Sistem Pasca-Tarik Beton Pratekan	16
2.6.2.	Penentuan Gaya Prategang Awal	16
2.6.3.	Kehilangan Gaya Prategang ( <i>Loss of Prestress</i> )	18
2.6.4.	Gaya Prategang Efektif	29
2.6.5.	Momen Nominal Balok Pratekan Partial Prestress	30
2.6.6.	Perencanaan Geser	31
2.6.7.	Struktur Statis Tak Tentu	32
2.7.	Kolom	35
2.9.1.	Panjang Tekuk Kolom	36
2.9.2.	Pembatasan Tulangan Kolom	36
2.9.3.	Kolom Pendek	37
2.9.4.	Kolom Panjang	37
2.9.5.	Penulangan Lentur-Aksial Kolom	39
2.9.6.	Kontrol dengan <i>Bresler Reciprocal Method</i>	40

	2.9.7. Penulangan Geser dan Torsi Kolom	41
2.8.	Pertemuan Balok dan Kolom	42
2.9.	Pembebanan	
	2.9.1. Pengertian Pembebanan	44
	2.9.2. Tipe-tipe Pembebanan	44
	2.9.3. Ketentuan Mengenai Kekuatan dan Laik Pakai	45
2.10.	Perencanaan Gempa	46
	2.10.1. Umum	46
	2.10.2. Daktilitas	46
2.11.	Perencanaan Pondasi	49
	2.11.1. Data Tanah	50
	2.11.2. Perencanaan Tiang Pancang	50
BAB III	METODOLOGI	
3.1.	Diagram Alur Perencanaan Gedung	54
3.2.	Diagram Alur Perencanaan Balok Pratekan	57
3.3.	Data Teknis	59
3.4.	Metode Analisa	59
3.5.	Asumsi yang Dipakai	61
3.6.	Peraturan yang Dipakai	61
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Umum	62
4.2.	Kriteria Perencanaan	62
4.3.	<i>Preliminary Design</i>	63
4.4.	Kombinasi Pembebanan	64
4.5.	Perhitungan Pembebanan	
	4.5.1. Beban Gravitasi	65
	4.5.2. Beban Gempa	70
4.6.	Perencanaan Pelat ( <i>Two Way Slab</i> )	
	4.6.1. Kontrol Tebal Pelat	71
	4.6.2. Perencanaan Tulangan Lentur Pelat	74
	4.6.3. Kontrol Lendutan	76
	4.6.4. Kontrol Retak	78
4.7.	Perencanaan Tangga	
	4.8.1. Perencanaan Dimensi Tangga	85
	4.8.2. Pembebanan Tangga	86
	4.8.3. Penulangan Lentur Tangga	87
	4.8.4. Penulangan Geser Tangga	89
	4.8.5. Perencanaan Balok Bordes	89
4.8.	Perencanaan Balok Anak	
	4.8.1. Contoh Perencanaan Balok Anak Lantai 2	93
	4.8.2. Contoh Perencanaan Balok Anak Lantai 5	95
4.9.	Analisa Struktur Utama	
	4.9.1. Berat Lantai dan Koordinat Pusat Massa	102
	4.9.2. Kontrol Partisipasi Massa pada Analisa Dinamis	103
	4.9.3. Kontrol Gaya Geser Dasar	103
4.10.	Perencanaan Balok Pratekan	
	4.10.1. Tegangan Ijin Beton Pratekan	104
	4.10.2. Dimensi Penampang	104
	4.10.3. Perhitungan Daerah Limit Kabel	106

4.10.4.	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang	107
4.10.5.	Kontrol Tegangan	115
4.10.6.	Kontrol Kekuatan Batas Balok Pratekan	118
4.10.7.	Penulangan Geser Balok Pratekan	121
4.10.8.	Kontrol Lendutan	123
4.11.	Perencanaan Balok Induk	
4.11.1.	Perhitungan Tulangan di Daerah Tumpuan	167
4.11.2.	Perhitungan Tulangan di Daerah Lapangan	169
4.11.3.	Perhitungan Tulangan Torsi	170
4.11.4.	Perhitungan Tulangan Geser	170
4.11.5.	Panjang Penyaluran	171
4.11.6.	Kontrol Retak	173
4.11.7.	Kontrol Lendutan	173
4.12.	Perencanaan <i>Beam Column Joint</i>	
4.12.1.	Langkah Perhitungan <i>Beam Column Joint</i>	178
4.12.2.	Contoh Perhitungan <i>Beam Column Joint</i>	179
4.13.	Perencanaan Kolom	
4.13.1.	Penulangan Lentur-Aksial Kolom	181
4.13.2.	Perhitungan Geser dan Torsi	184
4.14.	Perencanaan Pondasi	
4.14.1.	Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang	188
4.14.2.	Perhitungan Jumlah Tiang dan Dimensi Poer	188
4.14.3.	Kontrol Kekuatan Tiang terhadap Gaya Lateral	190
4.14.4.	Perencanaan Poer	191
4.14.5.	Perencanaan Sloof	194
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		201
DAFTAR PUSTAKA		203
LAMPIRAN A : Perencanaan Pelat		204
LAMPIRAN B : Analisa Struktur Utama		206
LAMPIRAN C : Pembebanan		239
LAMPIRAN D : Perencanaan Balok Pratekan		243
LAMPIRAN E : Perencanaan Tangga		252
LAMPIRAN F : Perencanaan Balok Anak		255
LAMPIRAN G : Perencanaan Kolom		264
LAMPIRAN H : Perencanaan Pondasi		266

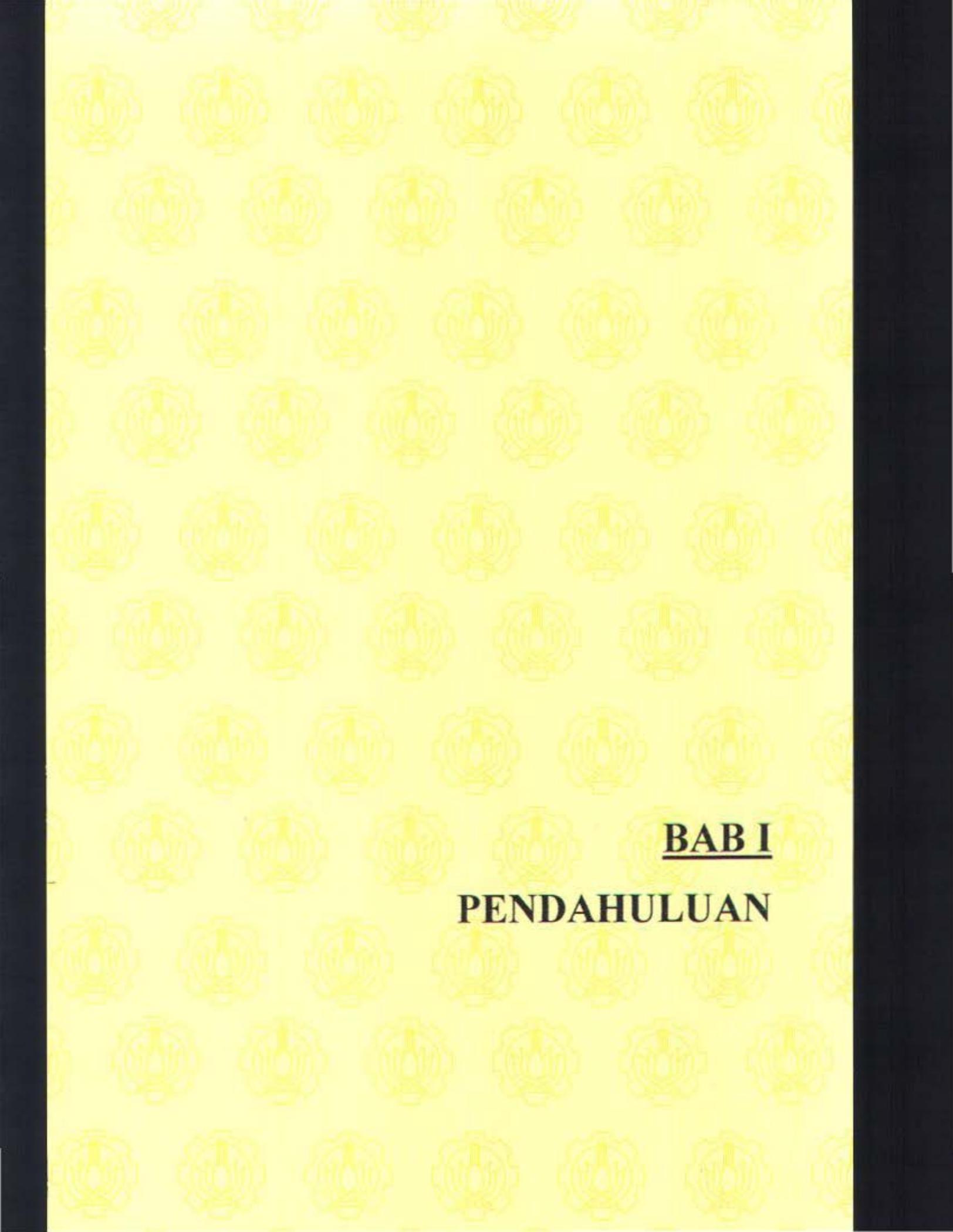
## DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Diagram regangan-tegangan tulangan tunggal	4
2.2	Diagram regangan-tegangan tulangan rangkap	4
2.3	Diagram regangan-tegangan balok T	6
2.4	Peninjauan retak struktur	8
2.5	Ketentuan perencanaan pelat	14
2.6	Pemodelan balok anak sistem grid	15
2.7	Ketentuan perencanaan balok	15
2.8	Kehilangan tegangan akibat slip ankur	20
2.9	Penentuan sudut pusat tendon	22
2.10	Kurva perbandingan rangkai terhadap waktu	23
2.11	Kurva perbandingan susut terhadap waktu	26
2.12	Kurva variasi relaksasi baja terhadap waktu	28
2.13	Pengaruh gaya prategang terhadap kolom	33
2.14	Distribusi beban pada balok	45
3.1	Diagram alur perencanaan gedung	54
3.2	Diagram alur perencanaan balok pratekan	57
4.1	Pelat terjepit elastis	74
4.2	Perencanaan tangga	85
4.3	Dimensi balok pratekan	104
4.4	Daerah limit kabel pratekan	106
4.5	Pertemuan balok kolom	178
4.6	Rencana penempatan tiang pancang	189
4.7	Kontrol geser pons	192
4.8	Pemodelan poer	193
4.9	Hubungan kedalaman H dengan P ijin	197

## DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Tebal minimum balok atau pelat satu arah	7
2.2	Koefisien gesekan untuk tendon pasca-tarik	21
2.3	Selang waktu minimum pasca-tarik	23
2.4	Faktor creep, SCF	24
2.5	Faktor creep, MCF	25
2.6	Variasi creep menurut waktu setelah transfer, AUC	25
2.7	Faktor susut, SSF	27
2.8	Koefisien susut untuk beberapa waktu pengerasan, AUS	27
2.9	Prosentase kehilangan prategangan	29
4.1	Dimensi elemen struktur gedung	64
4.2	Beban merata balok lantai	67
4.3	Beban merata balok atap	68
4.4	Beban terpusat akibat balok anak	69
4.5	Massa item per satuan luas panjang	70
4.6	Kontrol tebal pelat lantai	79
4.7	Kontrol tebal pelat atap	80
4.8	Perhitungan momen pelat lantai	81
4.9	Perhitungan momen pelat atap	82
4.10	Penulangan pelat lantai	83
4.11	Penulangan pelat atap	84
4.12	Perhitungan tulangan lentur balok anak	100
4.13	Perencanaan geser balok anak	101
4.14	Berat struktur dan koordinat pusat massa	102
4.15	Koefisien C untuk zone 4 tanah lunak	103
4.16	Tahapan waktu perhitungan kehilangan prategang tidak langsung	108
4.17	Angka pengali untuk memperkirakan lendutan jangka panjang	124
4.18	Mmin dan Mmax rencana balok patekan	126
4.19	Daerah limit kabel	127
4.20	Gaya prategang rencana dan pemilihan tendon	128
4.21	Kontrol tegangan saat transfer	129
4.22	Kehilangan prategang langsung	130
4.23	Kehilangan gaya prategang (Tahap 1)	131
4.24	Relaksasi baja (Tahap 2)	132
4.25	Rangkak beton (Tahap 2)	133
4.26	Susut beton (Tahap 2)	134
4.27	Kehilangan prategang total (Tahap 2)	135
4.28	Kontrol tegangan (Tahap 2)	136
4.29	Relaksasi baja (Tahap 3)	137
4.30	Rangkak beton (Tahap 3)	138
4.31	Susut beton (Tahap 3)	139
4.32	Kehilangan prategang total (Tahap 3)	140
4.33	Kontrol tegangan (Tahap 3)	141
4.34	Relaksasi baja (Tahap 4)	142

4.35	Rangkak beton (Tahap 4)	143
4.36	Susut beton (Tahap 4)	144
4.37	Kehilangan prategang total (Tahap 4)	145
4.38	Kontrol tegangan (Tahap 4)	146
4.39	Relaksasi baja (Tahap 5)	147
4.40	Rangkak beton (Tahap 5)	148
4.41	Susut beton (Tahap 5)	149
4.42	Kehilangan prategang total (Tahap 5)	150
4.43	Kontrol tegangan (Tahap 5)	151
4.44	Relaksasi baja (Tahap 6)	152
4.45	Rangkak beton (Tahap 6)	153
4.46	Susut beton (Tahap 6)	154
4.47	Kehilangan prategang total (Tahap 6)	155
4.48	Kontrol tegangan (Tahap 6)	156
4.49	Relaksasi baja (Tahap 7)	157
4.50	Rangkak beton (Tahap 7)	158
4.51	Susut beton (Tahap 7)	159
4.52	Kehilangan prategang total (Tahap 7)	160
4.53	Prosentase kehilangan prategang	161
4.54	Kontrol tegangan (Tahap 7)	162
4.55	Perhitungan $M_{cr}$ dan $M_n$ lapangan balok pratekan	163
4.56	Perhitungan $M_{cr}$ dan $M_n$ tumpuan balok pratekan	164
4.57	Perhitungan tulangan geser daerah tumpuan	165
4.58	Perhitungan tulangan geser daerah lapangan	166
4.59	Perhitungan tulangan balok daerah lapangan	174
4.60	Perhitungan tulangan balok daerah tumpuan negatif	175
4.61	Perhitungan tulangan balok daerah tumpuan positif	176
4.62	Perencanaan geser balok induk	177
4.63	Perhitungan tulangan lentur-aksial kolom	186
4.64	Perhitungan tulangan geser kolom	187
4.65	Perhitungan daya dukung tanah metode Luciano Decourt	196
4.66	Perhitungan daya dukung tiang	198
4.67	Perencanaan poer	199
4.68	Perencanaan sloof	200



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gedung PT. PELNI (Persero) Surabaya adalah gedung yang dirancang sebagai pusat perkantoran yang menunjang kinerja perusahaan. Gedung ini terdiri atas 8 lantai dimana didalamnya termasuk lantai atap. Struktur eksisting gedung PT. PELNI (Persero) adalah beton bertulang biasa dengan sistem pracetak pelat dan balok pada seluruh lantainya. Sedangkan pada kolom dilakukan system cor setempat.

Sebagai bahan studi, penulis melakukan modifikasi perencanaan struktur pada empat lantai teratas gedung PT. PELNI (Persero) ini. Struktur utama (balok) dimodifikasi dengan menggunakan balok-balok pratekan satu arah. Karena balok pratekan mampu memikul beban-beban luar pada bentang yang relative besar, maka kolom-kolom interior gedung dapat dihilangkan. Sehingga akan diperoleh ruangan yang luas dan bebas halangan.

Penggunaan balok pratekan sebagai material konstruksi saat ini telah berkembang cepat, karena beton pratekan memiliki kelebihan-kelebihan antara lain :

- Untuk balok dengan bentang yang cukup besar, ukuran balok pratekan akan lebih kecil daripada balok beton bertulang biasa. Dengan demikian akan menguirangi berat mati struktur.
- Dengan ukuran balok pratekan yang lebih kecil membuat ruang bebas antar lantai menjadi lebih tinggi, sehingga dari segi arsitektural lebih unggul.

### 1.2 Tujuan

Secara garis besar tujuan dari penyusunan tugas akhir dengan mengambil obyek Gedung PT. PELNI 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.

### 1.3 Perumusan Masalah

Dalam perencanaan struktur ini, yang perlu diperhatikan adalah bagaimana merencanakan kemampuan struktur terhadap beban yang bekerja pada struktur bersangkutan. Khusus untuk konstruksi beton pratekan perlu diperhatikan adalah pengaruh gaya-gaya yang diakibatkan oleh penarikan tendon terhadap keseluruhan struktur.

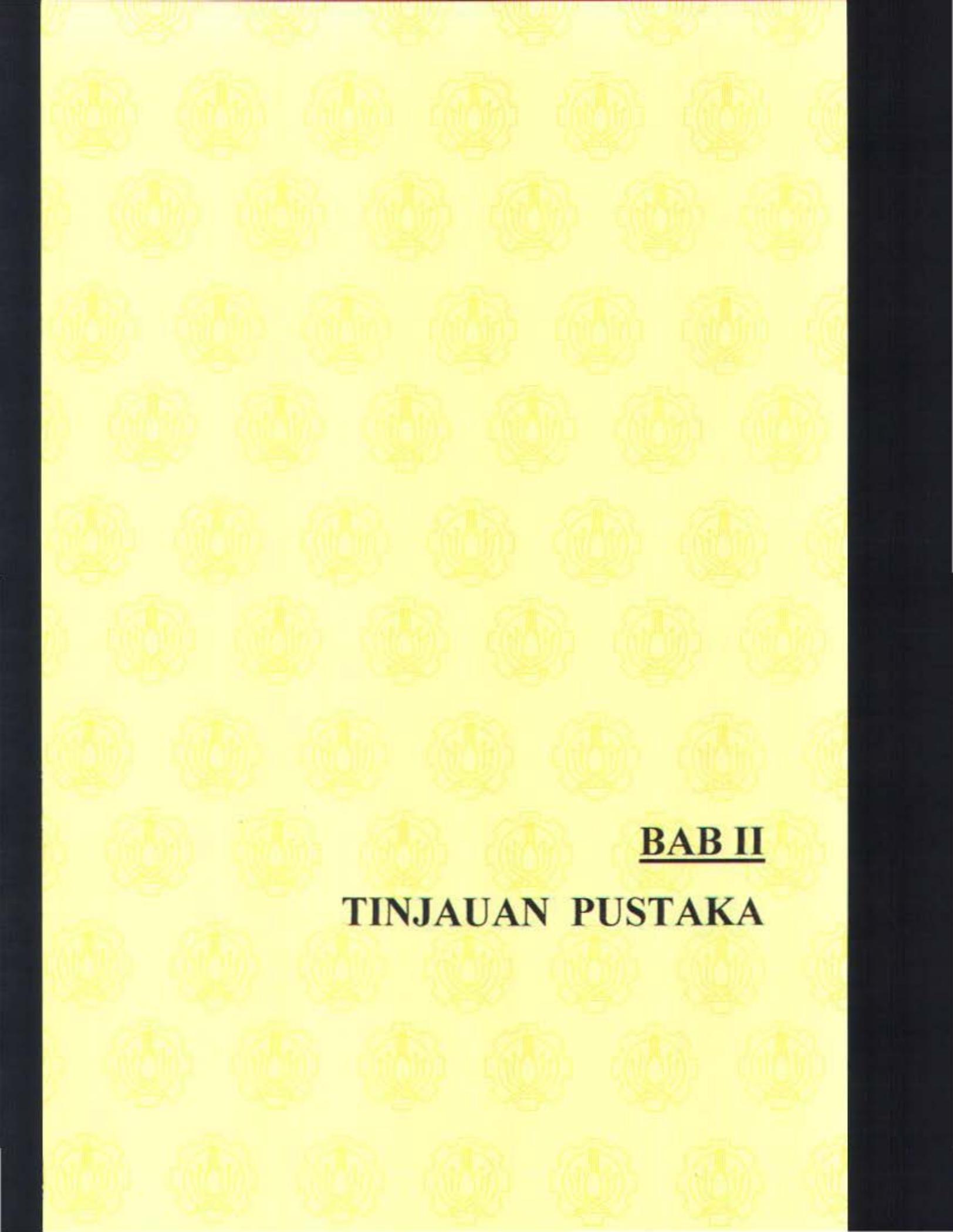
### 1.4 Batasan Masalah

Penulisan tugas akhir ini mencakup batasan-batasan sebagai berikut :

- Pada perencanaan Gedung PT. PELNI ini hanya ditinjau dari segi teknis saja. Sedangkan tinjauan dari segi estetika dan ekonomi tidak dilakukan, karena perencanaan pada tugas akhir ini hanya sebagai bahan studi.
- Modifikasi perencanaan dilakukan pada lantai 5 sampai atap gedung dari struktur beton bertulang dengan sistem pracetak menjadi struktur beton pratekan. Perencanaan struktur yang dilakukan tersebut meliputi :

- Struktur Utama : Balok induk, balok pratekan, dan kolom.
- Struktur Sekunder : Pelat, balok anak dan tangga.
- Bangunan Bawah : Poer dan tiang pancang.





**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Perencanaan Tulangan Lentur

Asumsi yang dipergunakan dalam analisa beton bertulang yang diberi beban lentur adalah :

- Regangan dalam tulangan dan beton diasumsikan berbanding langsung dengan jarak dari sumbu netral.
- Regangan maksimum pada serat tekan beton terluar sama dengan 0,003.
- Tegangan dalam tulangan dibawah kuat leleh  $f_y$ , harus diambil sebesar  $E_s \times \epsilon_s$ , untuk regangan yang lebih besar dari regangan yang diberikan  $f_y$ , tegangan pada tulangan harus dianggap tidak tergantung pada regangan dan sama dengan  $f_y$ .
- Kuat tarik beton diabaikan dalam perhitungan lentur beton bertulang.
- Hubungan antara tegangan dan regangan beton dapat dinyatakan secara skematis. Apabila diasumsikan berbentuk persegi ekuivalen, dapat dipakai ketentuan sebagai berikut :

(a). Tegangan beton sebesar  $0.85f_c'$  diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak  $a = \beta_1.c$  dari serat dengan regangan tekan maksimum.

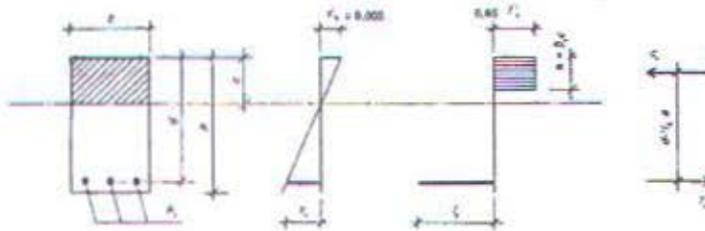
(b). Faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar :

$$\beta_1 = 0.85 \dots\dots\dots \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - ( f_c' - 30 ) \times 0.008 \dots\dots \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 \geq 0.65 \dots\dots\dots \text{ untuk } f_c' \leq 55 \text{ MPa}$$

### 2.1.1 Perencanaan lentur dengan tulangan tunggal



**Gambar 2.1** Diagram regangan-tegangan dengan tulangan tunggal

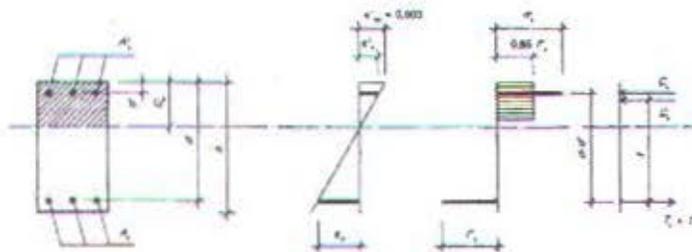
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa :

$$C = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \quad \rightarrow \quad C = T$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

Perencanaan ini digunakan pada perhitungan tulangan lentur pada struktur sekunder (pelat, tangga dan balok anak).

### 2.1.2 Perencanaan lentur dengan tulangan rangkap



**Gambar 2.2** Diagram regangan-tegangan dengan tulangan rangkap

Dari gambar di atas analisisnya dapat diuraikan dalam dua bagian :

$$\text{Bagian I} \quad T_s = (A_s - A_s') \cdot f_y \quad \rightarrow \quad C_c = T_s$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b$$

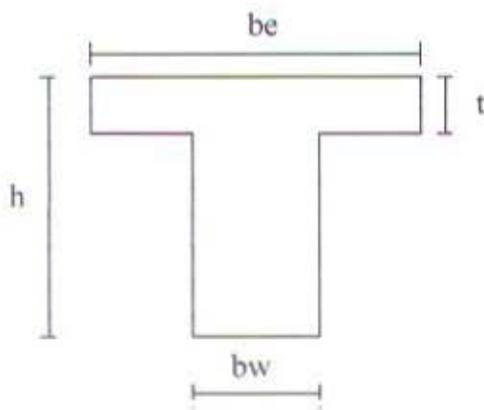
$$\text{Bagian II} \quad C_s = T_c s = A_s' \cdot f_y$$

Perencanaan ini digunakan pada perhitungan tulangan lentur balok induk yang mengalami momen bolak-balik akibat beban lateral gempa.

### 2.1.3 Perencanaan Lentur Balok-T

Pada suatu struktur dimana balok monolit dengan pelat lantai, maka balok ini dinamakan balok – T. Penampang T ini terdiri dari bagian pelat yang menjorok di kedua sisi balok sebagai flens dan bagian badan balok itu sendiri. Untuk momen lentur negatif flens berada di dalam sisi tekan, sehingga penampang T berlaku sebagai suatu penampang persegi. Untuk momen lentur positif flens menyediakan luas tekan yang jauh lebih besar daripada luas tekan pada penampang dengan momen negatif.

Peraturan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10.2 menetapkan lebar efektif flens  $b_e$ , untuk penampang balok – T interior, sebagai yang terkecil dari berikut :

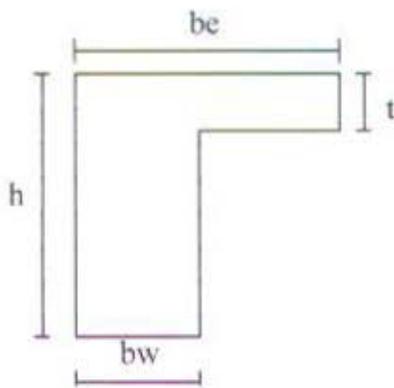


$$b_e = \frac{L}{4}$$

$$b_e = b_w + 16t$$

$$b_e = \frac{1}{2}l_1 + \frac{1}{2}l_2$$

Untuk penampang balok – T eksterior (balok L) :



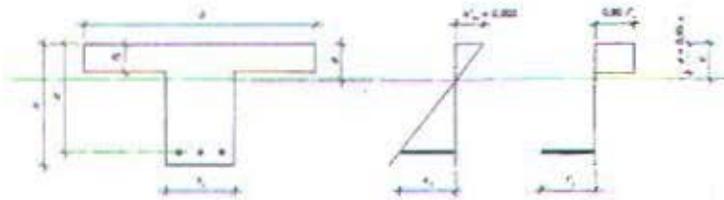
$$b_e = b_w + \frac{L}{12}$$

$$b_e = b_w + 6t$$

$$b_e = b_w + \frac{1}{2}l_1$$

dimana

- L = bentang balok
- $b_w$  = lebar badan balok
- t = tebal pelat
- $l_1$  &  $l_2$  = jarak bersih dari badan balok yang bersebelahan



**Gambar 2.3** Diagram regangan-tegangan balok-T

Dalam perhitungan balok sebagai balok T, berarti seluruh daerah tekan harus terdapat dalam daerah flens ( $c < hf$ ). Maka :

bila  $c < hf$  → dianalisa sebagai balok persegi  
 bila  $c > hf$  → dianalisa sebagai balok T sesungguhnya

#### 2.1.4 Rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ ) dan rasio tulangan maksimum ( $\rho_{max}$ ).

SKSNI T-15-1991-03 memberikan batasan-batasan rasio tulangan untuk perencanaan lentur sebagai berikut :

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \dots\dots\dots \text{SKSNI '91 3.3.5-1}$$

Sebagai alternatif SKSNI T '91 pasal 3.3.3-5 mengijinkan rasio tulangan minimum diperbesar  $\frac{4}{3}$  rasio tulangan yang diperlukan.

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b \dots\dots\dots \text{SKSNI '91 3.3.3-3}$$

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

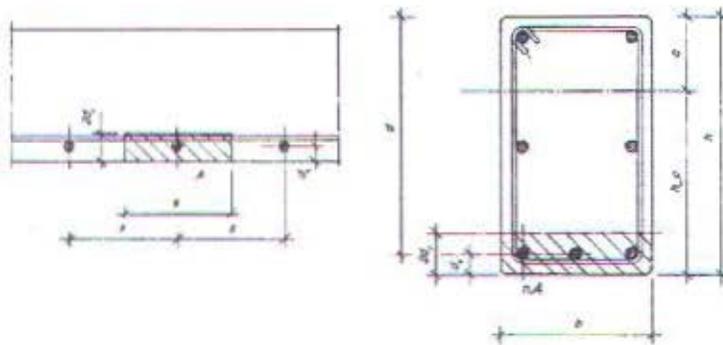
- untuk  $\alpha_m < 2$  ..... 120 mm
- untuk  $\alpha_m \geq 2$  ..... 90 mm

dimana :

- $l_n$  = bentang bersih sisi terpanjang
- $\alpha_m$  = rasio rata-rata  $\alpha$  dari kekakuan balok pada tepi pelat
- $h$  = tebal pelat
- $\beta$  = rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek.

### 2.1.6 Retak

Retak pada struktur dengan penulangan dapat mengakibatkan korosi terhadap baja tulangan. Karena itu suatu hal yang wajar bila retak perlu ditinjau.



**Gambar 2.4** Peninjauan retak struktur

Besarnya retak yang terjadi menurut SKSNI 1991 pasal 3.3.6.4 adalah :

$$z = f_s \times \sqrt[3]{dc \cdot A} \leq 30 \text{ MN/m} \quad \text{untuk struktur di dalam ruangan}$$

$$\leq 25 \text{ MN/m} \quad \text{untuk struktur yang dipengaruhi cuaca}$$

dimana :  $A = 2 \cdot dc \cdot s$  ; dengan  $s$  adalah jarak antara tulangan.

$$A = \frac{2 \cdot dc \cdot b}{n} \quad ; \text{ dengan } n \text{ adalah jumlah tulangan per lebar balok } b$$

### 2.1.7 Panjang penyaluran

Agar beton bertulang dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan komposit, dimana tulangan bekerja sepenuhnya dengan beton, maka perlu diusahakan agar terjadi penyaluran gaya yang baik dari satu bahan ke bahan lainnya. Untuk mendapatkan lekatan yang baik, baja harus tertanam di dalam beton hingga suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan panjang penyaluran.

SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.5 mengatur tentang panjang penyaluran dan penyambungan tulangan sebagai berikut :

(1). Panjang penyaluran tulangan tarik

Panjang penyaluran dasar  $l_{db}$  untuk tulangan D-36 atau lebih kecil :

$$l_{db} = 0.02 A_b \cdot f_y / \sqrt{f_c'}$$

tetapi tidak kurang dari :  $0.06 d_b \cdot f_y$

Panjang penyaluran dasar  $l_{db}$  dikalikan dengan faktor :

1.4 ..... akibat tulangan atas

Panjang penyaluran  $l_d$  tidak kurang dari 300 mm

(2). Panjang penyaluran tulangan tekan

Panjang penyaluran dasar  $l_{db}$  :

$$l_{db} = (d_b \cdot f_y / 4) \sqrt{f_c'}$$

tetapi tidak kurang dari :  $0.04 d_b \cdot f_y$

Panjang penyaluran  $l_d$  tidak kurang dari 200 mm

(3). Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

Panjang penyaluran dasar  $l_{hb}$  kait standar :

$$l_{hb} = 100 d_b / \sqrt{f_c'}$$

Panjang penyaluran dasar  $l_{hb}$  kait standar dikalikan dengan faktor :

$\left( \frac{f_y}{400} \right)$  .....  $f_y$  selain 400 MPa

0.7 ..... untuk tulangan lebih kecil D-36

Panjang penyaluran  $l_{db}$  kait tidak kurang dari : -  $8 d_b$

- 150 mm

(4). Panjang penyaluran dari tulangan momen positif

Paling tidak sepertiga dari tulangan momen positif komponen struktur yang bertumpu pada dua tumpuan dan seperempat dari tulangan momen positif pada komponen struktur yang menerus harus diteruskan ke dalam tumpuan paling sedikit sepanjang :

- 150 mm
- d ..... SKSNI 1991 pasal 3.5.11
- 12 d<sub>b</sub>

(5). Panjang penyaluran dari tulangan momen negatif

Sepertiga dari tulangan tarik pada tulangan negatif diteruskan pada jarak terbesar antara :

- d
- 12d<sub>b</sub> ..... SKSNI 1991 pasal 3.5.12
- l<sub>n</sub> / 16

## 2.2 Perencanaan Tulangan Geser

Gaya geser yang bekerja pada penampang struktur yang ditinjau harus direncanakan sehingga :

$$V_u \leq \phi V_n \quad \text{dimana :}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

- V<sub>u</sub> = gaya geser berfaktor akibat beban luar
- V<sub>n</sub> = kekuatan geser nominal yang direncanakan
- V<sub>c</sub> = kekuatan geser nominal oleh beton
- V<sub>s</sub> = kekuatan geser nominal oleh tulangan geser
- φ = faktor reduksi kekuatan

### 2.2.1 Kekuatan geser oleh beton (V<sub>c</sub>)

(1). Untuk komponen struktur yang dibebani oleh beban geser dan lentur saja :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d$$

(2). Untuk komponen struktur yang dibebani tekan aksial :

$$V_c = 2 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \left( \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \right) b_w d$$



(3). Keseluruhan nilai  $V_c \leq 0.3\sqrt{f_c'}bw.d$

### 2.2.2 Kekuatan geser oleh tulangan geser

Batasan-batasan kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser adalah:

$$V_s \min = \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}bw.d \quad V_s \max = \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}bw.d$$

Kategori desain dan syarat-syarat :

(1).  $V_u \leq 0.5\phi V_c$  → Tidak perlu tulangan geser

(2).  $0.5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$  → Perlu tulangan minimum

dipasang tulangan :  $A_v = \frac{bw.s}{3.f_y}$

dengan  $s \leq d/2$   
 $\leq 600 \text{ mm}$

(3).  $\phi V_c < V_u \leq (\phi V_c + \phi V_s \min)$  → Dipasangkan tulangan geser sesuai ketentuan 2

(4).  $(\phi V_c + \phi V_s \min) < V_u \leq \left(\phi V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}bw.d\right)$

dipasang tulangan :  $V_s = \frac{A_v.f_y.d}{s}$

dengan  $s \leq d/2$   
 $\leq 600 \text{ mm}$

(5).  $\left(\phi V_c + \phi \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}bw.d\right) < V_u \leq \left(\phi V_c + \phi \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}bw.d\right)$

dipasang tulangan :  $V_s = \frac{A_v.f_y.d}{s}$

dengan  $s \leq d/4$   
 $\leq 300 \text{ mm}$

Bila momen torsi berfaktor bekerja lebih dari  $\phi(\sqrt{f_c'}/20)\Sigma x^2 y$ , mak tulangan sengkang

minimum :  $A_v + 2A_t = \frac{bw.d}{3f_y}$

### 2.3 Perencanaan Tulangan Torsi

Momen torsi yang bekerja pada penampang struktur yang ditinjau harus direncanakan sehingga :

$$Tu \leq \phi T_n \quad \text{dimana :}$$

$$T_n = T_c + T_s$$

- Tu = gaya geser berfaktor akibat beban luar  
 Tn = kekuatan geser nominal yang direncanakan  
 Tc = kekuatan geser nominal oleh beton  
 Ts = kekuatan geser nominal oleh tulangan geser  
 $\phi$  = faktor reduksi kekuatan

#### 2.3.1 Kuat momen torsi oleh beton (Tc)

Kuat momen torsi oleh beton Tc harus dihitung dengan :

$$T_c = \frac{(\sqrt{f_c'} / 15) \Sigma x^2 y}{\sqrt{1 + \left( \frac{0.4Vu}{C_t \times Tu} \right)}} \quad \text{dimana :} \quad C_t = \frac{bw.d}{\Sigma x^2 y}$$

#### 2.3.2 Kuat momen torsi oleh tulangan torsi

Kuat momen torsi oleh tulangan torsi Ts harus dihitung dengan :

$$T_s = \frac{A_s \alpha_s x_1 y_1 f_y}{s}$$

$$\alpha_s = \frac{\left( 2 + \frac{h}{b} \right)}{3} \leq 1.50$$

Disamping perhitungan sengkang diatas, harus pula dipasang tulangan memanjang sebesar :

$$A_l = 2A_t \left( \frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

Nilai maksimum tulangan torsi adalah :  $T_s < 4T_c$

## 2.4 Pelat

Apabila suatu pelat didukung oleh balok-balok pada keempat sisinya dinamakan sebagai *pelat dua arah* dimana lenturan akan timbul pada dua arah yang saling tegak lurus. Namun bila perbandingan sisi panjang terhadap sisi pendek yang saling tegak lurus lebih besar dari 2, pelat dapat dianggap hanya bekerja sebagai *pelat satu arah* dengan lenturan utama pada arah sisi yang lebih pendek.

Pelat direncanakan menerima beban mati  $D$ , dan beban hidup  $L$ , seperti yang diatur dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPI '83) berdasarkan fungsi tiap lantai pada gedung.

### 2.4.1 Pelat Satu Arah (Non Pratekan)

Struktur pelat satu arah dapat didefinisikan sebagai pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sedemikian sehingga lenturan yang timbul hanya dalam satu arah saja, yaitu pada arah yang tegak lurus terhadap arah dukungan tepi (arah sisi pendek). Karena beban yang bekerja dilimpahkan pada sisi pendek, maka pelat dapat diperlakukan sebagai balok persegi dengan tingginya setebal pelat dan lebarnya adalah satuan panjang (umumnya 1 meter).

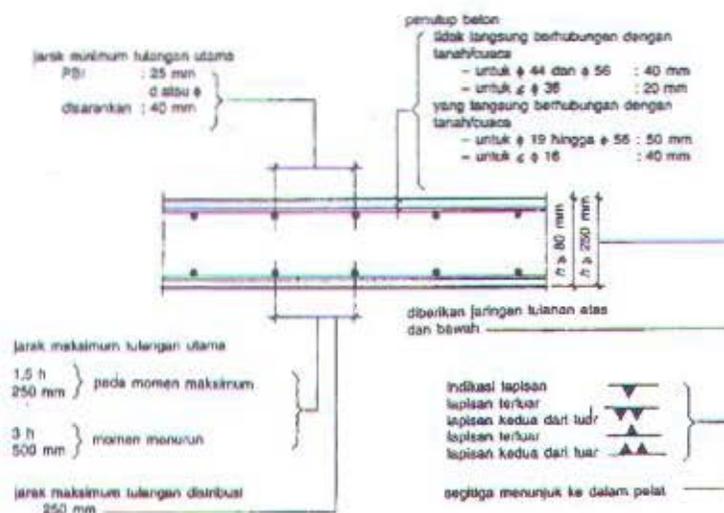
Standar SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12 menetapkan bahwa untuk pelat lantai dan atap struktural yang hanya menggunakan tulangan pokok lentur satu arah, selain penulangan pokok harus dipasang juga tulangan susut dan suhu dengan arah tegak lurus terhadap tulangan pokoknya.

### 2.4.2 Pelat Dua Arah (Non Pratekan)

Pada pelat 2 arah beban pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian panel menjadi suatu pelat yang melentur pada dua arah. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan apabila panjang tidak sama dengan lebar, balok yang lebih panjang akan memikul beban lebih besar daripada balok yang pendek.

Dalam perencanaan ini pelat dianggap terjepit elastis pada keempat sisinya. Hal ini disebabkan pada tepi-tepi pelat (baik yang menerus atau yang tidak menerus) pasti terjadi perputaran sudut. Pertimbangan dari pemodelan ini adalah bila dianggap terjepit

penuh pada keempat sisinya maka dianggap momen-momen yang terjadi sebagian besar akan diterima oleh tumpuan sehingga nilai momen lapangan akan selalu lebih kecil, padahal pada kenyataannya pelat dapat berputar. Lain halnya jika pelat dimodelkan terjepit elastis pada keempat sisinya. Pada pemodelan ini besarnya momen lapangan akan mendekati momen tumpuannya (lebih merata).

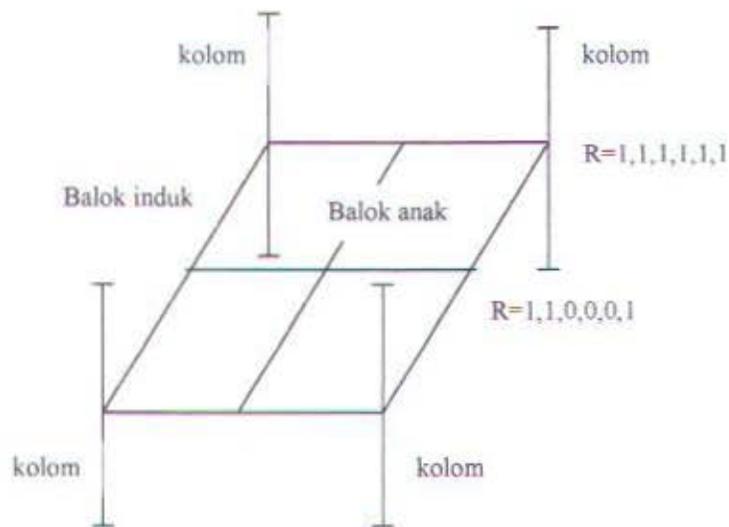


Gambar 2.5 Ketentuan Perencanaan Pelat

## 2.5 Balok Anak dan Balok Induk

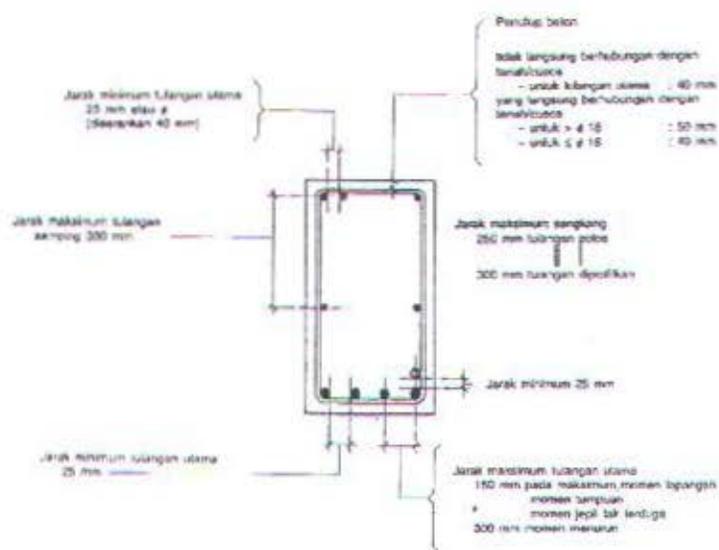
Balok anak merupakan struktur sekunder yang bukan merupakan elemen yang menerima gaya lateral, tetapi lebih berfungsi sebagai struktur yang mendukung beban gravitasi dari pelat untuk diteruskan ke struktur utama. Selain itu balok anak berfungsi juga sebagai pengaku pelat. Kegunaan lain dari balok anak adalah untuk memperkecil lendutan pada pelat sehingga dapat memperkecil ketebalan pelat.

Sistem rangka diafragma kaku lantai dapat dianalisa secara ruang, yaitu dengan memperhitungkan kolom-kolom yang terletak di atas dan di bawah lantai tersebut. Ujung kolom dianggap terjepit sempurna. Hubungan antara join-join balok anak dan balok induk dianggap perletakan grid pada pada kedua arah horisontal, tetapi pergerakan arah vertikal dianggap bebas bergerak. Rotasi pada sumbu vertikal dianggap terjepit, sedangkan pada kedua arah sumbu horisontal dianggap bebas.



**Gambar 2.6** Pemodelan balok anak sistem grid

Selain itu terdapat balok anak yang dimodelkan sebagai balok menerus diatas beberapa tumpuan dengan menggunakan koefisin momen yang diperoleh dari PBI 1971 pasal 13.2.



**Gambar 2.7** Ketentuan Perencanaan Balok

Berbeda dengan balok anak, balok induk dalam perencanaan tugas akhir ini dimodelkan tidak hanya menerima beban gravitasi, tetapi juga menerima pengaruh beban lateral gempa sebagai satu kesatuan sistem struktur portal. Karena pengaruh gempa ini, untuk daerah tumpuan terjadi momen yang berbalik arah. Oleh karena itu penulangan lentur balok induk direncanakan sebagai tulangan rangkap.

## 2.6 Balok Pratekan

### 2.6.1 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.

### 2.6.2 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 :

$$f_t = \frac{F_i}{A} - \frac{F_i e}{Z_t} + \frac{M \min}{Z_t} < \sigma_{ti} = 0,25x\sqrt{f_{ci}}$$

$$f_b = \frac{F_i}{A} + \frac{F_i e}{Z_b} - \frac{M \min}{Z_b} < \sigma_{ci} = 0,6xf_{ci}$$

syarat kondisi saat beban hidup bekerja :

$$f_t = \frac{F}{A} - \frac{F e}{Z_t} + \frac{M \max}{Z_t} < \sigma_{cs} = 0,45xf'_c$$

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

(2). Pada daerah tumpuan :

syarat kondisi saat transfer :

$$f_t = \frac{F_i}{A} + \frac{F_i e}{Z_t} - \frac{M \min}{Z_t} < \sigma_{ci} = 0,6xf_{ci}$$

$$f_b = \frac{F_i}{A} - \frac{F_i e}{Z_b} + \frac{M \min}{Z_b} < \sigma_{ti} = 0,25x\sqrt{f_{ci}}$$

syarat kondisi saat beban hidup bekerja :

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

$$f_b = \frac{F}{A} - \frac{F e}{Z_b} + \frac{M \max}{Z_b} < \sigma_{cs} = 0,45xf'_c$$

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

$$Z_t = I/y_t$$

$$Z_b = I/y_b$$

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

- $K_b$  = kern bawah =  $Z_v/A_c$   
 $I$  = momen inersia penampang  
 $A_c$  = luas penampang  
 $\sigma_{ti}$  = tegangan tarik beton yang diijinkan pada saat awal  
 $= 0.25\sqrt{f'c}$   
 $\sigma_{ci}$  = tegangan tekan beton yang diijinkan pada saat awal  
 $= 0.60 f'ci$   
 $\sigma_{ts}$  = tegangan tarik beton yang diijinkan pada saat beban service  
 $= 0.50\sqrt{f'c}$   
 $\sigma_{cs}$  = tegangan tekan beton yang diijinkan pada saat beban service  
 $= 0.45 f'c$   
 $F_i$  = gaya prategang awal pada saat transfer  
 $F$  = gaya prategang efektif  
 $= \eta F_i$  dengan  $\eta = 0.75-0.85$

### 2.6.3 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 pengangkuran (*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).

### 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 Pengangkuran

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.

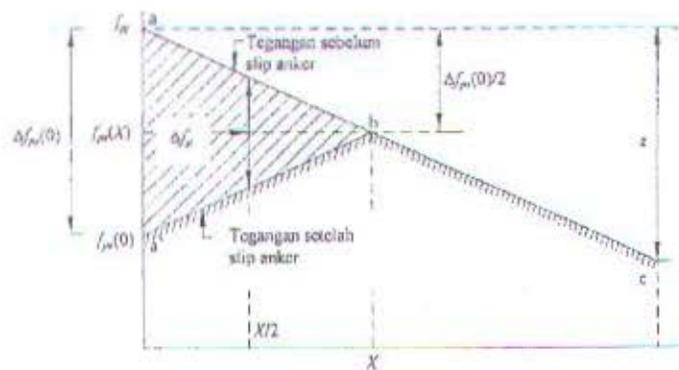
Tetapi kehilangan ini pada dasarnya berpengaruh pada ujung saja, kehilangan ini akan dihalangi oleh adanya gesekan. Jadi berkenaan dengan ini maka masalahnya adalah seberapa jauh dia berpengaruh. Bila pengaruhnya ( $X$ ) kurang dari  $L/2$ , maka tidak perlu ditinjau pada daerah lapangan.

Jarak pengaruh slip pengangkuran adalah :

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

diamana :

- $f_{pj}$  = tegangan sebelum slip ankur  
 $f_{ps}$  = tegangan setelah slip ankur  
 $\Delta f_{ps}$  = besarnya kehilangan tegangan akibat slip ankur  
 $g$  = besarnya slip ankur (mm)  
 $X$  = jarak pengaruh kehilangan tegangan akibat slip ankur  
 $\lambda = (2 \cdot \mu \cdot \alpha / b^2 + K) \rightarrow$  untuk tendon berbentuk parabola



**Gambar 2.8** 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 2.2.

- pengaruh kelengkungan

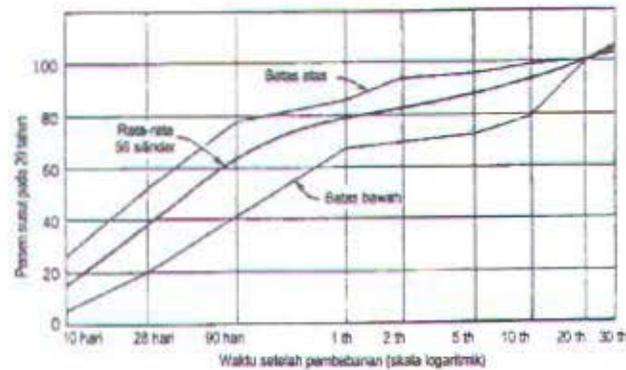
Kehilangan gaya prategang akibat pengaruh kelengkungan dihasilkan dari kelengkungan tendon rencana ditambah dengan goyahnya selubung (*Wobble Effect*) yang tidak diinginkan.

**Tabel 2.2** Koefisien gesekan untuk tendon pasca-tarik

Tipe tendon	Koefisien Wobble K tiap meter	Koefisien Kelengkungan $\mu$
Tendon pada selubung logam fleksibel		
Tendon kawat	0.0033 - 0.0049	0.15- 0.25
Strand dengan untaian 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 untaian 7 kawat	0.01	0.15 - 0.25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
Tendon kawat dan strand untaian 7 kawat	0.001 - 0.0066	0.05 - 0.15
Tendon yang diberi lapisan mastik		
Tendon kawat dan strand untaian 7 kawat	0.0033 - 0.0066	0.05 - 0.15

Sumber : Peraturan ACI

(lihat gambar 2.11), kita tidak mengalami 100% kehilangan tegangan batas dalam beberapa tahun, tetapi 80% terjadi pada tahun pertama.



**Gambar 2.11** 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 ( table 2.7 )

AUS = variasi susut terhadap waktu ( table 2.8 )

PSH = besarnya susut untuk tiap-tiap interval waktu.

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

**Tabel 2.7** Faktor Susut, SSF

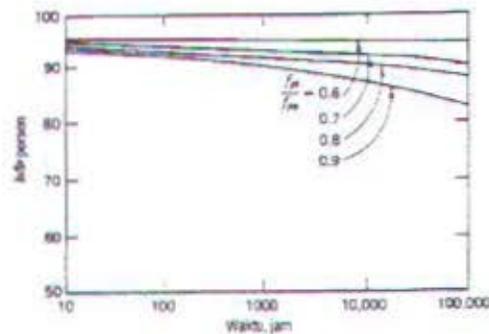
V/S, inch	Shrinkage Faktor, SSF
1	1.04
2	0.96
3	0.86
4	0.77
5	0.69
6	0.60

**Tabel 2.8** Koefisien shinkage untuk beberapa waktu pengerasan, AUS

Waktu setelah transfer, hari	AUC
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

**(6). Kehilangan Gaya Prategang akibat Relaksasi Baja**

Percobaan-percobaan pada baja prategang dengan perpanjangan yang konstan dan dijaga tetap pada suatu selang waktu memeperlihatkan bahwa gaya prategang akan berkurang secara perlahan-lahan seperti terlihat pada Gambar 2.12. Besarnya pengurangan tergantung pada lamanya waktu dan perbandingan  $f_{pi}/f_{py}$  ( $f_{pi}$  = tegangan awal pada baja prategang,  $f_{py}$  = tegangan leleh baja prategang). Kehilangan gaya prategang ini disebut relaksasi.



**Gambar 2.12** Kurva Variasi Relaksasi Baja terhadap Waktu

Peraturan PCI membatasi besarnya gaya prategang awal (segera setelah pengangkatan) sebesar  $f_{pi} = 0.7f_{pu}$ . Dari gambar 2.12 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 :

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

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

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 2.9 bawah ini dapat diambil sebagai kehilangan gaya prategang rata-rata.

**Tabel 2.9** 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

#### 2.6.4 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.

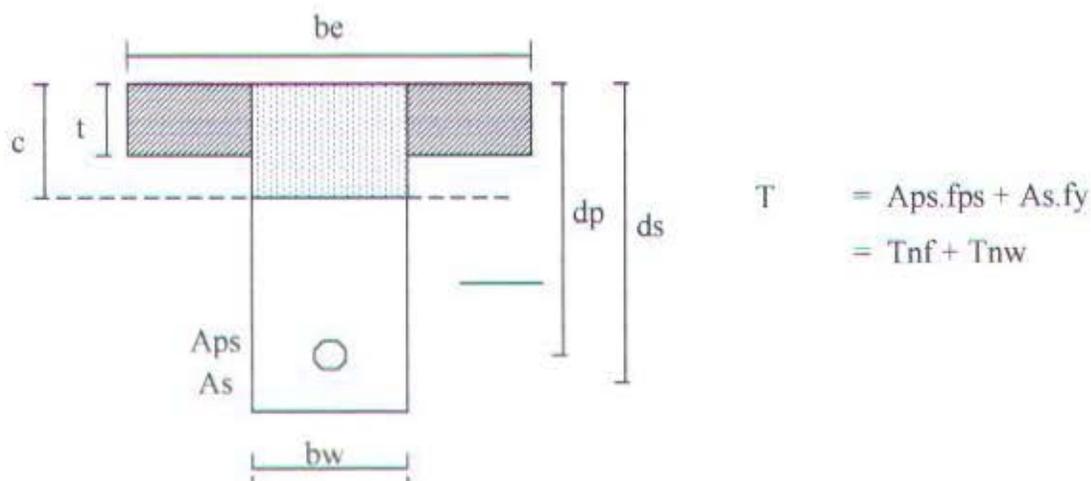
- (1) Jika tegangan dongkrak dikurangi maka kehilangan gaya prategang akibat pengangkuran diambil sebagai gaya prategang awal, sehingga kehilangan gaya prategang yang harus dikurangi meliputi perpendekan elastis, rangkak, dan susut.
- (2) Jika tegangan dongkrak sendiri diambil sebagai gaya prategang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

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

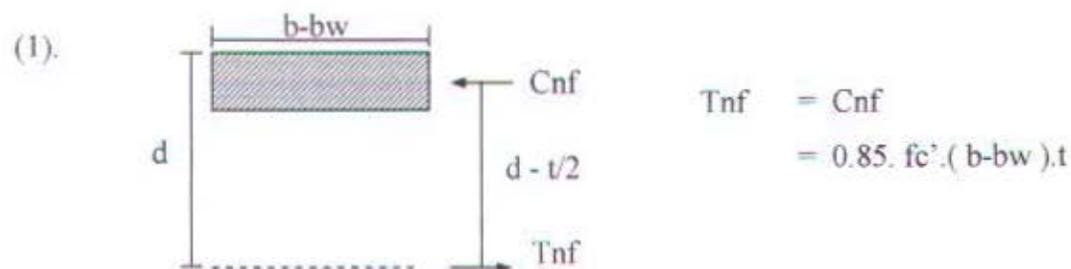
Untuk titik yang jauh dari ujung pendongkrakan, pengaruh gesekan harus dipertimbangkan sebagai tambahan. Gaya gesek sepanjang tendon mungkin merupakan tambahan maupun pengurangan tegangan.

### 2.6.5 Momen Nominal Balok Pratekan dengan Partial Prestress

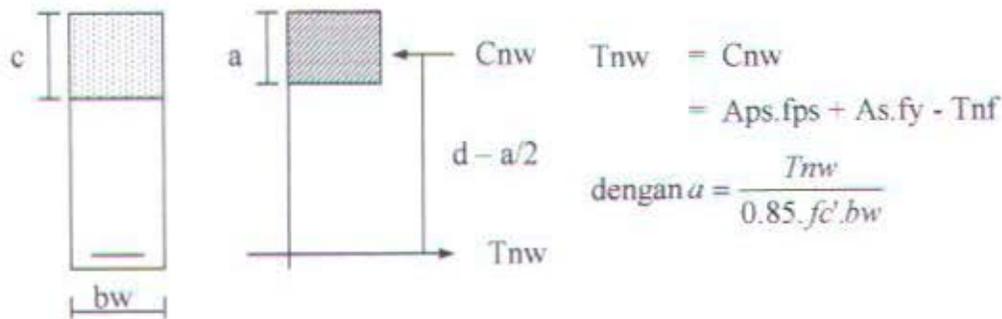
Momen ultimate untuk balok T dengan partial prestress disajikan dalam gambar dibawah ini :



Analisa dapat dipisah menjadi dua bagian yaitu :



(2).



$$\begin{aligned}
 T_{nw} &= C_{nw} \\
 &= A_{ps}.f_{ps} + A_s.f_y - T_{nf} \\
 \text{dengan } a &= \frac{T_{nw}}{0.85.f_c'.bw}
 \end{aligned}$$

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

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

$$A_{ps}.f_{ps} + A_s.f_y = 0.85.f_c'.(b-b_w).t + 0.85.f_c'.b_w.a$$

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

Sehingga momen nominal yang terdapat pada penampang adalah :

$$\phi M_n = \phi.0.85.f_c'.(b-b_w).t \left( d - \frac{t}{2} \right) + \phi.T_{nw} \left( d - \frac{a}{2} \right), \text{ atau :}$$

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

### 2.6.6 Perencanaan Geser

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

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

$$V_{cw} = 0.3(\sqrt{f_c'} + f_{pc})b_w.d + V_{p'}$$

dimana :

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

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

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

$$Vcl = 0.05\sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d + Vd + V_L \frac{Mcr}{M_{max}} \geq 0.14\sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d$$

$$Mcr = \left( \frac{I}{Yt} \right) (0.5\sqrt{f_c'} + f_{pe} - fd)$$

$$f_{pe} = \frac{F(e + Kt)}{I/Yt} \quad ; \quad fd = \frac{Mud}{I/Yt}$$

dimana :

$Vd$  = gaya geser akibat berat sendiri balok (  $1.0 \times Wg$  )

$Mcr$  = momen retak akibat beban hidup

$M_{max}$  = momen maksimum akibat beban hidup

### 2.6.7 Struktur Statis Tak Tentu

#### Umum

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 deformasi tambahan. Deformasi yang terjadi ini ditahan oleh kekakuan struktur.

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.

### 2.7.1 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 ( $\Psi$ ) dari kolom terhadap balok-balok pada pertemuan diujung –ujung kolom. Kekakuan relatif ( $\Psi$ ) 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  $\Psi_A$  dan  $\Psi_B$  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.

### 2.7.2 Pembatasan Tulangan Kolom

SKSNI '91 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.

### 2.7.3 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 ( $k.L_n$ ) terhadap radius girasi ( $r$ ) memenuhi :

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

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

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).

### 2.7.4 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.

### 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  $\delta_b$  dan  $\delta_s$  adalah pembesaran momen yang dapat ditentukan sebagai berikut :

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

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

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  $\delta_b$  dan  $\delta_s$  harus dihitung, sedangkan untuk *braced frame*  $\delta_s$  diambil sebesar 1.

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

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

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

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan = 0.65 ( untuk komponen kolom dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat ).

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

### 2.7.5 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  $\beta$  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 :

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

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

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

- Memilih jumlah tulangan sesuai dengan  $A_{\text{perlu}}$  dengan rumus :

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

yang nantinya akan menghasilkan  $A_{\text{ada}}$ .

- 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

#### 2.7.6 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 :

- Hitung harga  $\frac{e}{h}$  untuk masing- masing arah momen. Momen yang digunakan adalah momen yang dihasilkan dari langkah-langkah perencanaan tulangan lentur kolom.
- Dari harga  $\frac{e}{h}$  untuk masing-masing arah momen dan  $\rho$  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  $\rho$  yang telah terpasang, maka nilai  $P_{ox}$  dan  $P_{oy}$  dapat dicari dengan diagram interaksi M – N dengan rumus :

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

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

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

### 2.7.7 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 ( $\phi V_c$ ) 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.

## 2.8 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 didaerah 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  $l_0$  dari muka yang ditinjau. Panjang  $l_0$  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.

## 2.9 Pembebanan

### 2.9.1 Pengertian Pembebanan

Pada prinsipnya jenis pembebanan yang akan diperhitungkan secara garis besar digolongkan dalam 4 (empat) jenis pembebanan, yaitu :

(1). Beban mati

Mencakup berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

(2). Beban hidup

Mencakup semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya 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. Khusus pada atap kedalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air. Kedalam beban hidup tidak termasuk beban angin dan beban gempa yang akan diuraikan tersendiri.

(3). Beban angin

Mencakup semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

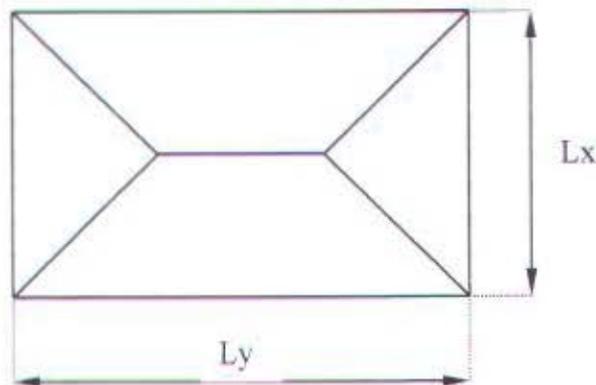
(4). Beban gempa

Mencakup 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 disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

### 2.9.2 Tipe-tipe pembebanan

Beban yang bekerja pada balok adalah berat sendiri balok ditambah beban merata pada pelat (akibat beban mati dan beban hidup). Distribusi beban pada balok sedemikian rupa sehingga dapat dianggap sebagai beban segitiga pada lajur yang

pendek serta beban trapesium pada lajur yang panjang. Beban berbentuk segitiga dan trapesium tersebut kemudian diubah menjadi beban merata ekuivalen dengan menyamakan momen maksimumnya. Beban ekuivalen tersebut digunakan sebagai beban merata pada balok untuk analisa struktur. Untuk balok yang menerima beban tembok diperhitungkan sebagai beban merata yang besarnya ditambahkan pada beban ekuivalen tersebut.



**Gambar 2.14** Distribusi beban pada balok

### 2.9.3 Ketentuan Mengenai Kekuatan dan Laik Pakai

#### Kuat Perlu

Struktur dan komponennya direncanakan sedemikian rupa sehingga semua penampang memiliki kuat rancang yang minimum sama dengan kuat perlu. Kuat perlu dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya berfaktor sesuai dengan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.2.

Kuat perlu untuk menahan beban mati  $D$  dan beban hidup  $L$ , paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1.2D + 1.6L$$

Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa  $E$  harus diperhitungkan dalam perencanaan maka kombinasi pembebanannya harus diambil dari nilai :

$$U = 1.05 ( D + L_R \pm E )$$

## Kuat Rencana

Kuat rencana yang tersedia pada suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain dan penampangnya, dalam kriteria lentur, beban normal, geser dan torsi harus diambil sebagai kekuatan nominal yang dihitung berdasarkan ketentuan asumsi dari tata cara ini, dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan.

Faktor reduksi kekuatan  $\phi$  ditentukan sebagai berikut :

- Lentur, tanpa beban aksial .....	0.80
- Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur .....	0.80
- Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur :	
komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa ...	0.65
- Geser dan torsi .....	0.60
- Tumpuan pada beton .....	0.70

## 2.10 Perencanaan Gempa

### 2.10.1 Umum

Filosofi perencanaan bangunan tahan gempa menurut PPTGIUG 1983 menyebutkan bahwa struktur gedung pada daerah gempa direncanakan mampu menahan beban gempa kecil dan sedang tanpa mengalami kerusakan, dan boleh terjadi kerusakan struktur diakibatkan gempa kuat namun tidak menyebabkan keruntuhan. Hal tersebut dapat dicapai jika struktur tersebut mampu melakukan perubahan secara daktail, dengan cara memencarkan energi gempa pada tempat-tempat sendi plastis serta membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur.

Dalam perencanaan terhadap beban gempa, struktur dianalisa dengan menggunakan analisa dinamis dengan metode respon spektrum, dimana gedung dikenakan spektrum percepatan gempa rencana yang dihitung menurut diagram koefisien gempa dasar C untuk wilayah gempa 4 dengan jenis tanah lunak.

### 2.10.2 Daktilitas

#### Pengertian Daktilitas

Menurut PPTGIUG 1983, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung atau unsur struktur itu untuk mengalami simpangan-simpangan plastis secara berulang dan bolak-balik diatas titik leleh pertama sambil mempertahankan sebagian besar dari

kemampuan awalnya dalam memikul beban. Sedangkan berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.14.1, daktilitas adalah perbandingan antara simpangan maksimum rencana dengan simpangan leleh awal dari komponen struktur yang ditinjau

Suatu ukuran bagi kemampuan suatu struktur untuk menyimpan dan memencarkan energi adalah perbandingan antara simpangan maksimum ( $\Delta_u$ ) dan simpangan pada leleh pertama ( $\Delta_y$ ) dimana hal tersebut diistilahkan sebagai faktor daktilitas ( $\mu$ ).

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Dalam perencanaan, tempat sendi plastis yang diisyaratkan untuk pemencaran energi harus dipilih dan diberi pendetailan sedemikian rupa sehingga struktur tersebut berperilaku daktil. Unsur-unsur selanjutnya diberi cadangan kekuatan yang cukup untuk menjamin agar mekanisme pemencaran energi yang telah dipilih benar-benar terbentuk dan berfungsi terus selama gempa berlangsung.

#### Tingkat Daktilitas

Dalam ketentuan yang ditetapkan SKSNI 1991 pasal 3.14.1, tingkat daktilitas suatu struktur beton dibagi dalam 3 (tiga) kelas yaitu :

- Tingkat daktilitas 1  
Suatu beton diproporsikan sedemikian sehingga ketentuan tambahan atas penyelesaian detail struktur sangat sedikit. Struktur sepenuhnya berperilaku elastis,  $\mu = 1$ . Beban gempa rencana harus dihitung berdasarkan faktor  $K=4$ .
- Tingkat daktilitas 2  
Struktur beton diproporsikan berdasarkan suatu ketentuan penyelesaian detail khusus yang memungkinkan struktur memberikan respon inelastik terhadap beban siklis yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan getas,  $\mu = 2$ . Kondisi ini dinamakan juga kondisi daktilitas terbatas. Dalam hal ini beban gempa rencana harus dihitung dengan menggunakan nilai faktor  $K_{\text{minimum}} = 2$ .
- Tingkat daktilitas 3  
Struktur beton diproporsikan berdasarkan suatu ketentuan penyelesaian detail khusus yang memungkinkan struktur memberikan respon inelastik terhadap beban

gempa siklis yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme sendi plastis dengan kapasitas disipasi energi yang diperlukan tanpa mengalami keruntuhan,  $\mu = 4$ . Kondisi ini dinamakan juga kondisi daktilitas penuh. Dalam hal ini beban gempa rencana harus dihitung dengan menggunakan nilai faktor  $K_{min} = 1$ .

Dalam perencanaan struktur gedung PT. PELNI ini, penulis merancang dengan tingkat daktilitas 2 (daktilitas terbatas) untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral yang terjadi pada struktur gedung. Alasan pemilihan daktilitas tingkat 2 adalah :

Pada perencanaan dengan tingkat daktilitas 2, beban gempa hanya dikalikan 2 sehingga tuntutan daktilitas untuk mengatasi gempa kuat yang melampaui taraf gempa rencana tidak setinggi perencanaan pada struktur dengan daktilitas penuh. Hal ini menyebabkan syarat pendetailan yang dituntut menjadi lebih longgar, tetapi sebagai konsekuensinya faktor jenis struktur untuk menghitung gaya geser dasar menjadi lebih besar.

#### Perencanaan dengan tingkat daktilitas 2

Perencanaan struktur dengan tingkat daktilitas 2 diatur dalam SKSNI 1991 pasal 3.14.9 dengan memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

##### - Ketentuan Umum

- Gaya tekan aksial berfaktor yang bekerja pada komponen struktur tidak boleh melebihi  $\chi_{10} A_g f_c$ .
- Bentang bersih dari komponen struktur rangka terbuka tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektif.
- 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 dari 25.
- Faktor tipe struktur yang dipakai harus diambil sama dengan 2 (  $k=2$  ).

- Ketentuan 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 atau majemuk.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh kurang dari  $\frac{1}{4}$ , 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 boleh lebih dari  $\frac{1}{2}$  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 sejauh  $d$  dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton ( $V_c$ ) harus diambil sebesar  $\frac{1}{2}$  dari yang diisyaratkan dalam SKSNI 1992 pasal 3.4.

## 2.11 Perencanaan Pondasi

Pondasi digunakan sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Dalam perancangan pondasi ada dua jenis pondasi yang umum dipakai dalam dunia konstruksi yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif kecil, sedangkan untuk pondasi dalam dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif besar seperti pada gedung yang berlantai banyak.

Dikatakan pondasi dalam apabila perbandingan antara kedalaman pondasi ( $D$ ) dengan diameternya ( $B$ ) adalah lebih besar sama dengan 10 ( $B/D > 10$ ). Contoh konkret dari pondasi dalam ini adalah pondasi tiang (dipancang ataupun dibor) yang umumnya mempunyai diameter yang lebih kecil dari 1 m.

Pondasi yang akan direncanakan memakai pondasi dalam yaitu pondasi tiang pancang. Tiang pancang yang akan dipakai adalah tiang pancang produksi PT. WIKA. Dalam bab ini pembahasannya meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang diperlukan, perencanaan poer (pile cap), dan perencanaan sloof (tie beam). Untuk perencanaan jumlah tiang pancang yang diperlukan akan digunakan data tanah hasil uji Standard Penetration Test (SPT).

### 2.11.1 Data Tanah

Data tanah diperlukan untuk mengetahui karakteristik dan jenis tanah tersebut sehingga dapat merancang pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah.

Data-data tanah pada perencanaan pondasi ini diambil sesuai dengan data penyelidikan tanah di lapangan. Adapun data tanah yang telah tersedia di lapangan meliputi data penyelidikan tanah hasil uji SPT.

### 2.11.2 Perencanaan Tiang Pancang

#### Daya Dukung Tiang Pancang

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi ( $Q_p$ ) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah ( $Q_f$ ). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Disamping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang ditanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut. Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu :

- Daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri, dan
- Daya dukung tiang pancang dalam kelompok.

### Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji SPT menurut Luciano Decourt (1982).

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

dimana :

$$Q_p = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$$

dengan :

$N_p$  = harga rata-rata SPT disekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi ( B = diameter pondasi ).

$$= (N_1 + N_2 + N_3) / 3.$$

K = koefisien karakteristik tanah

$$= 12 \text{ t/m}^2 \quad \text{untuk tanah lempung}$$

$$= 20 \text{ t/m}^2 \quad \text{untuk tanah lanau berlempung}$$

$$= 25 \text{ t/m}^2 \quad \text{untuk tanah lanau berpasir}$$

$$= 40 \text{ t/m}^2 \quad \text{untuk tanah pasir}$$

$A_p$  = luas penampang ujung tiang

$Q_p$  = tegangan di ujung tiang

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \left( \frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s$$

dengan :

$q_s$  = tegangan akibat lekatan lateral dalam  $\text{t/m}^2$

$N_s$  = harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan :  $3 \leq N \leq 50$

$A_s$  = keliling x panjang tiang

Daya dukung ijin dari satu tiang pancang yang berdiri sendiri adalah daya dukung tiang total dibagi dengan suatu angka keamanan.

$$P_{ijin, 1 \text{ tiang}} = \frac{Q_p + Q_s}{SF} \quad \text{dimana : } SF = 2$$

### Daya Dukung Tiang dalam Kelompok

Untuk menghitung daya dukung tiang tunggal dalam group tiang, maka jarak antar tiang mempengaruhi efisiensi dari tiang tersebut. Oleh karena itu daya dukung tiang dalam group tiang harus dikoreksi dengan efisiensi yang terjadi. Efisiensi tidak diperhitungkan bila jarak dari as ke as dari masing-masing tiang,  $s > 3D$ . Dengan syarat minimum  $s = 2.5D$ .

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

dimana :

$n$  = jumlah tiang dalam group

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

$$= \text{arc tg } (D/s)$$

$D$  = diameter tiang

$s$  = jarak antar sumbu tiang ( 2.5D sd. 5D )

$m$  = jumlah tiang per baris (lajur x)

$n$  = jumlah tiang per kolom (lajur y)

### Beban Maksimum Tiang

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam kelompok tiang dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen-momen yang bekerja pada tiang. Adapun perumusan yang dipergunakan adalah :

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

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

$y_{\text{maks}}$  = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

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

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

### 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 mendapatkan momen akibat gaya horizontal ini, dapat digunakan rumus-rumus yang terdapat pada Pedoman untuk Beton Bertulang dan Struktur Tembok Beton Bertulang untuk Gedung 1983.

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 :

$$L_2 = 2.2 L_1$$

$$L_1 = F + 1.5D$$

$$F = \frac{H}{9xCrxD}$$

$$Cr = 0.5 Cu$$

dimana :

$L_2$  = kedalaman dimana momen lentur adalah nol

$L_1$  = kedalaman dimana momen lentur adalah maksimum

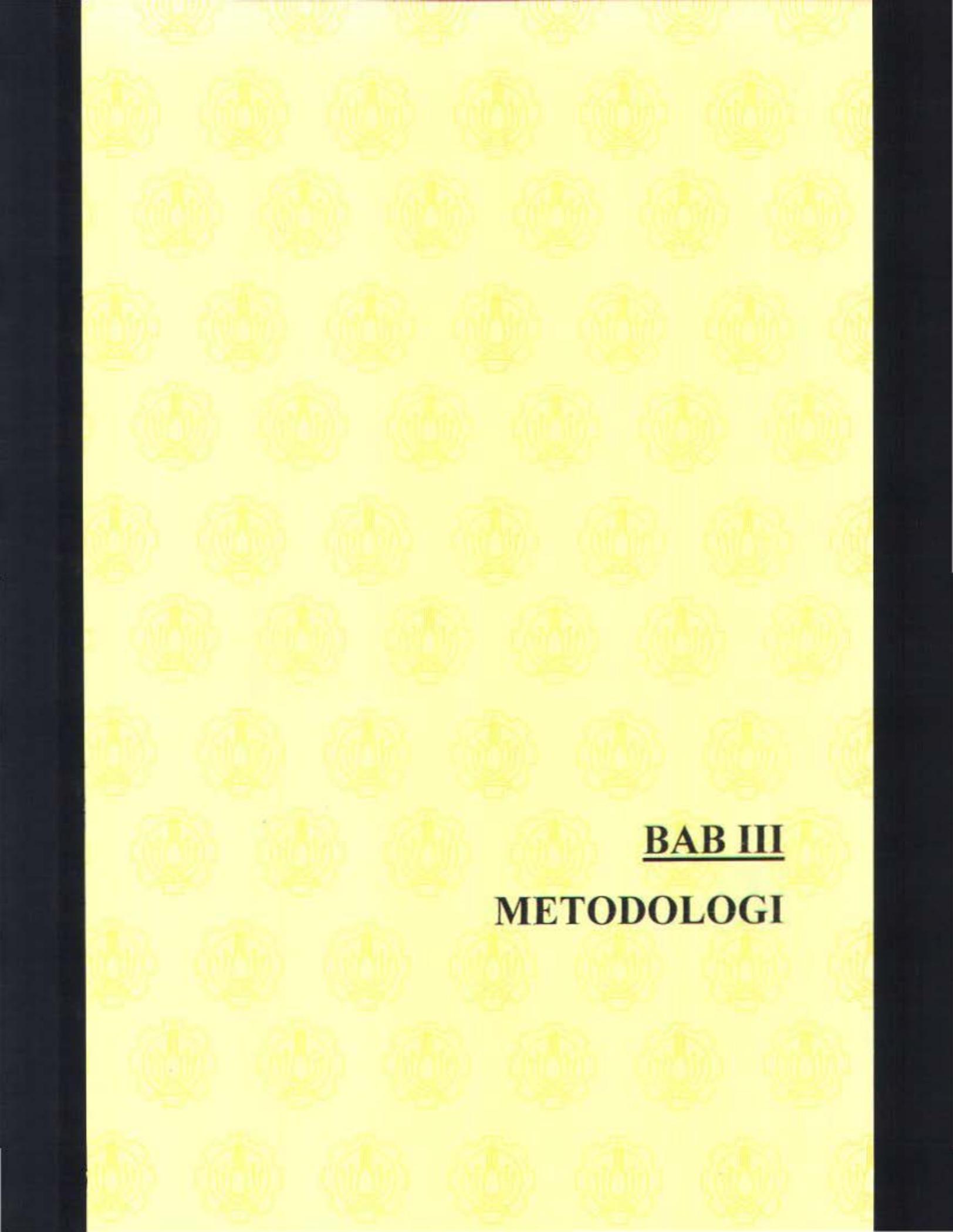
$F$  = panjang daerah perlawanan

$Cu$  = harga kohesi tanah

$D$  = diameter tiang ( untuk tiang tunggal 0

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

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

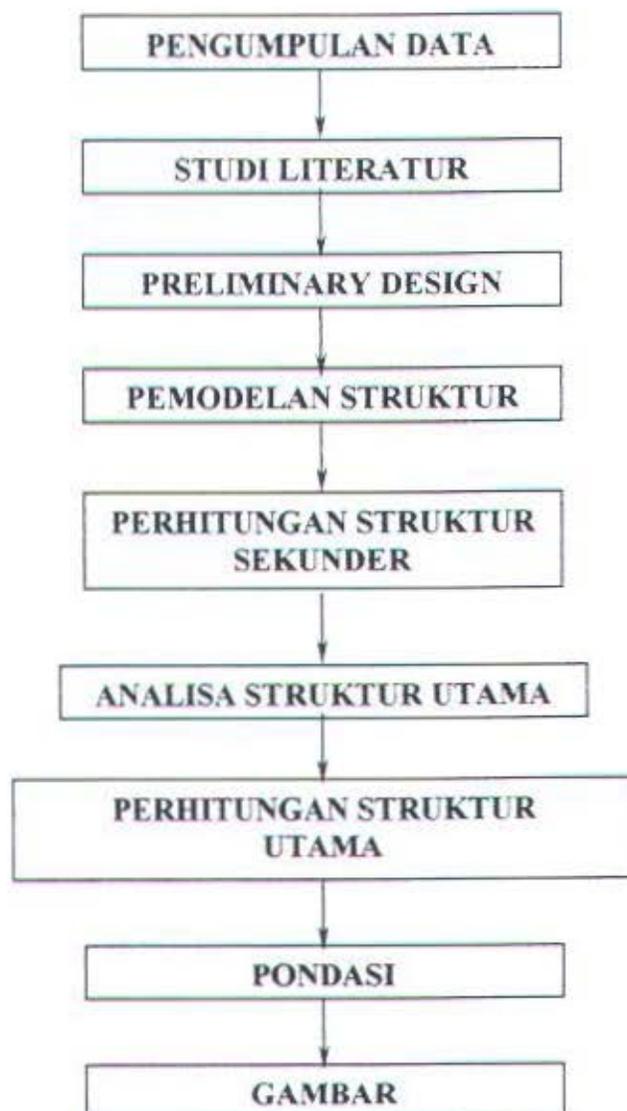


**BAB III**  
**METODOLOGI**

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1. Diagram Alur Perencanaan Gedung



Gambar 3.1 Diagram Alur Perencanaan Gedung

Langkah-langkah yang diambil didalam penyusunan tugas akhir ini meliputi beberapa tahap sebagai berikut :

- 1) Mengumpulkan dan mempelajari data yang berkaitan dengan perencanaan.

Hal-hal yang dilakukan pada tahap ini adalah :

- mempelajari rencana struktur eksisting sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan modifikasi perencanaan.
- melakukan studi arsitektural gedung dengan mempelajari ruang-ruang gedung dan fungsinya.
- mempelajari data tanah di lokasi gedung untuk perencanaan pondasi gedung.

- 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.

### 3.2. Diagram Alur Perencanaan Balok Pratekan



Gambar 3.2 Diagram Alur Perencanaan Balok Pratekan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam perencanaan balok pratekan adalah sebagai berikut :

1) Gaya prategang awal

Dilakukan perhitungan gaya prategang awal yang akan digunakan pada saat pengangkuran tendon pada beton.

2) Tata letak kabel

Dilakukan penentuan daerah batas kabel yang sesuai dengan kriteria perencanaan sehingga tidak melampaui batasan-batasan yang diijinkan.

3) Loss of Prestress

Pehitungan kehilangan gaya prategang meliputi kehilangan akibat perpendekan elastis beton, rangkai, susut, relaksasi baja, slip pengangkuran, dan kehilangan akibat gesekan dan wobble effect. Pada tahap ini juga dilakukan perhitungan pengaruh deformasi kolom akibat gaya prategang yang diberikan pada balok, karena deformasi menyebabkan kehilangan prategangan juga. Total kehilangan prategang harus kurang dari 20 %.

4) Gaya prategang efektif

Gaya prategang efektif merupakan gaya prategang bersih yang dibutuhkan untuk melawan beban luar yang bekerja pada balok. Gaya prategang efektif ini diperhitungkan dari gaya prategang awal yang dikurangi dengan loss of prestress.

5) Kontrol Tegangan

Melakukan kontrol terhadap tegangan-tegangan yang terjadi pada balok pada tahap-tahap yang kritis dalam perencanaan yaitu tahap jacking dan tahap service.

6) Kekuatan ultimate balok pratekan

Kekuatan ultimate balok pratekan yang diakibatkan beban luar berfaktor harus mempunyai nilai-nilai sebagai berikut :

$$1.2M_{cr} \leq M_u \leq \phi M_n$$

dimana  $M_{cr}$  = momen retak yang terjadi pada balok pratekan

$\phi M_n$  = kapasitas penampang beton pratekan.

7) Kontrol Lendutan

Memperhitungkan lendutan yang terjadi sehingga tidak melampaui batasan-batasan yang telah ditentukan.

8) Perhitungan geser

Perencanaan tulangan geser diperhitungkan berdasarkan standar perencanaan SKSNI T-15-1991-03.

9) Gambar

Penuangan analisa dan perhitungan ke dalam gambar yang representatif.

### 3.3. Data Teknis

Dimensi gedung PT. PELNI yang direncanakan struktur utamanya adalah sebagai berikut :

- Nama Bangunan : Gedung PT. (Persero) PELNI Surabaya.
- Lokasi : Jl. Pahlawan No. 112 – 114 Surabaya.
- Luas Bangunan : 3737.5 m<sup>2</sup>.
- Jumlah Lantai : 8 lantai (termasuk atap)
- Tinggi Bangunan : 29.0 m
- Fungsi Gedung : ruang perkantoran
- Bahan Struktur : beton bertulang dan beton pratekan
- Pondasi : tiang pancang
- Zone Gempa : Zone 4 (tanah lunak)

### 3.4. Metode Analisa

Metode analisa yang dimaksudkan adalah bentuk-bentuk atau cara-cara untuk membantu dalam penyelesaian analisa Tugas Akhir ini. Metode analisa yang dipergunakan oleh penulis adalah sebagai berikut :

- a. Pada saat penarikan kabel prategang berlaku ketentuan sebagai berikut :
  - sambungan antara balok beton pratekan dan kolom dianggap monolit.
  - pengaruh tahanan balok melintang dan pengaruh tahanan gesek akibat pelat yang menyatu dengan balok diabaikan.

- lubang tendon dianggap tidak ada (karena relatif kecil dibandingkan luas penampang balok), sehingga perhitungan data-data penampang didasarkan pada perhitungan penampang bruto.
- b. Analisa gaya-gaya dalam pelat digunakan ikhtisar momen dari Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI '71) pada pasal 13.3 dan tabel 13.3.2. Dalam tabel ini proses penyusunannya sudah dibuat pembebanan papan catur untuk mendapatkan momen-momen maksimum.
- c. Analisa gaya-gaya dalam balok anak digunakan ikhtisar momen dan gaya lintang sesuai dengan PBI '71, dan dengan program bantu SAP 2000. Balok anak dimodelkan sebagai balok grid dan balok yang terletak pada beberapa tumpuan yang dianggap sendi.
- d. Untuk analisa gaya dalam elemen tangga digunakan program bantu SAP 2000.
- e. Untuk analisa statis dan dinamis, struktur utama dimodelkan sebagai rangka terbuka (*open frame*) 3D yang memikul beban gravitasi dan beban lateral akibat gempa. Pemodelan yang dilakukan adalah dengan menganggap balok induk sebagai *beam* dan kolom sebagai *column*.
- f. Metode yang dipakai dalam analisa dinamis adalah Analisa Respon Spektrum. Untuk analisa ini dipakai spektrum percepatan respon gempa rencana menurut diagram koefisien gempa dasar C untuk wilayah zone 4 (Surabaya) untuk struktur yang berdiri diatas tanah lunak.  
Harga C yang diperoleh adalah harga tanpa dimensi, jadi respon masing-masing ragam adalah respon relatif. Oleh karena itu digunakan factor skala  $s = 9.81 \text{ m/dt}^2$  dengan koefisien peredam (*damping*) sebesar 5 %.
- g. Dalam perhitungan analisa dinamis, massa tiap-tiap lantai diasumsikan terpusat pada satu nodal (*lumped mass parameter*). Cara ini sangat bermanfaat dalam mengurangi jumlah persamaan sehingga akan meningkatkan jumlah persoalan yang mampu dipecahkan oleh komputer.
- h. Hasil output running analisa SAP 2000 disesuaikan dengan kombinasi-kombinasi pembebanan yang diisyaratkan SKSNI T-15-1991-03.

### 3.5. Asumsi Perencanaan

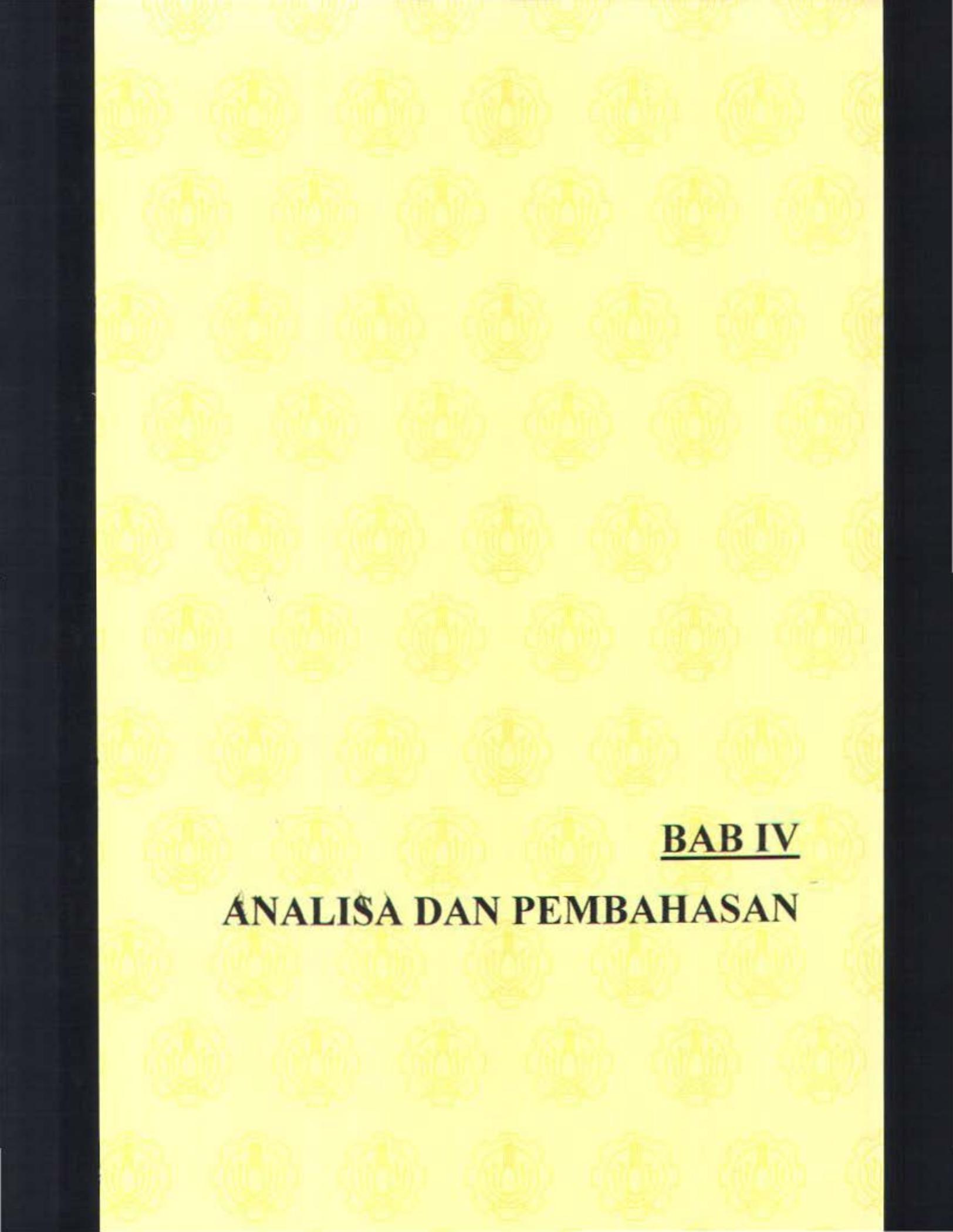
Adapun beberapa asumsi perencanaan struktur yang digunakan dalam tugas akhir ini antara lain:

- a. Perencanaan hanya ditinjau dari segi teknis tanpa meninjau segi estetika maupun segi ekonomis.
- b. Pelat lantai dan atap dimodelkan sebagai diafragma kaku (*rigid floor diafragma*) yang mampu mendistribusikan pengaruh beban lateral kepada komponen-komponen struktur penahan lateral. Hal ini disebabkan kekakuan pelat dalam arah bidang cukup tinggi.
- c. Balok anak hanya bersifat membebani struktur utama yang berupa beban terpusat, tetapi tidak mempengaruhi perilaku struktur utama.
- d. Tangga dianalisa sebagai frame 2 dimensi dengan perletakan jepit-jepit. Sehingga perlu dipertimbangkan momen torsi yang terjadi pada balok yang memikul tangga tersebut.
- e. Untuk perletakan kolom dasar diasumsikan sebagai jepit.

### 3.6. Peraturan yang Dipakai

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menggunakan beberapa peraturan dan standar yang diberlakukan antara lain :

- a. Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI '71)
- b. Pedoman Beton 1989 (PB '89)
- c. Tatacara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung (SKSNI T-15-1991-03)
- d. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPI '83)
- e. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung (PPTGIUG 1983)
- f. Peraturan Perencanaan untuk Struktur Beton Bertulang dan Struktur Tembok Beton Bertulang untuk Gedung 1983.
- g. Berbagai standar tambahan pelengkap yang belum dikeluarkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) yang tidak bertentangan dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.



**BAB IV**

**ANALISA DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Umum

Elemen struktur pada gedung ini terdiri dari :

- Struktur sekunder : pelat, tangga, dan balok anak
- Struktur utama : balok bertulang, balok pratekan, dan kolom
- Pondasi : poer, dan tiang pancang

Struktur sekunder hanya bersifat membebani struktur utama sehingga tidak mempengaruhi perilaku struktur utama secara keseluruhan. Struktur utama direncanakan menerima beban gravitasi dan beban lateral akibat gempa.

#### 4.2. Kriteria Perencanaan

##### Beton bertulang

- Mutu beton  $f'c = 30 \text{ MPa}$
- Modulus elastisitas  $E_c = 25743 \text{ MPa}$
- Berat volume  $BV = 2400 \text{ kg/m}^3$

##### Beton pretekan

- Mutu beton  $f'c = 40 \text{ MPa}$
- Modulus elastisitas  $E_c = 29725 \text{ MPa}$
- Berat volume  $BV = 2400 \text{ kg/m}^3$

##### Baja tulangan lunak

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

### Baja pretegang

- Dipakai baja prategang VSL 7 Wire Strands 270 k
- Diameter nominal            12,5 mm
- Tegangan Ultimate             $f_{pu} = 270 \text{ ksi} = 1863 \text{ MPa}$
- Modulus Elastisitas             $E_s = 27000 \text{ ksi} = 186000 \text{ MPa}$

### 4.3. Preliminary Design

Dimensi balok dapat diperkirakan sebagai berikut :

$$\text{Tinggi balok (h)} = \frac{1}{10}L - \frac{1}{15}L$$

$$\text{Tinggi balok pratekan} = \frac{1}{10}L - \frac{1}{20}L$$

$$\text{Lebar balok} = \frac{1}{2}h - \frac{2}{3}h$$

- 1) Balok induk dengan bentang 800 cm dan 700 cm :

$$h = \frac{1}{12}L = \frac{1}{12} \times 800 = 67 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{dipakai } h = 70 \text{ cm}$$

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

- 2) Balok anak dengan bentang 800 cm dan 700 cm :

$$h = \frac{1}{15}L = \frac{1}{15} \times 800 = 55 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{dipakai } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2}h = \frac{1}{2} \times 55 = 25.5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{dipakai } b = 30 \text{ cm}$$

- 3) Balok anak dengan bentang 350 cm :

$$h = \frac{1}{15}L = \frac{1}{15} \times 350 = 25 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{dipakai } h = 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 25 = 17 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{dipakai } b = 20 \text{ cm}$$

- 4) Balok pratekan dengan bentang 1400 cm direncanakan :

$$h = \frac{1}{20}L = \frac{1}{20} \times 1400 = 70 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{dipakai } h = 70 \text{ cm}$$

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

- 5) Kolom

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

bila  $b = h$ , maka diperoleh :

$$\frac{\frac{1}{12}h^4}{500} = \frac{\frac{1}{12} \times 40 \times 70^3}{800} \quad \rightarrow \text{dipakai kolom dengan } b = h = 70 \text{ cm}$$

$$h = \sqrt[4]{\frac{40 \times 70^3 \times 500}{800}} = 54 \text{ cm}$$

**Tabel 4.1** Dimensi Elemen Struktur Gedung

Elemen Struktur	L ( cm )	h ( cm )	b ( cm )
Balok utama	800	70	40
Balok anak	800	50	30
Balok anak	350	30	20
Balok pratekan	1400	70	40
Kolom interior		70	70
Kolom eksterior		50	50

#### 4.4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang diperhitungkan yang didasarkan pada SKSNI

T 15-1991-03 adalah sebagai berikut :

- Untuk struktur non pratekan
  - $U = 1.2D + 1.6L$
  - $U = 1.05 ( D + L_R \pm 2E )$
- Untuk struktur pratekan
  - Kondisi pembebanan awal
    - $W = D$
  - Kondisi pembebanan akhir
    - $W = D + L$

Dari kombinasi pembebanan tersebut akan dipeoleh gaya-gaya dalam setiap elemen, dimana besar gaya yang dipakai adalah harga maksimum dari hasil kombinasi pembebanan.

## 4.5. Perhitungan Pembebanan

### 4.5.1. Beban Gravitasi

- Pembebanan pelat lantai

Beban mati (D)

Berat sendiri, tebal 12 cm	=	$0.12 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	$288 \text{ kg/m}^2$
Spesi, tebal 2 cm	=	$2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	=	$42 \text{ kg/m}^2$
Penggantung langit-langit kayu			=	$7 \text{ kg/m}^2$
Plafond eternit, tebal 4 mm			=	$11 \text{ kg/m}^2$
Tegel, tebal 1 cm			=	$24 \text{ kg/m}^2$
Peralatan M & E			=	$40 \text{ kg/m}^2$ +
D	=	<hr/>		
				$412 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup (L)

Beban hidup untuk ruang kantor	=	$250 \text{ kg/m}^2$
--------------------------------	---	----------------------

- Pembebanan pelat atap :

Beban mati (D)

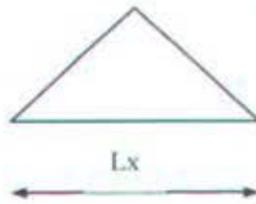
Berat sendiri, tebal 10 cm	=	$0.10 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	$240 \text{ kg/m}^2$
Spesi, tebal 2 cm	=	$2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	=	$42 \text{ kg/m}^2$
Penggantung langit-langit kayu			=	$7 \text{ kg/m}^2$
Plafond eternit, tebal 4 mm			=	$11 \text{ kg/m}^2$
Aspal, tebal 1 cm	=	$0.01 \times 1400 \text{ kg/m}^3$	=	$14 \text{ kg/m}^2$
Peralatan M & E			=	$40 \text{ kg/m}^2$ +
D	=	<hr/>		
				$354 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup (L)

Beban hidup untuk atap	=	$100 \text{ kg/m}^2$
Beban air hujan (2 cm)	=	$20 \text{ kg/m}^2$ +
L	=	<hr/>
		$120 \text{ kg/m}^2$

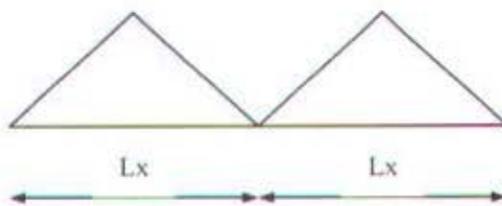
Perhitungan beban ekuivalen

Beban ekuivalen satu segitiga



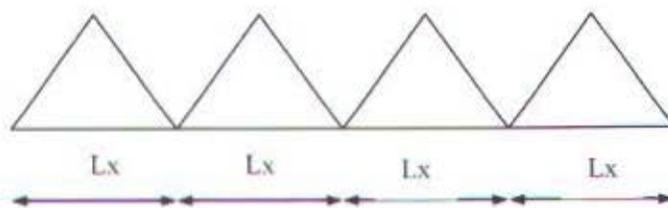
$$q_{ek} = \frac{1}{3}qL_x$$

Beban ekuivalen dua segitiga



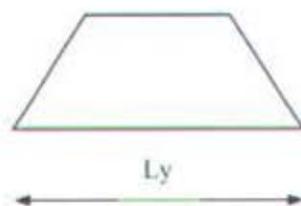
$$q_{ek} = \frac{1}{4}qL_x$$

Beban ekuivalen empat segitiga



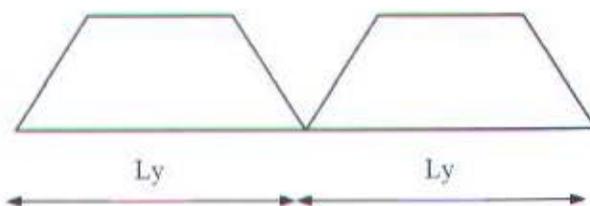
$$q_{ek} = \frac{1}{4}qL_x$$

Beban ekuivalen satu trapesium



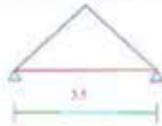
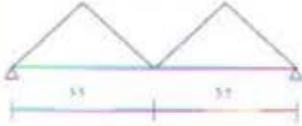
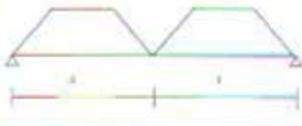
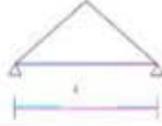
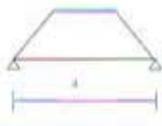
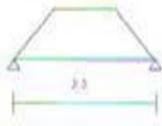
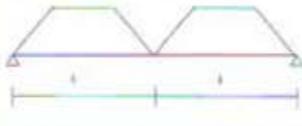
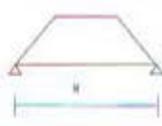
$$q_{ek} = \frac{1}{2}qL_x \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right]$$

Beban ekuivalen dua trapesium



$$q_{ek} = \frac{1}{2}qL_x \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{L_x}{L_y} \right) \right]$$

Tabel 4.2 Beban Merata Balok Lantai

Tipe Pembebanan	Lx (m)	D (kg/m)	L (kg/m)	qekD (kg/m)	qekL (kg/m)	Keterangan
	3.5	412	250	480.7	291.6	$qek = 1/3 q^*Lx$
	3.5	412	250	360.5	218.7	$qek = 1/4 q^*Lx$
	3.5	412	250	405.6	246.1	$qek = 1/2 q^*Lx (1 - 1/2(Lx/Ly))$
	4.0	412	250	549.3	333.3	$qek = 1/3 q^*Lx$
	3.5	412	250	537.0	325.8	$qek = 1/2 q^*Lx (1 - 1/3(Lx/Ly)^2)$
	2.75	412	250	449.9	273.0	$qek = 1/2 q^*Lx (1 - 1/3(Lx/Ly)^2)$
	2.75	412	250	283.3	171.9	$qek = 1/4 q^*Lx$
	2.75	412	250	371.8	225.6	$qek = 1/2 q^*Lx (1 - 1/2(Lx/Ly))$
	3.5	412	250	360.5	218.8	$qek = 1/4 q^*Lx$
	2.75	412	250	377.7	229.2	$qek = 1/3 q^*Lx$
	2.75	412	250	544.2	330.2	$qek = 1/2 q^*Lx (1 - 1/3(Lx/Ly)^2)$

Tabel 4.4 Beban Terpusat akibat Balok Anak

 $q_{da}$  diperoleh berdasarkan Tabel 4.2 dan Tabel 4.3

Lantai	Beban	Tipe Heban	Uraian	Jumlah (kg)
2	P <sub>1</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5)$	2312.5
		Hidup	$= 291.6 \times 3.5$	1020.6
	P <sub>2</sub>	Mati	$= (5.25 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5) + (360.5 \times 7)$	6096.0
		Hidup	$= (291.6 \times 3.5) + (218.7 \times 7)$	2551.5
	P <sub>3</sub>	Mati	$= (3.5 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (360.5 \times 7)$	3783.5
		Hidup	$= 218.7 \times 7$	1530.9
	P <sub>4</sub>	Mati	$= 1/2 \times (8 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400)$	1440.0
		Hidup	$= 0$	0.0
	P <sub>5</sub>	Mati	$= (7 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + 2 \times (360.5 \times 7)$	7567.0
		Hidup	$= 2 \times (218.7 \times 7)$	3061.8
	P <sub>6</sub>	Mati	$= (3.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5) + 1/2 \times (537.0 \times 4)$	4106.5
		Hidup	$= (291.6 \times 3.5) + 1/2 \times (325.8 \times 4)$	1183.5
	P <sub>7</sub>	Mati	$= (2 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + 1/2 \times (537.0 \times 4)$	1794.0
Hidup		$= 1/2 \times (325.8 \times 4)$	651.6	
P <sub>8</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5)$	2312.5	
	Hidup	$= 291.6 \times 3.5$	1020.6	
P <sub>9</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5) + (549.3 \times 4)$	4509.7	
	Hidup	$= (291.6 \times 3.5) + (333.3 \times 4)$	2353.8	
P <sub>10</sub>	Mati	$= (4.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (549.3 \times 4) + (449.9 \times 5.5)$	6381.7	
	Hidup	$= (333.3 \times 4) + (272.9 \times 5.5)$	2834.2	
P <sub>11</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (449.9 \times 3.5)$	2204.7	
	Hidup	$= 273 \times 3.5$	955.5	
P <sub>12</sub>	Mati	$= (5.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (283.3 \times 3.5) + (371.8 \times 8)$	6036.0	
	Hidup	$= (273 \times 3.5) + (171.8 \times 8)$	2329.9	
P <sub>13</sub>	Mati	$= (1.375 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (283.3 \times 5.5)$	2053.2	
	Hidup	$= 272.9 \times 5.5$	1500.9	
3	P <sub>14</sub>	Mati	$= (7.5 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (360.5 \times 7) + (405.6 \times 8)$	8468.3
		Hidup	$= (218.7 \times 7) + (246.1 \times 8)$	3499.7
5 sd. 7	P <sub>16</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.2 \times 0.3 \times 2400) + (480.7 \times 1.75)$	1093.2
		Hidup	$= (291.6 \times 1.75)$	510.3
	P <sub>17</sub>	Mati	$= (3.5 \times 0.2 \times 0.3 \times 2400) + (2 \times 480.7 \times 3.5)$	3868.9
		Hidup	$= (2 \times 291.6 \times 3.5)$	2041.2
Atap	P <sub>18</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.2 \times 0.3 \times 2400) + (413.0 \times 1.75)$	974.8
		Hidup	$= (140.0 \times 1.75)$	245.0
	P <sub>19</sub>	Mati	$= (3.5 \times 0.2 \times 0.3 \times 2400) + (2 \times 413.0 \times 3.5)$	3395.0
		Hidup	$= (2 \times 140.0 \times 3.5)$	980.0

**Tabel 4.4** Beban Terpusat akibat Balok Anak

$q_{da}$  diperoleh berdasarkan Tabel 4.2 dan Tabel 4.3

Lantai	Beban	Tipe Beban	Uraian	Jumlah (kg)
2	P <sub>1</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5)$	2312.5
		Hidup	$= 291.6 \times 3.5$	1020.6
	P <sub>2</sub>	Mati	$= (5.25 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5) + (360.5 \times 7)$	6096.0
		Hidup	$= (291.6 \times 3.5) + (218.7 \times 7)$	2551.5
	P <sub>3</sub>	Mati	$= (3.5 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (360.5 \times 7)$	3783.5
		Hidup	$= 218.7 \times 7$	1530.9
	P <sub>4</sub>	Mati	$= 1/2 \times (8 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400)$	1440.0
		Hidup	$= 0$	0.0
	P <sub>5</sub>	Mati	$= (7 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + 2 \times (360.5 \times 7)$	7567.0
		Hidup	$= 2 \times (218.7 \times 7)$	3061.8
	P <sub>6</sub>	Mati	$= (3.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5) + 1/2 \times (537.0 \times 4)$	4106.5
		Hidup	$= (291.6 \times 3.5) + 1/2 \times (325.8 \times 4)$	1183.5
	P <sub>7</sub>	Mati	$= (2 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + 1/2 \times (537.0 \times 4)$	1794.0
		Hidup	$= 1/2 \times (325.8 \times 4)$	651.6
	P <sub>8</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5)$	2312.5
		Hidup	$= 291.6 \times 3.5$	1020.6
	P <sub>9</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (480.7 \times 3.5) + (549.3 \times 4)$	4509.7
		Hidup	$= (291.6 \times 3.5) + (333.3 \times 4)$	2353.8
P <sub>10</sub>	Mati	$= (4.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (549.3 \times 4) + (449.9 \times 5.5)$	6381.7	
	Hidup	$= (333.3 \times 4) + (272.9 \times 5.5)$	2834.2	
P <sub>11</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (449.9 \times 3.5)$	2204.7	
	Hidup	$= 273 \times 3.5$	955.5	
P <sub>12</sub>	Mati	$= (5.75 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (283.3 \times 3.5) + (371.8 \times 8)$	6036.0	
	Hidup	$= (273 \times 3.5) + (171.8 \times 8)$	2329.9	
P <sub>13</sub>	Mati	$= (1.375 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (283.3 \times 5.5)$	2053.2	
	Hidup	$= 272.9 \times 5.5$	1500.9	
3	P <sub>14</sub>	Mati	$= (7.5 \times 0.3 \times 0.5 \times 2400) + (360.5 \times 7) + (405.6 \times 8)$	8468.3
		Hidup	$= (218.7 \times 7) + (246.1 \times 8)$	3499.7
5 sd. 7	P <sub>16</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.2 \times 0.3 \times 2400) + (480.7 \times 1.75)$	1093.2
		Hidup	$= 291.6 \times 1.75$	510.3
	P <sub>17</sub>	Mati	$= (3.5 \times 0.2 \times 0.3 \times 2400) + (2 \times 480.7 \times 3.5)$	3868.9
		Hidup	$= (2 \times 291.6 \times 3.5)$	2041.2
Atap	P <sub>18</sub>	Mati	$= (1.75 \times 0.2 \times 0.3 \times 2400) + (413.0 \times 1.75)$	974.8
		Hidup	$= (140.0 \times 1.75)$	245.0
	P <sub>19</sub>	Mati	$= (3.5 \times 0.2 \times 0.3 \times 2400) + (2 \times 413.0 \times 3.5)$	3395.0
		Hidup	$= (2 \times 140.0 \times 3.5)$	980.0

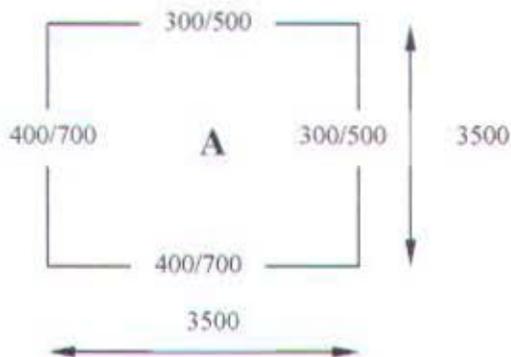
4.5.2. *Bahan Gempa***Tabel 4.5** Massa item per satuan luas panjang

Item	Massa	Satuan
Pelat lantai ( 12 cm )	288	kg/m <sup>2</sup>
Pelat atap ( 10 cm )	240	kg/m <sup>2</sup>
Balok bertulang ( 40/70 )	672	kg/m
Balok bertulang ( 30/50 )	360	kg/m
Balok pratekan ( 40/70 )	672	kg/m
Kolom interior ( 70/70 )	1176	kg/m
Kolom eksterior ( 50/50 )	600	kg/m

#### 4.6 Perencanaan Pelat (Two Way Slab)

##### 4.6.1. Kontrol Tebal Pelat Lantai :

Pelat tipe A Eksterior.



$$Ln = 3500 - \left( \frac{400}{2} + \frac{300}{2} \right) = 3150 \text{ mm}$$

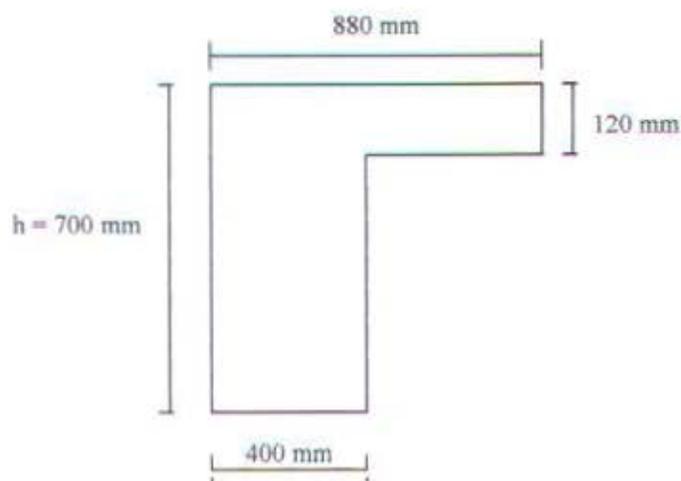
$$Sn = 3500 - \left( \frac{400}{2} + \frac{300}{2} \right) = 3150 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{3150}{3150} = 1.00 < 2$$

→ pelat 2 arah

Direncanakan tebal pelat lantai = 120 mm.

Balok eksterior (400/700)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{e1} = b_w + (h - t) = 400 + (700 - 120) = 980 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 4t = 400 + (4 \times 120) = 880 \text{ mm}$$

} diambil  $b_e = 880 \text{ mm}$

bs = 3500 mm

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{880}{400} - 1\right) \left(\frac{120}{700}\right) \left(4 - 6 \frac{120}{700}\right) + 4 \left(\frac{120}{700}\right)^2 + \left[\left(\frac{880}{400} - 1\right) \left(\frac{120}{700}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{880}{400} - 1\right) \left(\frac{120}{700}\right)} = 1.44$$

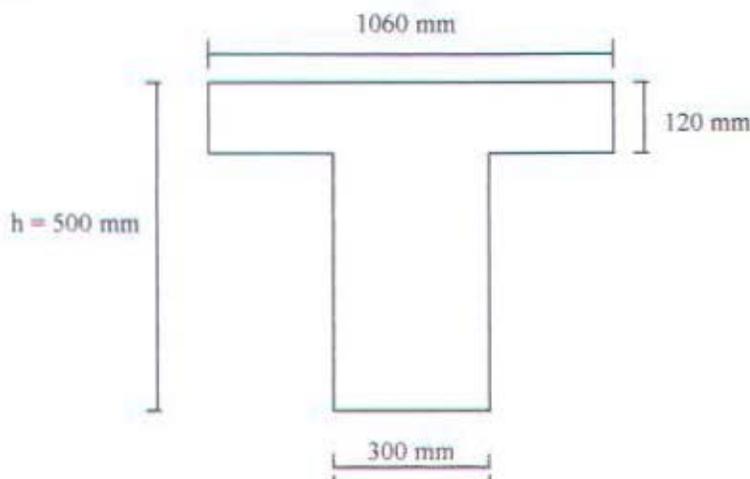
$$I_{balok} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1.44 \times 400 \times 700^3 = 1.6E + 10 \text{ mm}^4$$

$$I_{slab} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 3500 \times 120^3 = 5.0E + 08 \text{ mm}^4$$

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

$$\text{diperoleh } \alpha_1 = \alpha_2 = \frac{I_b}{I_s} = \frac{1.6E + 10}{5.0E + 08} = 32.6$$

Balok interior (300/500)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - t) = 300 + 2(500 - 120) = 1060 \text{ mm} \\ b_{e2} &= b_w + 2(4t) = 300 + 2(4 \times 120) = 1260 \text{ mm} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} b_{e1} \\ b_{e2} \end{aligned}} \right\} \text{ diambil } b_e = 1060 \text{ mm}$$

bs = 3500 mm

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

$$K = \frac{1 + \left(\frac{1060}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right) \left(4 - 6 \frac{120}{500}\right) + 4 \left(\frac{120}{500}\right)^2 + \left[\left(\frac{1060}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{1060}{300} - 1\right) \left(\frac{120}{500}\right)} = 1.75$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1.75 \times 300 \times 500^3 = 5.5E + 09 \text{ mm}^4$$

$$I_{slab} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 3500 \times 120^3 = 5.0E + 08 \text{ mm}^4$$

diperoleh  $\alpha_3 = \alpha_4 = \frac{I_b}{I_s} = \frac{5.5E + 09}{5.0E + 08} = 10.9$

dari perhitungan sebelumnya, diperoleh harga  $\alpha$  rata-rata

$$\alpha_m = \frac{1}{4} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) = \frac{1}{4} (2 \times 32.6 + 2 \times 10.9) = 21.8$$

Tebal pelat mengikuti ketentuan SKSNI pasal 3.2.5 sebagai berikut :

$$h_{\min 1} = \frac{L_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0.12 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]} = \frac{3150 \left(0.8 + \frac{320}{1500}\right)}{36 + 5 \times 1.00 \left[21.8 - 0.12 \left(1 + \frac{1}{1.00}\right)\right]} = 22 \text{ mm}$$

$$h_{\min 2} = \frac{L_n \left[0.8 + \frac{f_y}{1500}\right]}{36 + 9\beta} = \frac{3150 \left[0.8 + \frac{320}{1500}\right]}{36 + 9 \times 1.00} = 71 \text{ mm}$$

$$h_{\max} = \frac{L_n \left[0.8 + \frac{f_y}{1500}\right]}{36} = \frac{3150 \left[0.8 + \frac{320}{1500}\right]}{36} = 89 \text{ mm}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi tebal pelat rencana} = 120 \text{ mm} &> h_{\min 1} = 22 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \\
 &> h_{\min 2} = 71 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \\
 &> h_{\min 3} = 90 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \\
 &> h_{\max} = 89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.2. Perencanaan Tulangan Lentur Pelat

Data-data perencanaan :

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

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

$$\text{decking} = 20 \text{ mm} \quad (\text{SKSNI '91 3.16.7})$$

$$\text{diameter tulangan} : \phi 10$$

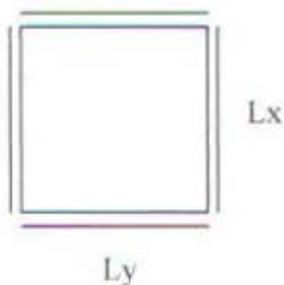
Pembebanan pelat lantai

$$D = 412 \text{ kg/m}^2$$

$$L = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban ultimate, } U &= 1.2D + 1.6L = (1.2 \times 412) + (1.6 \times 250) \\
 &= 894.4 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

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



**Gambar 4.1** Pelat terjepit  
Elastis

Momen arah sumbu x

$$\begin{aligned}
 M_{lx} = M_{tx} &= 0.001 \times U \times Lx^2 \times C \\
 &= 0.001 \times 894.4 \times 3.50^2 \times 36 \\
 &= 394.43 \text{ kgm} = 3.87 \text{ E}+06 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen arah sumbu y

$$\begin{aligned}
 M_{ly} = M_{ty} &= 0.001 \times U \times Lx^2 \times C \\
 &= 0.001 \times 894.4 \times 3.50^2 \times 36 \\
 &= 394.43 \text{ kgm} = 3.87 \text{ E}+06 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

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

Dimana  $\beta_1 = 0.85 \rightarrow$  untuk  $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$  SKSNI '91 3.3.2 (7)

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.85 \frac{0.85 \times 30}{320} \frac{600}{600 + 320} = 0.0442$$

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.0442 = 0.0331 \quad \text{SKSNI '91 3.3.3 (3)}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{320} = 0.0044 \quad \text{SKSNI '91 3.3.5 (1)}$$

Menghitung tulangan yang diperlukan (As perlu)

- Kebutuhan tulangan arah x

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{3.87E + 06}{0.8} = 4.83E + 06 \text{ Nmm}$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{bd_x^2} = \frac{4.83E + 06}{1000 \times 95^2} = 0.5354$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{320}{0.85 \times 30} = 12.549$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{12.549} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.549 \times 0.5354}{320}} \right) = 0.0017$$

$$\text{dipakai } \rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0.0017 = 0.0023$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d_x = 0.0023 \times 1000 \times 95 \\ &= 215.3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan  $\phi 10-200$  ( $A_s = 392.7 \text{ mm}^2$ )

Syarat jarak tulangan :

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

- Kebutuhan tulangan lapangan dan tumpuan (arah y)

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{3.87E + 06}{0.8} = 4.83E + 06 \text{ Nmm}$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{bd_y^2} = \frac{4.83E+06}{1000 \times 85^2} = 0.6688$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c} = \frac{320}{0.85 \times 30} = 12.549$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{12.549} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.549 \times 0.6688}{320}} \right) = 0.0021$$

$$\text{dipakai } \rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0.0021 = 0.0028$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d_y = 0.0028 \times 1000 \times 85 \\ &= 238.0 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan  $\phi 10-200$  ( $\text{As} = 392.7 \text{ mm}^2$ )

Syarat jarak tulangan :

$$s \leq 3t = 3 \times 120 = 360 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

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

- Kebutuhan tulangan susut dan suhu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho b h = 0.0020 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan  $\phi 8-200$  ( $\text{As} = 251.3 \text{ mm}^2$ )

Syarat jarak tulangan susut + suhu:

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

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

#### 4.6.3. Kontrol Lendutan

$$I_g = \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3 = 1.44E+8 \text{ mm}^4$$

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

$$\text{As} = 392.7 \text{ mm}^2$$

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

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

$$f_r = 0.7 \sqrt{f_c'} = 0.7 \sqrt{30} = 3.83 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25743} = 7.769$$

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

$$\begin{aligned} b \cdot x \cdot \frac{1}{2} x &= n \cdot A_s \cdot (d - y) \\ 1000 \cdot y \cdot \frac{1}{2} y &= E_s/E_c \cdot 392.7 \cdot (120 - y) \\ 500 \cdot y^2 &= 7.769 \cdot 392.7 \cdot (120 - y) \\ 500 \cdot y^2 &= 366111.2 - 3050.9y \\ y &= 24.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Besarnya momen inersia pada keadaan retak :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{12} b y^3 + n A_s (d - y)^2 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 24.2^3 + 7.769 \cdot 392.7 \cdot (120 - 24.2)^2 \\ &= 2.92 E+7 \text{ mm}^4 \\ M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} = \frac{3.83 \times 1.44 E+8}{60} = 9.20 E+6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Lendutan akibat beban mati :

$$\begin{aligned} DL &= 412 \text{ kg/m} \\ M_{\max DL} &= 0.001 \times 36 \times 412 \times 3.5^2 \\ &= 181.70 \text{ kgm} = 1.817 E+6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max DL}} = \frac{9.20 E+6}{1.817 E+6} = 5.06$$

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

$$I_{eff} = 5.06^3 \cdot 1.44 E+8 + [1 - 5.06^3] 2.92 E+7 = 1.49 E+10 \text{ mm}^4$$

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

$$\Delta_{DL} = \frac{5}{48} \frac{M_{\max DL} \times L^2}{E_c \times I_g} = \frac{5}{48} \times \frac{1.817 E+6 \times 3500^2}{25743 \times 1.44 E+8} = 0.625 \text{ mm}$$

Lendutan akibat beban hidup :

$$\begin{aligned} LL &= 250 \text{ kg/m} \\ M_{\max LL} &= 0.001 \times 36 \times 250 \times 3.5^2 \\ &= 110.25 \text{ kgm} = 1.1025 E+6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_{cr}}{M \max DL} = \frac{9.20E+6}{1.1025E+6} = 8.34$$

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

$$I_{eff} = 8.34^3 \cdot 1.44E+8 + [1 - 8.34^3] \cdot 2.92E+7 = 6.66E+10 \text{ mm}^4$$

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

$$\Delta_{LL} = \frac{5}{48} \frac{M \max DL \times L^2}{E_c \times I_g} = \frac{5}{48} \times \frac{1.1025E+6 \times 3500^2}{25743 \times 1.44E+8} = 0.380 \text{ mm}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai + susut :

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

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

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

$$\Delta_{cr+sh} = \lambda \times \Delta_{LL} = 2 \times 0.380 = 0.760 \text{ mm}$$

Lendutan total yang terjadi

$$= \Delta_{DL} + \Delta_{LL} + \Delta_{cr+sh} = 0.625 + 0.380 + 0.760 = 1.765 \text{ mm}$$

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

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{3500}{360} = 9.72 \text{ mm} > \Delta \text{ terjadi ..... (OK)}$$

#### 4.6.4. Kontrol retak

$$f_s = 0.6 f_y = 0.6 \times 320 = 192 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

$$z = 29453.50 \text{ MPa} < 30 \text{ MN/m untuk struktur dalam ruangan ..... (OK)}$$

Tabel 4.6 Kontrol Tebal Pelat Lantai

Tipe Pelat	Letak	Ln (mm)	Sn (mm)	$\beta$	b (mm)	h (mm)	t (mm)	be <sub>1</sub> (mm)	be <sub>2</sub> (mm)	be pakai (mm)	bslab (mm)	K	Ib (mm <sup>4</sup> )	I <sub>s</sub> (mm <sup>4</sup> )	$\alpha$	cm	h <sub>min1</sub> (mm)	h <sub>min2</sub> (mm)	h <sub>max</sub> (mm)	h <sub>min3</sub> (mm)	tebal (mm)
A	eksterior	3150	3150	1.00	400	700	120	980	880	880	3500	1.44	1.6E+10	5.0E+08	32.6	21.8	22	71	89	90	120
					400	700	120	980	880	880	3500	1.44	1.6E+10	5.0E+08	32.6						
					300	500	120	1060	1260	1060	3500	1.75	5.5E+09	5.0E+08	10.9						
					300	500	120	1060	1260	1060	3500	1.75	5.5E+09	5.0E+08	10.9						
	interior	3150	3150	1.00	300	800	120	1060	1260	1060	3500	1.75	5.5E+09	5.0E+08	10.9	24.3	20	71	89	90	120
					400	700	120	1560	1360	1360	3500	1.67	1.9E+10	5.0E+08	37.8						
					400	700	120	1560	1360	1360	3500	1.67	1.9E+10	5.0E+08	37.8						
					300	500	120	1060	1260	1060	3500	1.75	5.5E+09	5.0E+08	10.9						
B	eksterior	3600	3150	1.14	300	500	120	680	780	680	4000	1.55	4.9E+09	5.8E+08	8.4	29.3	18	79	101	90	120
					400	700	120	1560	1360	1360	3500	1.67	1.9E+10	5.0E+08	37.8						
					400	700	120	1560	1360	1360	3500	1.67	1.9E+10	5.0E+08	37.8						
					400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						
	interior	3650	3100	1.18	300	500	120	1060	1260	1060	3500	1.75	5.5E+09	5.0E+08	10.9	28.7	18	79	103	90	120
					400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						
					400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						
					400	700	120	1560	1360	1360	3500	1.67	1.9E+10	5.0E+08	37.8						
C	interior	3650	2650	1.38	300	500	120	1060	1260	1060	4000	1.75	5.5E+09	5.8E+08	9.5	24.9	18	76	103	90	120
					300	500	120	1060	1260	1060	3000	1.75	5.5E+09	4.3E+08	12.7						
					400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						
					400	700	120	1560	1360	1360	3000	1.67	1.9E+10	4.3E+08	44.1						
D	interior	3650	3600	1.01	300	500	120	1060	1260	1060	4000	1.75	5.5E+09	5.8E+08	9.5	27	21	82	103	90	120
					400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						
					400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						
					400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1						
E	eksterior	3650	2400	1.52	400	700	120	980	880	880	4000	1.44	1.6E+10	5.8E+08	28.6	25	16	74	103	90	120
					400	700	120	1560	1360	1360	2750	1.67	1.9E+10	4.0E+08	48.1						
					300	500	120	1060	1260	1060	4000	1.75	5.5E+09	5.8E+08	9.5						
					300	500	120	1060	1260	1060	2750	1.75	5.5E+09	4.0E+08	13.8						
	interior	3650	2400	1.52	400	700	120	1560	1360	1360	4000	1.67	1.9E+10	5.8E+08	33.1	26	16	74	103	90	120
					400	700	120	1560	1360	1360	2750	1.67	1.9E+10	4.0E+08	48.1						
					300	500	120	1060	1260	1060	4000	1.75	5.5E+09	5.8E+08	9.5						
					300	500	120	1060	1260	1060	2750	1.75	5.5E+09	4.0E+08	13.8						
F	eksterior	3150	2400	1.31	300	500	120	680	780	680	2750	1.55	4.9E+09	4.0E+08	12.3	27	15	67	89	90	120
					400	700	120	1560	1360	1360	3500	1.67	1.9E+10	5.0E+08	37.8						
					400	700	120	1560	1360	1360	2750	1.67	1.9E+10	4.0E+08	48.1						
					300	500	120	1060	1260	1060	3500	1.75	5.5E+09	5.0E+08	10.9						

**Tabel 4.7 Kontrol Tebal Pelat Atap**

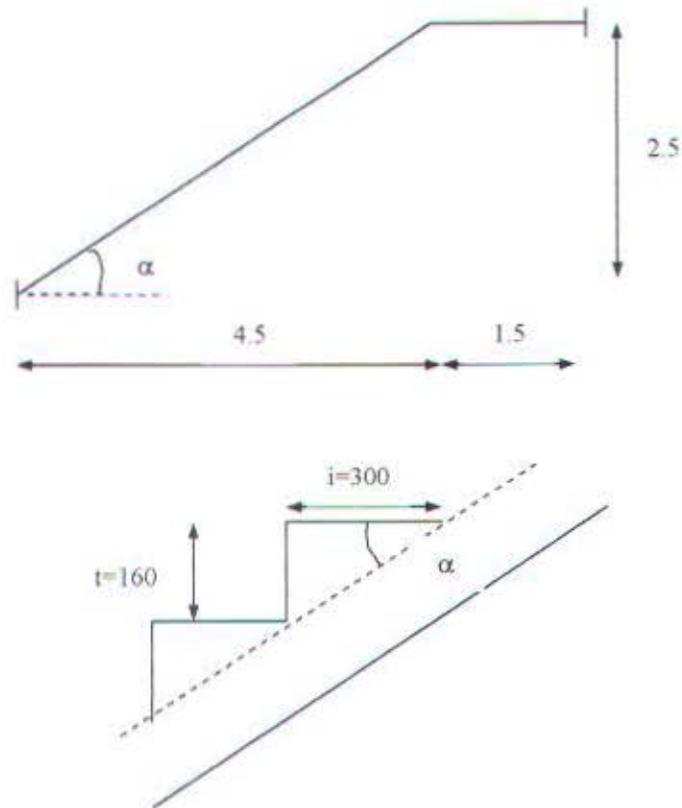
Tipe Pelat	Letak	Ln (mm)	Sn (mm)	$\beta$	b (mm)	h (mm)	t (mm)	be <sub>1</sub> (mm)	be <sub>2</sub> (mm)	be pakai (mm)	bslab (mm)	K	Ib (mm <sup>4</sup> )	Is (mm <sup>4</sup> )	$\alpha$	$\alpha_m$	hmin <sub>1</sub> (mm)	hmin <sub>2</sub> (mm)	hmax (mm)	hmin <sub>3</sub> (mm)	tebal (mm)
A	eksterior	3150	3150	1.00	400	700	100	1000	800	800	3500	1.34	1.5E+10	2.9E+08	52.6	35.6	15	71	89	90	100
					400	700	100	1000	800	800	3500	1.34	1.5E+10	2.9E+08	52.6						
					300	500	100	1100	1100	1100	3500	1.74	5.5E+09	2.9E+08	18.7						
					300	500	100	1100	1100	1100	3500	1.74	5.5E+09	2.9E+08	18.7						
	interior	3200	3150	1.02	300	500	100	1100	1100	1100	3500	1.74	5.5E+09	2.9E+08	18.7	29.2	18	72	90	90	100
					400	700	100	1600	1200	1200	3500	1.54	1.8E+10	2.9E+08	60.5						
					300	500	100	1100	1100	1100	3500	1.74	5.5E+09	2.9E+08	18.7						
					300	500	100	1100	1100	1100	3500	1.74	5.5E+09	2.9E+08	18.7						
B	eksterior	3600	3150	1.14	400	700	100	1000	800	800	4000	1.34	1.5E+10	3.3E+08	46.0	35.4	15	79	101	90	100
					400	700	100	1600	1200	1200	3500	1.54	1.8E+10	2.9E+08	60.5						
					300	500	100	1100	1100	1100	3500	1.74	5.5E+09	2.9E+08	18.7						
					300	500	100	1100	1100	1100	4000	1.74	5.5E+09	3.3E+08	16.4						
	interior	3650	3200	1.14	300	500	100	1100	1100	1100	3500	1.74	5.5E+09	2.9E+08	18.7	28.0	19	80	103	90	100
					300	500	100	1100	1100	1100	4000	1.74	5.5E+09	3.3E+08	16.4						
					300	500	100	1100	1100	1100	4000	1.74	5.5E+09	3.3E+08	16.4						
					400	700	100	1600	1200	1200	3500	1.54	1.8E+10	2.9E+08	60.5						

**Tabel 4.8** Perhitungan Momen Pelat Lantai

DL = 412 kg/m  
 LL = 250 kg/m  
 U = 894.4 kg/m

Tipe Pelat	Ly ( m )	Lx ( m )	$\beta$	Dacrah	C	Mu ( kgm )	Mu ( Nmm )
A	3.50	3.50	1.00	tumpuan x	-36.0	-394.43	-3.87E+06
	3.50	3.50		lapangan x	36.0	394.43	3.87E+06
	3.50	3.50		tumpuan y	-36.0	-394.43	-3.87E+06
	3.50	3.50		lapangan y	36.0	394.43	3.87E+06
B	4.00	3.50	1.14	tumpuan x	-44.0	-482.08	-4.72E+06
	4.00	3.50		lapangan x	44.0	482.08	4.72E+06
	4.00	3.50		tumpuan y	-37.5	-410.87	-4.03E+06
	4.00	3.50		lapangan y	37.5	410.87	4.03E+06
C	4.00	3.00	1.33	tumpuan x	-51.0	-410.53	-4.02E+06
	4.00	3.00		lapangan x	51.0	410.53	4.02E+06
	4.00	3.00		tumpuan y	-38.0	-305.88	-3.00E+06
	4.00	3.00		lapangan y	38.0	305.88	3.00E+06
D	4.00	4.00	1.00	tumpuan x	-36.0	-515.17	-5.05E+06
	4.00	4.00		lapangan x	36.0	515.17	5.05E+06
	4.00	4.00		tumpuan y	-36.0	-515.17	-5.05E+06
	4.00	4.00		lapangan y	36.0	515.17	5.05E+06
E	4.00	2.75	1.45	tumpuan x	-54.0	-365.25	-3.58E+06
	4.00	2.75		lapangan x	54.0	365.25	3.58E+06
	4.00	2.75		tumpuan y	-36.5	-246.88	-2.42E+06
	4.00	2.75		lapangan y	36.5	246.88	2.42E+06
F	3.50	2.75	1.27	tumpuan x	-51.0	-344.96	-3.38E+06
	3.50	2.75		lapangan x	51.0	344.96	3.38E+06
	3.50	2.75		tumpuan y	-38.0	-257.03	-2.52E+06
	3.50	2.75		lapangan y	38.0	257.03	2.52E+06

#### 4.7 Perencanaan Tangga



Gambar 4.2 Peencanaan tangga

##### 4.7.1. Perencanaan dimensi tangga

Pedoman perencanaan tangga : ..... (menurut Iman Subarkah)

$$600\text{mm} \leq 2t + i \leq 650\text{mm}$$

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

dimana  $t$  = tinggi injakan

$i$  = lebar injakan

$\alpha$  = sudut kemiringan tangga

Direncanakan tangga sebagai berikut :

Tinggi injakan,  $t = 160$  mm

Lebar injakan,  $i = 300$  mm

Tinggi antara lantai dan bordes = 2.50 m

Tebal pelat tangga dan bordes,  $t_p = 120$  mm

Kontrol :

$$2t + i = 2 \times 160 + 300 = 620 \text{ mm} \dots\dots \text{(OK)}$$

$$\text{Kemiringan tangga, } \alpha = \arctg\left(\frac{t}{i}\right) = \arctg\left(\frac{160}{300}\right) = 28.1^\circ \dots\dots \text{(OK)}$$

$$\text{Jumlah injakan, } n = \frac{2500}{160} = 15.6 \approx 16 \text{ buah}$$

$$\text{Tebal rata-rata anak tangga, } tr = \frac{i}{2} \sin \alpha = \frac{300}{2} \sin 28.1^\circ = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal total pelat tangga, } t = 120 + 70 = 190 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

#### 4.7.2. Pembebanan Tangga

##### (1) Pembebanan pada Pelat Tangga

Beban mati (tidak termasuk berat sendiri)

Berat anak tangga	$= \frac{0.070}{\cos 28.1^\circ} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 190 \text{ kg/m}^2$
Spesi, tebal 2 cm	$= 2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
Tegel, tebal 2 cm	$= 2 \times 24 \text{ kg/m}^2$	$= 48 \text{ kg/m}^2$
Sandaran (dinding $\frac{1}{2}$ bata)		$= 250 \text{ kg/m}^2 +$
		$D = 530 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup (L)

$$\text{Beban hidup untuk kantor} = 300 \text{ kg/m}^2$$

##### (2) Pembebanan pada Pelat Bordes

Beban mati (tidak termasuk berat sendiri)

Spesi, tebal 2 cm	$= 2 \times 21 \text{ kg/m}^2$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
Tegel, tebal 2 cm	$= 2 \times 24 \text{ kg/m}^2$	$= 48 \text{ kg/m}^2$
Sandaran (dinding $\frac{1}{2}$ bata)		$= 250 \text{ kg/m}^2 +$
		$D = 340 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup (L)

$$\text{Beban hidup pada bordes} = 300 \text{ kg/m}^2$$

Dari analisa struktur tangga dengan SAP 2000 diperoleh gaya-gaya dalam :

$$\text{Gaya-gaya pada pelat tangga : } \begin{aligned} M_u &= 3.73E + 7 \text{ Nmm} \\ V_u &= 4.00E + 4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Gaya-gaya pada pelat bordes : } \begin{aligned} M_u &= 2.10E + 7 \text{ Nmm} \\ V_u &= 2.42E + 4 \text{ N} \end{aligned}$$

4.7.3. *Penulangan lentur pada struktur tangga :*

$$\beta_1 = 0.85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f'c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.85 \frac{0.85 \times 30}{390} \frac{600}{600 + 390} = 0.0337$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.0337 = 0.0253$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

(1) Menghitung tulangan pelat tangga :

$$M_u = 3.73 \text{ E} + 7 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal total pelat tangga, } t = 190 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

Senggang  $\phi$  10 mm, Tulangan utama D-16 mm

$$d = 190 - 20 - 10 - 16/2 = 152 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3.73E + 7}{0.8 \times 1000 \times 152^2} = 2.018$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{15.29} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.29 \times 2.018}{390}} \right) = 0.0054$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d = 0.0054 \times 1000 \times 152 \\ &= 820.8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **D16-200** ( $A_s = 1005.3 \text{ mm}^2$ )

Syarat jarak tulangan :

$$\begin{aligned} s &\leq 3t = 3 \times 190 = 570 \text{ mm} \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{(OK)}$$

(2) Menghitung tulangan pelat bordes :

$$M_u = 2.10 \text{ E}+7 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal pelat bordes, } t_p = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

Sengkang  $\phi$  10 mm, Tulangan utama D 16 mm

$$d = 120 - 20 - 10 - 16/2 = 82 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{2.10 \text{ E}+7}{0.8 \times 1000 \times 82^2} = 3.904$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{15.29} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.29 \times 3.94}{390}} \right) = 0.0110$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d = 0.0110 \times 1000 \times 82 \\ &= 895.6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **D16-200** ( $A_s = 1005.2 \text{ mm}^2$ )

Syarat jarak tulangan :

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

(3) Menghitung tulangan pembagi :

Tulangan pembagi pada tangga

$$\text{Tebal total pelat tangga, } t = 190 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\phi$  10 mm

$$d = 190 - 20 - 10/2 = 165 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 0.0020 \text{ bd} &= 0.0020 \times 1000 \times 165 \\ &= 330.0 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan  $\phi 10-200$  ( $\text{As} = 392.7 \text{ mm}^2$ )

Syarat jarak tulangan :

$$\begin{aligned} s \leq 5t &= 5 \times 190 = 950 \text{ mm} \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{OK})$$

#### Tulangan pembagi pada bordes

Tebal pelat bordes,  $t_p = 120 \text{ mm}$

Dipakai tulangan  $\phi 10 \text{ mm}$

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

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= 0.0020 \text{ bd} &= 0.0020 \times 1000 \times 95 \\ &= 190.0 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan  $\phi 10-200$  ( $\text{As} = 392.7 \text{ mm}^2$ )

Syarat jarak tulangan :

$$\begin{aligned} s \leq 5t &= 5 \times 120 = 600 \text{ mm} \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{OK})$$

#### 4.7.4. Pemulangan geser struktur tangga :

$$V_u = 4.0 \text{ E}+4 \text{ N}$$

$$d = 190 - 20 - 10 - 10/2 = 155 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 1000 \times 155 = 141495.0 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.60 \times 141495.0 = 84897.0 \text{ N}$$

→  $V_u < \phi V_c$ , tidak perlu tulangan geser

#### 4.7.5. Perencanaan Balok Bordes

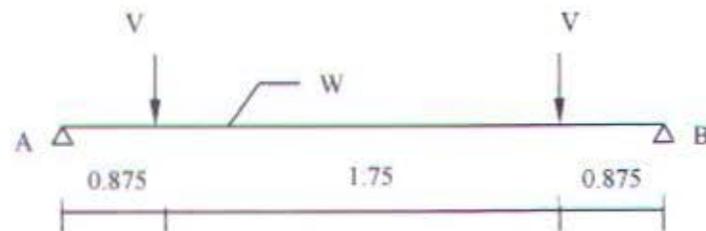
Data perencanaan :

$$\text{Dimensi balok} = 300/500$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan utama} = 16 \text{ mm}$$

Dari hasil analisa struktur dengan SAP 2000 diperoleh pemodelan struktur sebagai berikut :



Gaya-gaya yang bekerja :

$$V = 320.34 \text{ kg}$$

$$Tu = 3798.55 \text{ kgm} = 3.725 \text{ E}+7 \text{ Nmm}$$

$$\text{Berat sendiri balok, } W = 0.3 \times 0.5 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$R_A = 1/2 \times (2 \times V + W \times 3.5) = 950.34 \text{ kg}$$

$$M_{\text{tengah}} = R_A \times (0.875 + 1.75/2) - V \times 1.75/2 = 1382.8 \text{ kgm} = 1.38 \text{ E} + 7 \text{ Nmm}$$

Perencanaan tulangan utama

$$d = 500 - 40 - 10 - 16/2 = 442 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1.38 \text{ E} + 7}{0.8 \times 300 \times 442^2} = 0.294$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.29$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{15.29} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.29 \times 0.294}{390}} \right) = 0.0008$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036 \rightarrow \text{dipakai } \rho_{\text{min}}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{min}} b d = 0.0036 \times 300 \times 442 \\ &= 477.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **3D-16** (As = 603.2 mm<sup>2</sup>)

Perencanaan tulangan geser :

$$V_u = 950.34 \text{ kg} = 9503.4 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_c'} b d \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{6} \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 442 \right) = 36149.7 \text{ N}$$

Periksa kategori desain :

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

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

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

$$s_{maks} = \frac{3 A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 320}{300} = 502.4 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser  $\phi 10-200$

Perencanaan tulangan torsi :

$$T_u = 3.725 \text{ E}+7 \text{ Nmm}$$

$$\Sigma x^2 y = (300^2 \times 500) = 4.5 \text{ E}+7 \text{ mm}^3$$

$$\Sigma x^2 y = (500^2 \times 300) = 7.5 \text{ E}+7 \text{ mm}^3 \quad (\text{menentukan})$$

Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton :

$$\phi T_c = \phi \left( \frac{1}{15} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y \right) = 0.6 \left( \frac{1}{15} \sqrt{30} \times 7.5 \text{ E}+7 \right)$$

$$\phi T_c = 1.64 \text{ E}+7 \text{ Nmm}$$

Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan tulangan torsi :

$$\begin{aligned} \phi T_s &= T_u - \phi T_c = 3.725 \text{ E}+7 - 1.64 \text{ E}+7 \\ &= 2.085 \text{ E}+7 \text{ Nmm} < 4 \phi T_c = 4 \times 1.64 \text{ E}+7 \text{ Nmm} \\ &= 6.56 \text{ E}+7 \text{ Nmm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan sengkang penahan torsi :

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

$$\phi T_s = \phi \frac{A_t \times \alpha t \times b \times h \times f_y}{s}$$

dimana :

$$\alpha t = \frac{\left( 2 + \frac{h}{b} \right)}{3} \leq 1.50 \rightarrow \alpha t = \frac{\left( 2 + \frac{500}{300} \right)}{3} = 1.22 \leq 1.50$$

$$s = \frac{\phi \times A_t \times \alpha \times b \times h \times f_y}{\phi T_s} = \frac{0.6 \times 157.0 \times 1.22 \times 300 \times 500 \times 320}{2.085E + 7} = 265 \text{ mm}$$

Dipasang sengkang  $\phi 10-200$

Jumlah kebutuhan tulangan longitudinal :

$$A_l = 2 A_t \frac{b+h}{s} = 2 \times 157.0 \times \frac{300+500}{200} = 1256.0 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 7D-16 ( $A_s = 1407.4 \text{ mm}^2$ )

#### 4.8 Perencanaan Balok Anak

Perencanaan balok anak yang terdapat pada :

- lantai 2 – 4 → sebagai balok grid
- lantai 5–atap → sebagai balok menerus

##### 4.8.1. Contoh perencanaan balok anak lantai 2.

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

$$Mu^- = 9.13E + 7Nmm$$

$$Mu^+ = 5.12E + 7Nmm$$

$$Vu = 6.95E + 4N$$

Direncanakan balok anak dengan :

$$\beta_1 = 0.85 \text{ untuk } f'c \leq 30MPa$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f'c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.85 \frac{0.85 \times 30}{390} \frac{600}{600 + 390} = 0.0337$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.0337 = 0.0253$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.294$$

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

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

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

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

$$d = 500 - 40 - 10 - 19/2 = 440.5 \text{ mm}$$

Tulangan daerah tumpuan

$$Mu^- = 9.13E + 7Nmm$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{9.13E + 7}{0.8 \times 300 \times 440.5^2} = 1.961$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.294} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.294 \times 1.960}{390}} \right) = 0.0052$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d = 0.0052 \times 300 \times 440.5 \\ &= 687.2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **3D-19** ( $\text{As} = 850.5 \text{ mm}^2$ )

### Penulangan lapangan

$$Mu^+ = 5.12E + 7Nmm$$

Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{e1} = \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 3500 = 875mm$$

$$b_{e2} = b_w + 16t = 300 + 16 \times 120 = 2220mm \quad \} \text{ diambil } b_e = 875 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = \frac{1}{2}l_1 + \frac{1}{2}l_2 = \frac{1}{2} \times 3150 + \frac{1}{2} \times 3150 = 3150mm$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b_e d^2} = \frac{5.12E + 7}{0.8 \times 875 \times 440.5^2} = 0.377$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.294} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.294 \times 0.377}{390}} \right) = 0.0010$$

$$\text{dipakai } \rho = \frac{4}{3} \rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0.0010 = 0.0013$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho b_e d = 0.0013 \times 875 \times 440.5 \\ &= 500.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** ( $\text{As} = 567.0 \text{ mm}^2$ )

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_e} = \frac{567.0 \times 390}{0.85 \times 30 \times 875} = 10.0mm < t = 120 \text{ mm.}$$

→ jadi pemisalan balok T sebagai balok persegi sudah benar.

### Perencanaan Tulangan Geser

$$Vu = 6.95E + 4N$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_c'} b d = \frac{1}{6} \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 440.5 = 7.24E + 4N$$

Periksa kategori desain :

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

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

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

$$s_{maks} = \frac{3A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 320}{300} = 502.4 \text{ mm}$$

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 :

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

$$f_s = 0.6 \times f_y = 0.6 \times 390 \\ = 234 \text{ MPa}$$

$$d_c = \text{jarak antara titik berat tulangan utama dengan serat tarik terluar} \\ = 40 + 10 + 19/2 = 59.5 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2d_c b}{n} = \frac{2 \times 59.5 \times 300}{3} = 11900 \text{ mm}^2$$

$$z = 234 \times \sqrt[3]{59.5 \times 11900} = 20860 \text{ N/mm} < 30 \text{ MN/m} \dots \text{ (OK)}$$

#### 4.8.2. Contoh perencanaan balok anak lantai 5.

##### (1) Balok anak BA7 (200/300)

Pembebanan balok anak

Beban mati (D) :

Beban pelat	= 2 x 480.7 kg/m	= 962 kg/m
Berat sendiri balok	= 0.2 x 0.3 x 2400 kg/m <sup>3</sup>	= 144 kg/m +
	D	= 1106 kg/m

Beban hidup (L) :

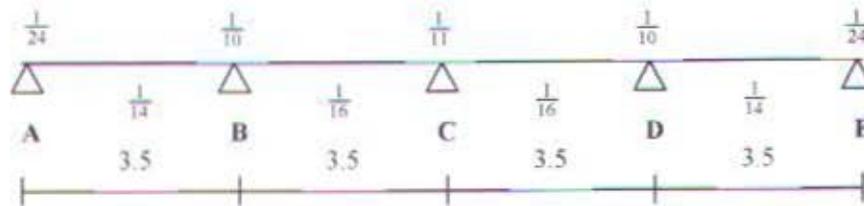
Beban pelat	= 2 x 291.6 kg/m	= 583 kg/m
-------------	------------------	------------

Beban ultimate :

$$w_u = 1.2D + 1.6L$$

$$w_u = 1.2 \times 1106 + 1.6 \times 583 = 2260 \text{ kg/m}$$

Perhitungan momen ultimate



Gaya-gaya dalam yang terjadi :

$$Mu^- = \frac{1}{10} \times 2260 \times 3.5^2 = 2768.5 \text{ kgm} = 2.76\text{E}+7 \text{ Nmm}$$

$$Mu^+ = \frac{1}{14} \times 2260 \times 3.5^2 = 1977.5 \text{ kgm} = 1.97\text{E}+7 \text{ Nmm}$$

$$Vu = \frac{1}{10} \times 2260 \times 3.5 = 791 \text{ kg} = 7.91\text{E}+3 \text{ N}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, direncanakan balok anak dengan :

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\rho_{\max} = 0.0253$$

$$m = 15.294$$

$$\rho_{\min} = 0.0036$$

$$h = 300 \text{ mm} ; b = 200 \text{ mm}$$

$$d = 300 - 40 - 10 - 19/2 = 240.5 \text{ mm}$$

Tulangan daerah tumpuan

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{2.76\text{E}+7}{0.8 \times 200 \times 240.5^2} = 2.982$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0.0082$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d = 0.0082 \times 200 \times 240.5 \\ &= 394.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** ( $\text{As} = 567.0 \text{ mm}^2$ )

Penulangan lapangan

$$b_c = 875 \text{ mm}$$

$$Rn = 0.487$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0.0013$$



$$\text{dipakai } \rho = \frac{4}{3}\rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0.0013 = 0.0017$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho b e d = 0.0017 \times 875 \times 240.5 \\ &= 353.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **2D-19** ( $A_s = 567.0 \text{ mm}^2$ )

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_e} = \frac{567.0 \times 390}{0.85 \times 30 \times 875} = 10.0 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm.}$$

→ jadi pemisalan balok T sebagai balok persegi sudah benar.

#### Perencanaan Tulangan Geser

$$V_u = 7.91E + 3N$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_c'} b d = \frac{1}{6} \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 200 \times 240.5 = 2.63E + 4N$$

Periksa kategori desain :

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

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

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

$$s_{\text{maks}} = \frac{3A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 320}{200} = 755 \text{ mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{240.5}{2} = 120.25 \text{ mm}$$

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

Dipasang tulangan geser **φ10-100**

#### (2) Balok anak BA8 (300/500)

Untuk bentang 7 m.

$$D = 2 \times 360.5 \text{ kg/m} = 721 \text{ kg/m}$$

$$L = 2 \times 218.7 \text{ kg/m} = 437 \text{ kg/m}$$

Untuk bentang 8 m.

$$D = 2 \times 405.6 \text{ kg/m} = 811 \text{ kg/m}$$

$$L = 2 \times 218.7 \text{ kg/m} = 437 \text{ kg/m}$$

Dari hasil analisa SAP 2000, diperoleh gaya-gaya dalam :

$$Mu^- = 19134 \text{kgm} = 1.91\text{E}+8 \text{ Nmm}$$

$$Mu^+ = 13521 \text{kgm} = 1.35\text{E}+8 \text{ Nmm}$$

$$Vu = 12270 \text{kg} = 1.22\text{E}+5 \text{ N}$$

Dengan cara yang sama seperti diatas, direncanakan balok anak dengan :

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - 19/2 = 440.5 \text{ mm}$$

Tulangan daerah tumpuan

$$\rho_{\text{perlu}} = 0.0115$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d = 0.0115 \times 300 \times 440.5 \\ &= 1519.7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **5D-19** ( $A_s = 1417.5 \text{ mm}^2$ )

Penulangan lapangan

$$\rho_{\text{perlu}} = 0.0026$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{min}} b_e d = 0.0036 \times 875 \times 440.5 \\ &= 1336.3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan **5D-19** ( $A_s = 1417.5 \text{ mm}^2$ )

$$\alpha = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_e} = \frac{1417.5 \times 390}{0.85 \times 30 \times 875} = 25 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm.}$$

→ jadi pemisalan balok T sebagai balok persegi sudah benar.

Perencanaan Tulangan Geser

$$Vu = 1.22\text{E} + 5 \text{ N}$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_c'} b d = \frac{1}{6} \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 440.5 = 7.24\text{E} + 4 \text{ N}$$

$$\phi V_s = \frac{1}{3} \phi \sqrt{f_c'} b d = \frac{1}{3} \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 440.5 = 1.45\text{E} + 5 \text{ N}$$

Periksa kategori desain :

$$\phi V_c \leq Vu \leq (\phi V_c + \phi V_s) \rightarrow \text{kategori desain 3.}$$

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

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

$$s_{maks} = \frac{3A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 320}{300} = 502.4 \text{ mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{440.5}{2} = 220 \text{ mm}$$

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

Dipasang tulangan geser  $\phi 10-200$

**Tabel 4.12** Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

$f_c' = 30$	MPa	$b = 300$	mm
$f_y = 390$	MPa	$b_k = 875$	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	$\rho$ perlu	$\rho$ pakai	As mm <sup>2</sup>	Dipasang		Mu' ( Nmm )	Rn	$\rho$ perlu	$\rho$ pakai	As mm <sup>2</sup>	Dipasang	
							Tulangan	As						Tulangan	As
2	BA1	9.13E+07	1.961	0.0052	0.0052	687.2	<b>3D-19</b>	850.5	5.12E+07	0.377	0.0010	0.0013	500.4	<b>2D-19</b>	567.0
	BA2	5.42E+07	1.164	0.0031	0.0036	475.7	<b>2D-19</b>	567.0	2.36E+07	0.174	0.0004	0.0006	229.7	<b>2D-19</b>	567.0
	BA4	4.40E+07	0.945	0.0025	0.0036	475.7	<b>2D-19</b>	567.0	1.61E+07	0.119	0.0003	0.0004	156.6	<b>2D-19</b>	567.0
	BA6	9.81E+07	2.107	0.0056	0.0056	740.0	<b>3D-19</b>	850.5	3.90E+07	0.287	0.0007	0.0010	380.5	<b>2D-19</b>	567.0
	BA5	5.17E+07	1.110	0.0029	0.0036	475.7	<b>2D-19</b>	567.0	4.41E+07	0.325	0.0008	0.0011	430.6	<b>2D-19</b>	567.0
3	BA1	8.83E+07	1.896	0.0051	0.0051	674.0	<b>3D-19</b>	850.5	5.98E+07	0.440	0.0011	0.0015	585.2	<b>2D-19</b>	567.0
	BA2	5.45E+07	1.170	0.0031	0.0036	475.7	<b>2D-19</b>	567.0	2.36E+07	0.174	0.0004	0.0006	229.7	<b>2D-19</b>	567.0
	BA3	1.00E+08	2.147	0.0058	0.0058	766.5	<b>3D-19</b>	850.5	5.25E+07	0.387	0.0010	0.0013	513.2	<b>2D-19</b>	567.0
	BA4	4.28E+07	0.919	0.0024	0.0036	475.7	<b>2D-19</b>	567.0	1.60E+07	0.118	0.0003	0.0004	155.6	<b>2D-19</b>	567.0
	BA5	5.11E+07	1.097	0.0029	0.0036	475.7	<b>2D-19</b>	567.0	4.42E+07	0.325	0.0008	0.0011	431.6	<b>2D-19</b>	567.0
	BA6	9.82E+07	2.109	0.0057	0.0057	753.3	<b>3D-19</b>	850.5	3.91E+07	0.288	0.0007	0.0010	381.5	<b>2D-19</b>	567.0
4	BA1	8.83E+07	1.896	0.0051	0.0051	674.0	<b>3D-19</b>	850.5	6.36E+07	0.468	0.0012	0.0016	622.8	<b>2D-19</b>	567.0
	BA2	5.44E+07	1.168	0.0031	0.0036	475.7	<b>2D-19</b>	567.0	2.36E+07	0.174	0.0004	0.0006	229.7	<b>2D-19</b>	567.0
	BA3	1.03E+08	2.212	0.0059	0.0059	779.7	<b>3D-19</b>	850.5	5.64E+07	0.415	0.0011	0.0014	551.7	<b>2D-19</b>	567.0
5 sd 7	BA7	2.76E+07	2.982	0.0082	0.0082	394.4	<b>2D-19</b>	567.0	1.97E+07	0.487	0.0013	0.0017	353.5	<b>2D-19</b>	567.0
	BA8	1.91E+08	4.101	0.0115	0.0115	1519.7	<b>5D-19</b>	1417.5	1.35E+08	0.994	0.0026	0.0035	1336.3	<b>5D-19</b>	1417.5
Atap	BA7	1.98E+07	2.134	0.0057	0.0057	274.2	<b>2D-19</b>	567.0	1.14E+07	0.282	0.0007	0.0010	203.7	<b>2D-19</b>	567.0
	BA8	1.41E+08	3.028	0.0083	0.0083	1096.8	<b>4D-19</b>	1134.0	9.83E+07	0.724	0.0019	0.0025	967.6	<b>4D-19</b>	1134.0

**Tabel 4.13** Perencanaan Geser Balok Anak $f_c' = 30$  MPa $f_y = 320$  MPa

Lantai	Tipe Balok	Tulangan geser sejarak d						Tulangan geser sejarak lebih dari d		
		Vu ( N )	b mm	d mm	$\phi V_c$ ( N )	s ( mm )	Dipasang	Vu ( N )	s ( mm )	Dipasang
2	BA1	6.95E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	5.56E+04	502	$\phi 10-300$
	BA2	5.11E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	4.09E+04	502	$\phi 10-300$
	BA4	5.07E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	4.06E+04	502	$\phi 10-300$
	BA6	7.40E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	5.92E+04	502	$\phi 10-300$
	BA5	5.30E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	4.24E+04	502	$\phi 10-300$
3	BA1	6.87E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	5.50E+04	502	$\phi 10-300$
	BA2	5.11E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	4.09E+04	502	$\phi 10-300$
	BA3	7.47E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	5.98E+04	502	$\phi 10-300$
	BA4	5.01E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	4.01E+04	502	$\phi 10-300$
	BA5	5.28E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	4.22E+04	502	$\phi 10-300$
	BA6	7.40E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	5.92E+04	502	$\phi 10-300$
4	BA1	6.87E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	5.50E+04	502	$\phi 10-300$
	BA2	5.11E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	4.09E+04	502	$\phi 10-300$
	BA3	7.65E+04	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	6.12E+04	502	$\phi 10-300$
5 sd 7	BA7	7.91E+03	200	240.5	2.63E+04	754	$\phi 10-200$	6.33E+03	754	$\phi 10-300$
	BA8	1.22E+05	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	9.76E+04	502	$\phi 10-300$
Atap	BA7	7.91E+03	200	240.5	2.63E+04	754	$\phi 10-200$	6.33E+03	754	$\phi 10-300$
	BA8	1.22E+05	300	440.5	7.24E+04	502	$\phi 10-200$	9.76E+04	502	$\phi 10-300$

#### 4.9 Analisa Struktur Utama

Analisa struktur utama meliputi :

- 1). Analisa statis, dimana beban-beban yang diperhitungkan adalah beban gravitasi (beban mati + beban hidup).
- 2). Analisa dinamis, pembebanan yang ditinjau adalah beban gempa dalam arah lateral.

Analisa dinamis dilakukan terpisah dengan analisa beban statis akibat beban gravitasi. Hasil *output running* disesuaikan dengan kombinasi-kombinasi pembebanan yang diisyaratkan SKSNI T-15-1991-03.

##### 4.9.1 Berat struktur dan koordinat pusat massa.

Di bawah ini diberikan berat struktur tiap-tiap lantai yang diakibatkan oleh beban gravitasi. Selain itu juga diberikan koordinat pusat massa tiap lantai dan Momen Inersia Massa tiap lantai. Perhitungan secara rinci diberikan terlampir.

**Tabel 4.14** Berat Struktur dan Koordinat Pusat Massa

Lantai	W ( kg )	M = W/g ( kg )	Pusat Massa		MMI (kg-dt <sup>2</sup> -m <sup>2</sup> /m)
			x ( m )	y ( m )	
Atap	217128	22133	7.0	14.5	1254222
7	301916	30776	7.0	14.5	1743993
6	301916	30776	7.0	14.5	1743993
5	301916	30776	7.0	14.5	1743993
4	564655	57559	7.9	14.5	5502892
3	661718	67453	8.9	14.5	7447981
2	656318	66903	9.5	14.5	7387201
Σ = 3005567					

Pada tabel di bawah ini diberikan koefisien gempa dasar bangunan di zone 4 ( daerah Surabaya ) yang didirikan diatas tanah lunak (PPKGURG 1987). Data di bawah ini digunakan sebagai beban dinamik pada model struktur yang menggunakan Analisa Respon Spektrum.

**Tabel 4.15** Koefisien C zone 4 tanah lunak

Waktu (detik)	Koefisien C
0	0.050
0.5	0.050
1.0	0.050
2.0	0.030
3.0	0.025

#### 4.9.2 Kontrol partisipasi massa pada analisa dinamis.

Jumlah mode harus ditentukan sedemikian rupa sehingga jumlah massa yang berpartisipasi dalam perhitungan gempa dinamis tidak boleh kurang dari 90 % dari massa yang ada.

Dari hasil analisa dinamis diperoleh partisipasi massa → 7 mode

Untuk arah x = 95.55 % > 90 %

Untuk arah y = 93.20 % > 90 %

Jumlah partisipasi massa yang bekerja telah memenuhi persyaratan yang ditentukan, sehingga jumlah *mode* tidak perlu ditambah lagi.

#### 4.9.3 Kontrol gaya geser dasar.

Total gaya geser dasar yang bekerja pada analisa dinamis boleh direduksi sehingga nilai gaya geser total yang bekerja tidak boleh kurang dari 90 % dari gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisa statis.

Dari hasil analisa dengan SAP 2000 diperoleh :

V dinamis = 138961.571 kg

V statis = 150278.35 kg → perhitungan terlampir

$$\frac{V_{dinamis}}{V_{statis}} = \frac{138961.571}{150278.35} = 92.5\% > 90\% \quad (\text{OK})$$

#### 4.10 Perencanaan Balok Pratekan

Sebagai contoh perhitungan adalah balok pratekan BP1 pada lantai 5 :

##### 4.10.1. Tegangan ijin beton pratekan

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

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

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

1. Tegangan ijin beton sesaat setelah pemindahan gaya prategang :

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

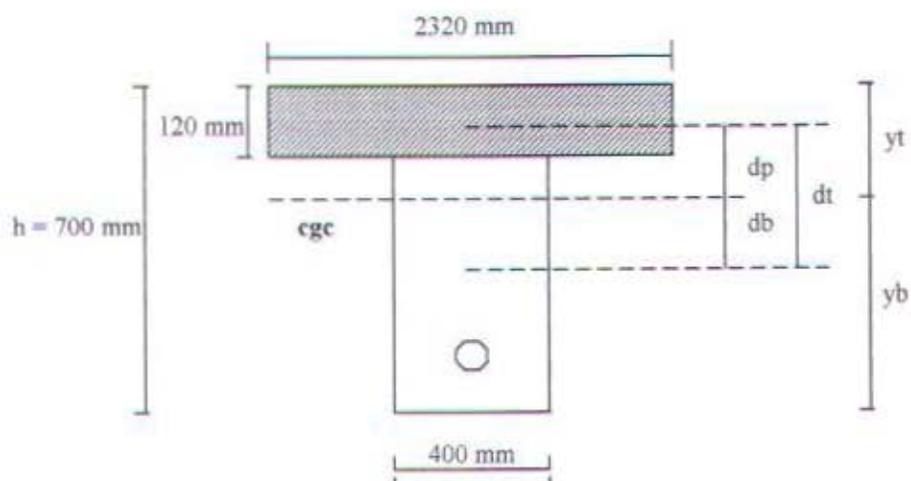
$$\text{Tegangan tarik} \quad \sigma_{ti} = 0,25 x \sqrt{f_{ci}} = 0,25 x \sqrt{35,2} = 1,5 \text{ Mpa}$$

2. Setelah terjadi kehilangan gaya prategang :

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

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

##### 4.10.2. Dimensi penampang



Gambar 4.3 Dimensi balok pratekan

Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{e1} = \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 14000 = 3500 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 16t = 400 + 16 \times 120 = 2320 \text{ mm} \quad \} \text{ diambil } b_e = 2320 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = \frac{1}{2}l_1 + \frac{1}{2}l_2 = \frac{1}{2}6600 + \frac{1}{2}7600 = 7100 \text{ mm}$$

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

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

$$n = \frac{E_{c \text{ balok}}}{E_{c \text{ pelat}}} = \frac{29725}{25743} = 1.155$$

Luas penampang balok :

$$A_{\text{pelat}} = \frac{b_e \times t}{n} = \frac{2320 \times 120}{1.155} = 241039.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{balok}} = 400 \times (700 - 120) = 232000.0 \text{ mm}^2 +$$

$$A_{\text{total}} = 473039.0 \text{ mm}^2$$

$$d_t = \frac{700 - 120}{2} + \frac{120}{2} = 350 \text{ mm}$$

Statis momen pada garis netral pelat :

$$A_{\text{balok}} \times d_t = A_t \times d_p$$

$$d_p = \frac{d_t \times A_{\text{balok}}}{A_t} = \frac{350 \times 232000}{473039.0} = 172 \text{ mm}$$

$$d_b = d_t - d_p = 350 - 172 = 178 \text{ mm}$$

$$y_t = d_p + t/2 = 172 + 120/2 = 232 \text{ mm}$$

$$y_b = h - y_t = 700 - 232 = 468 \text{ mm}$$

$$I_{\text{komposit}} = \frac{1}{12}bh^3 + A_{\text{balok}} \cdot d_b^2 + \frac{1}{12} \frac{b_e}{n} t^3 + A_{\text{pelat}} \cdot d_p^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 400 \times (700 - 120)^3 + 232000 \times 178^2 + \frac{1}{12} \times \frac{2320}{1.155} \times 120^3 + 241039.0 \times 172^2$$

$$= 2.13 \text{ E}+10 \text{ mm}^4$$

$$Z_t = \frac{I}{y_t} = \frac{2.13 \text{ E}+10}{232} = 9.18 \text{ E}+7 \text{ mm}^3$$

$$Z_b = \frac{I}{y_b} = \frac{2.13 \text{ E}+10}{468} = 4.55 \text{ E}+7 \text{ mm}^3$$

$$Kt = \frac{Zb}{At} = \frac{4.55E+7}{473039.0} = 96mm$$

$$Kb = \frac{Zt}{At} = \frac{9.18E+7}{473039.0} = 194mm$$

#### 4.10.3. Perhitungan Daerah Limit Kabel

$$F_i = 1500 \text{ kN}$$

$$F = 1200 \text{ kN} \quad (\text{Lump sum Loss of Prestress } \pm 20 \%)$$

$$M_{\min} = 2.70E+8 \text{ Nmm}$$

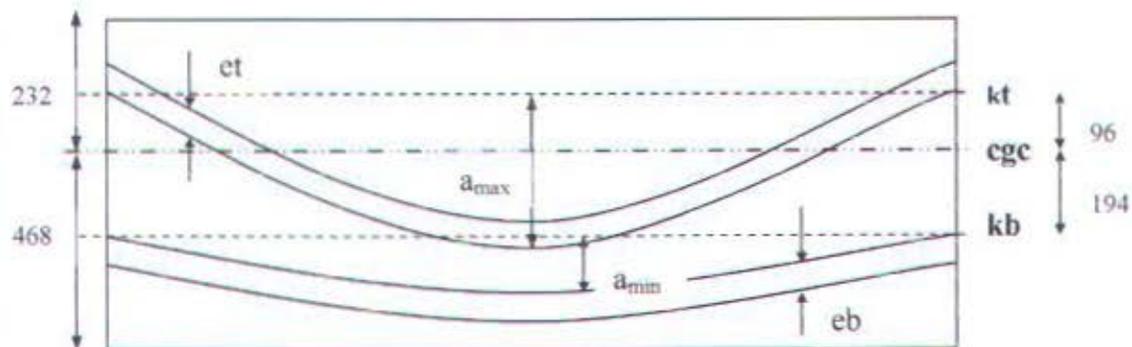
$$M_{\max} = 4.53E+8 \text{ Nmm}$$

$$a_{\max} = \frac{M_{\max}}{F} = \frac{4.53E+8}{1200E+3} = 378mm$$

$$a_{\min} = \frac{M_{\min}}{F_i} = \frac{2.70E+8}{1500E+3} = 180mm$$

$$eb = \frac{\sigma_{ii} \cdot A \cdot kb}{F_i} = \frac{1.5 \cdot 473039.0 \cdot 194}{1500E+3} = 92mm$$

$$et = \frac{\sigma_{is} \cdot A \cdot kt}{F} = \frac{3.2 \cdot 473039.0 \cdot 96}{1200E+3} = 121mm$$



Gambar 4.4 Daerah limit kabel pratekan

Pada perencanaan balok pratekan ini, dipakai

$$e_o \text{ lapangan} = 320 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad f = 320 + 80 = 400 \text{ mm}$$

$$e_o \text{ tumpuan} = 80 \text{ mm}$$

#### 4.10.4. Perhitungan Kehilangan Pratekanan

##### Perhitungan Kehilangan Prategang Langsung

##### (1) Kehilangan pratekan akibat Slip Angkur

$$F_i = 1500 \text{ kN}$$

$$A_{ps} = 1184.6 \text{ mm}^2$$

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

$$f_{ps} = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{1500000}{1184.6} = 1266.3 \text{ MPa}$$

Karakteristik untuk 7 *wire strands* yang direncanakan adalah :

$$\mu = 0.2$$

$$K = 0.0016 / \text{m}^3$$

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

$$\alpha = \frac{8f}{L} = \frac{8 \times 400}{14000} = 0.229 \text{ rad}$$

Jarak slip angkur yang diperhitungkan :

$$X = \sqrt{\frac{E_{ps} \cdot g}{f_{ps} \left( \frac{\mu \alpha}{L} + K \right)}} = \sqrt{\frac{186300 \times 1}{1266.3 \left( 0.2 \times \frac{0.229}{14000} + 0.0000016 \right)}} = 5499.1 \text{ mm}$$

Penurunan tegangan akibat slip :

$$\begin{aligned} \Delta f_{ps} &= 2 f_{ps} \left( \mu \frac{\alpha}{L} + K \right) X = 2 \times 1266.3 \left( 0.2 \times \frac{0.229}{14000} + 0.0000016 \right) \times 5499.1 \\ &= 67.8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kehilangan pratekan akibat slip angkur :

$$\begin{aligned} \Delta F &= \Delta f_{ps} \cdot A_{ps} \\ &= 67.8 \times 1184.6 = 80368.5 \text{ N} = 80.3 \text{ kN} \quad (5.4\%) \end{aligned}$$

##### (2) Kehilangan pratekan akibat gesekan dan *Wobble Effect*

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

$$F_l = 1500 \times e^{-(0.2 \times 0.229 + 0.0000016 \times 14000)}$$

$$= 1500 \times 0.9340 = 1401.0 \text{ kN}$$

$$\Delta F = 1500 - 1401.0 = 99.0 \text{ kN} \quad (6.6\%)$$

Perhitungan Kehilangan Pratekan tak Langsung.

$$b = 400 \text{ mm}$$

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

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

$$b_c = 2320 \text{ mm}$$

$$A = 473039.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} = 1184.6 \text{ mm}^2 \text{ ( VSL grade 270 k, E5 – 12 12 strands )}$$

$$F_{ijin} = 346.9 \text{ ksi} = 1543.0 \text{ kN}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{473039.0 \times L}{2(700 + 2320) \times L} = 78.3 \text{ mm} = 3.08 \text{ in}$$

$$\text{maka SCF} = 0.860$$

$$\text{SSF} = 0.850$$

$$E_c = 29725 \text{ MPa} = 4308029 \text{ psi}$$

$$\text{UCR} = 95 - 20 E_c / 10^6$$

$$= 95 - 20 \times 4308029 / 10^6 = 8.84 \rightarrow \text{dipakai UCR} = 11$$

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

$$= 27000 - 3000 \times 4308029 / 10^6 = 14076 \text{ psi} > 12000 \text{ psi}$$

$$= 97.12 \text{ MPa}$$

**Tabel 4.16 Tahapan Waktu Perhitungan Kehilangan Prategang Tidak Langsung**

Tahap	Waktu Awal, $t_1$ ( hari )	Waktu akhir, $t_2$ ( hari )	Keterangan
I	Akhir curing	2	-
II	2	28	Transfer lantai 6
III	28	56	Transfer lantai 7
IV	56	84	Transfer atap
V	84	112	Beban hidup atap bekerja
VI	112	1 tahun	-
VII	1 tahun	20 tahun	akhir umur layan

**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,  $f_{pu} = 1862 \text{ MPa}$ .

$$F_i = 1500 \text{ kN} < F_{\text{ijin}} = 1543.0 \text{ kN}$$

$$f_{st} = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{1500000}{1184.6} = 1266.3 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{st}}{f_{py}} = \frac{1266.3}{0.85 \times 1862} = 0.80$$

$$\begin{aligned} RET_1 &= f_{st} \times \left[ \frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left( \frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right) \\ &= 1266.3 \times \left[ \frac{\log 48 - \log 1}{45} \right] \times (0.80 - 0.55) = 11.8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kehilangan prategangan akibat Rangkak dan Susut relatif kecil untuk waktu yang pendek, sehingga diabaikan.

$$CR_1 = SH_1 = 0$$

$$\begin{aligned} f_{st_1} &= f_{st} - (RET_1 + CR_1 + SH_1) \\ &= 1266.3 - (11.8 + 0 + 0) = 1254.4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

**Tahap II**

Mulai akhir tahap I sd. 28 hari.

$$t_1 = 2 \text{ hari} \quad t_2 = 28 \text{ hari}$$

$$f_{st_1} = 1254.4 \text{ MPa}$$

$$F_1 = 1486.0 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{f_{st_1}}{f_{py}} = \frac{1254.4}{0.85 \times 1862} = 0.792$$

$$\begin{aligned} \text{RET}_2 &= f_{st} \times \left[ \frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left( \frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right) \\ &= 1254.4 \times \left[ \frac{\log(24 \times 28) - \log(24 \times 2)}{45} \right] \times (0.792 - 0.55) = 7.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rangkak

$$\text{PCR} = \text{AUC}(28) - \text{AUC}(2) = 0.34 - 0.15 = 0.19$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{F_1}{A} + \frac{F_1 e^2}{I} - \frac{M_{\min} e}{I} \\ &= \frac{1486000}{473039.0} + \frac{1486000 \times 320^2}{2.13E+10} - \frac{269.9E+6 \times 320}{2.13E+10} = 6.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CR}_2 &= (\text{UCR})(\text{SCF})(\text{MCF}) \times (\text{PCR}) f_c \\ &= 11 \times 0.860 \times 0.74 \times 0.19 \times 6.2 = 8.3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$\text{PSH} = \text{AUS}(28) - \text{AUS}(2) = 0.408 - 0.120 = 0.288$$

$$\begin{aligned} \text{SH}_2 &= (\text{USH})(\text{SSF})(\text{PSH}) \\ &= 97.12 \times 0.850 \times 0.288 = 23.8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{st_2} &= f_{st_1} - (\text{RET}_2 + \text{CR}_2 + \text{SH}_2) \\ &= 1254.4 - (7.7 + 8.3 + 23.8) = 1214.6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### Tahap III

Mulai akhir tahap II sd. 56 hari.

$$t_1 = 28 \text{ hari} \quad t_2 = 56 \text{ hari}$$

$$f_{st_2} = 1214.6 \text{ MPa}$$

$$F_2 = 1438.8 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{f_{st_2}}{f_{py}} = \frac{1214.6}{0.85 \times 1862} = 0.767$$

$$\begin{aligned} \text{RET}_3 &= f_{st} \times \left[ \frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left( \frac{f_{st}}{f_{py}} - 0.55 \right) \\ &= 1214.6 \times \left[ \frac{\log(24 \times 56) - \log(24 \times 28)}{45} \right] \times (0.767 - 0.55) = 1.8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}fst_6 &= fst_5 - (RET_6 + CR_6 + SH_6) \\ &= 1185.8 - (2.7 + 3.4 + 18.6) = 1161.1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

### Tahap VII

Mulai akhir tahap VI sd. 20 tahun.

$$t_1 = 1 \text{ tahun} \quad t_2 = 20 \text{ tahun}$$

$$fst_6 = 1161.1 \text{ MPa}$$

$$F_6 = 1375.5 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{fst_6}{fpy} = \frac{1161.1}{0.85 \times 1862} = 0.734$$

$$\begin{aligned}RET_7 &= fst_6 \left[ \frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left( \frac{fst}{fpy} - 0.55 \right) \\ &= 1161.1 \times \left[ \frac{\log(24 \times 7300) - \log(24 \times 365)}{45} \right] \times (0.734 - 0.55) = 6.2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(7300) - AUC(365) = 1.00 - 0.74 = 0.26$$

$$\begin{aligned}fc &= \frac{F_6}{A} + \frac{F_6 e^2}{I} - \frac{M_{max} e}{I} \\ &= \frac{1375500}{473039.0} + \frac{1375500 \times 320^2}{2.13E+10} - \frac{453.2E+6 \times 320}{2.13E+10} = 4.0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}CR_7 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) fc \\ &= 11 \times 0.860 \times 0.60 \times 0.260 \times 4.0 = 4.0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Susut

$$PSH = AUS(7300) - AUS(365) = 1.00 - 0.86 = 0.14$$

$$\begin{aligned}SH_7 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97.12 \times 0.850 \times 0.14 = 11.6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}fst_7 &= fst_6 - (RET_7 + CR_7 + SH_7) \\ &= 1161.1 - (6.2 + 4.0 + 11.6) = 1139.4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$F_7 = 1349.8 \text{ kN}$$

Kehilangan tak langsung total seluruh tahap adalah :

$$\Delta F = 1500 - 1349.8 = 150.2 \text{ kN}$$

Maka kehilangan prategang total :

$$\begin{aligned} \Delta F \text{ total} &= \Delta F \text{ langsung} + \Delta F \text{ tidak langsung} \\ &= 99.0 + 150.2 = 249.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kehilangan Prategang

$$= \frac{\Delta F}{F_i} = \frac{249.2}{1500} \times 100\% = 16.6\% \dots \dots \dots \quad (\text{OK})$$

#### 4.10.5. Kontrol Tegangan yang Terjadi

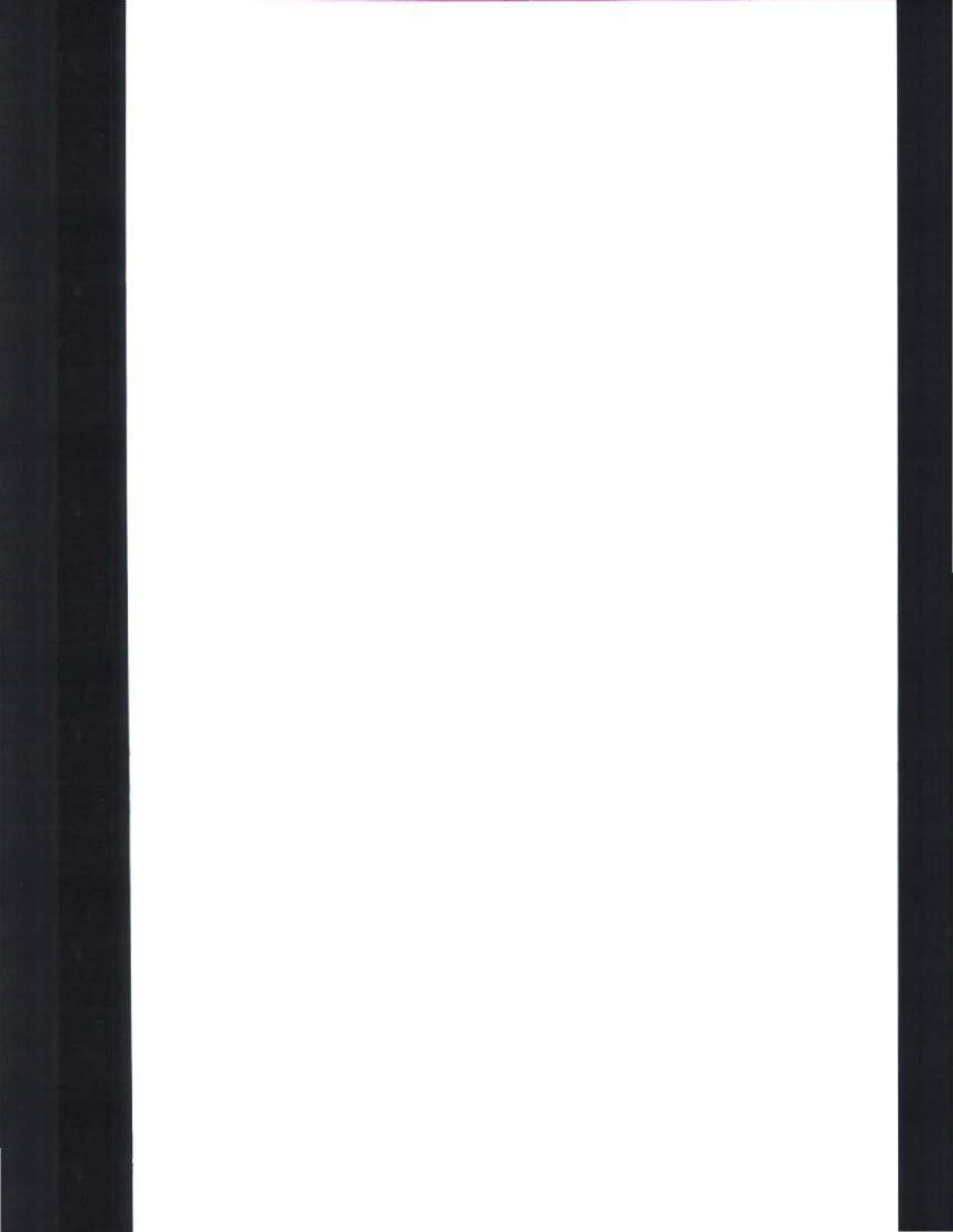
Pada saat transfer :

$$\begin{aligned} f_t &= \frac{F_i}{A} - \frac{F_i e}{Z_t} + \frac{M \text{ min}}{Z_t} = \frac{1500000}{473039.0} - \frac{1500000 \times 320}{9.18E+7} + \frac{269870000}{9.18E+7} \\ &= 3.2 - 5.2 + 2.9 \\ &= 0.9 \text{ MPa} > -1.5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

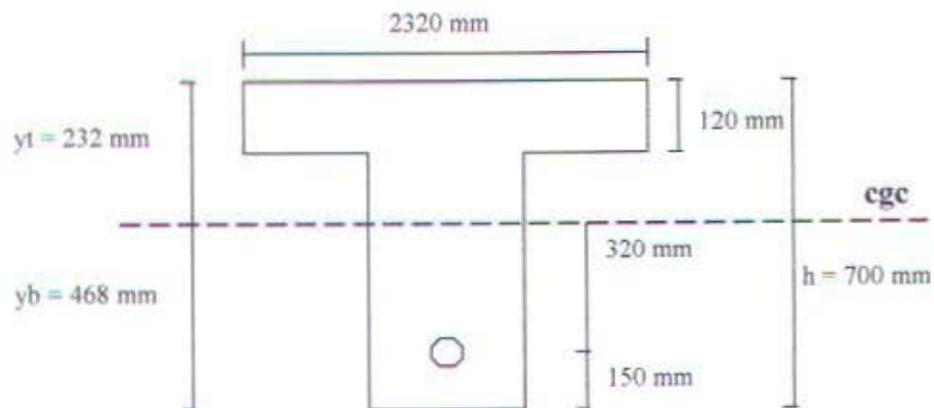
$$\begin{aligned} f_b &= \frac{F_i}{A} + \frac{F_i e}{Z_b} - \frac{M \text{ min}}{Z_b} = \frac{1500000}{473039.0} + \frac{1500000 \times 320}{4.55E+7} - \frac{269870000}{4.55E+7} \\ &= 3.2 + 10.5 - 5.9 \\ &= 7.8 \text{ MPa} < 21.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pada saat service :

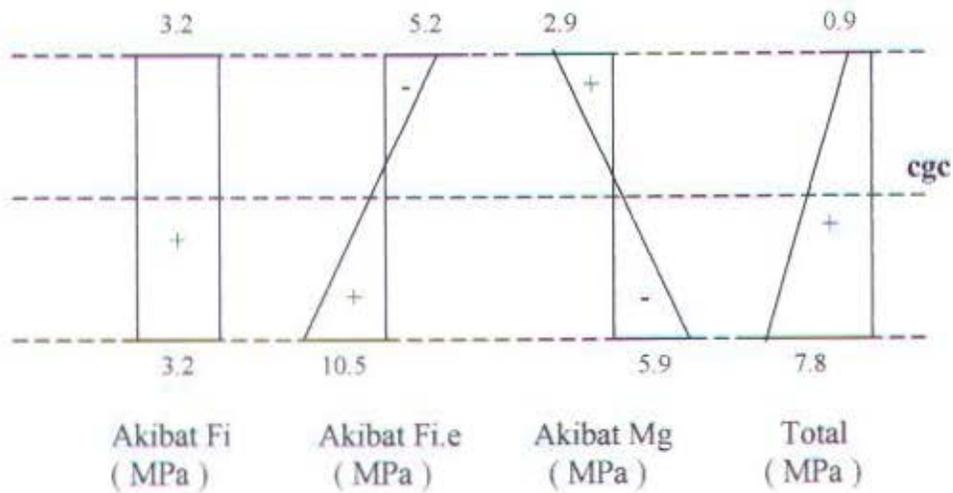
$$\begin{aligned} f_t &= \frac{F}{A} - \frac{F e}{Z_t} + \frac{M \text{ max}}{Z_t} \\ &= \frac{1349800}{473039.0} - \frac{1349800 \times 320}{9.18E+7} + \frac{453200000}{9.18E+7} \\ &= 2.9 - 4.7 + 4.9 \\ &= 3.1 \text{ MPa} < 18.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$



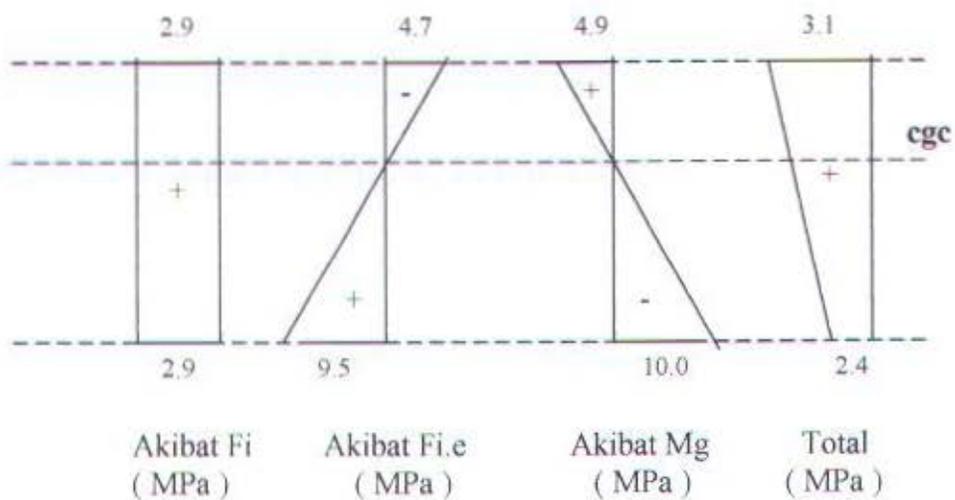
$$\begin{aligned}\text{fb} &= \frac{F}{A} + \frac{F_e}{Z_b} - \frac{M \text{ max}}{Z_b} \\ &= \frac{1349800}{473039.0} - \frac{1349800 \times 320}{4.55E+7} + \frac{453200000}{4.55E+7} \\ &= 2.9 + 9.5 - 10.0 \\ &= 2.4 \text{ MPa} > -3.2 \text{ MPa}\end{aligned}$$



Distribusi Tegangan saat Transfer (+ : TEKAN)



Distribusi Tegangan saat Beban Kerja (+ : TEKAN)



#### 4.10.6. 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 :

$$M_u \geq 1,2M_{cr}$$

Modulus runtuh yang diisyaratkan :

$$f_r = 0.7\sqrt{f_c'} = 0.7\sqrt{40} = 4.43 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.008 (f_c' - 30) = 0.85 - 0.008 (40 - 30) = 0.77$$

$$r^2 = \frac{I}{A} = \frac{2.13E+10}{473039.0} = 45.03E+3 \text{ mm}^2$$

Untuk daerah lapangan

Dipasang praktis tulangan lunak : 2 D25 ( $A_s = A_s' = 981.8 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned} M_{cr} &= F \left[ e + \frac{r^2}{Y_b} \right] + f_r \frac{I}{Y_b} \\ &= 1.35E+6 \left[ 320 + \frac{45.03E+3}{468} \right] + 4.43 \frac{2.13E+10}{468} = 7.64E+8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$1.2 M_{cr} = 1.2 \times 7.64E+8 = 9.17E+8 \text{ Nmm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b.d_s} = \frac{981.8}{2320 \times 660} = 0.0006$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b.d_{ps}} = \frac{1184.6}{2320 \times 550} = 0.0025$$

$$\omega = \rho \frac{f_y}{f_c'} = 0.0006 \times \frac{390}{40} = 0.0063$$

$$\omega_o = \left[ \rho_{ps} \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d_o}{p_s} (\omega' - \omega) \right] = \left[ 0.0025 \times \frac{1862}{40} + 0 \right] = 0.12 < 0.17$$

Karena nilai  $\omega_o < 0.17$

$$\text{Maka } f_{ps} = f_{pu} \left[ 1 - \frac{\rho_{ps}}{\beta_1} \times 0.17 \right] = 1862 \left[ 1 - \frac{0.28}{0.77} \times 0.17 \right] = 1747 \text{ MPa}$$

Dengan menganggap balok berperilaku sebagai penampang persegi, maka gaya-gaya dalam memberikan nilai-nilai :

$$T = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y = 1184,6 \times 1747 + 981,8 \times 390 = 2,45 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$T_{nf} = 0,85 \cdot f_c' \cdot (b_e - b) \cdot t = 0,85 \times 40 \times (2320 - 400) \times 120 = 7,83 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$T_{nw} = T - T_{nf} = 2,45 \text{ E}+6 - 7,83 \text{ E}+6 = -5,38 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$a = \frac{T_{nw}}{0,85 \cdot f_c' \cdot x_b} = \frac{5,38 \text{ E}+6}{0,85 \cdot 40 \cdot 400} = 68 \text{ mm} < h_f = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{sebagai balok persegi}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{68}{0,77} = 89 \text{ mm}$$

Tinggi efektif penampang adalah :

$$d = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_{ps} + A_s \cdot f_y \cdot d_o}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} = \frac{1184,6 \cdot 1747 \cdot 550 + 981,8 \cdot 390 \cdot 660}{1184,6 \cdot 1747 + 981,8 \cdot 390} = 567,2 \text{ mm}$$

Momen nominal penampang di tengah bentang :

$$M_n = T \left[ d - \frac{t}{2} \right] = 2,45 \text{ E}+6 \left[ 567,2 - \frac{120}{2} \right] = 1,24 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 1,24 \text{ E}+9 \text{ Nmm} = 9,95 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$1,2 M_{cr} = 1,2 \times 7,64 \text{ E}+8 = 9,17 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 4,89 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$1,2 M_{cr} \leq \phi M_n \rightarrow 9,17 \text{ E}+8 \text{ Nmm} < 9,95 \text{ E}+8 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

$$M_u \leq \phi M_n \rightarrow 4,89 \text{ E}+8 \text{ Nmm} < 9,95 \text{ E}+8 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

#### Untuk Daerah Tumpuan

Dicoba dipasang tulangan lunak : 4 D25 ( $A_s = A_s' = 1963,5 \text{ mm}^2$ )

$$M_{cr} = F \left[ e - \frac{r^2}{Y_t} \right] + f_r \frac{I}{Y_t}$$

$$= 1,35 \text{ E}+6 \left[ 80 - \frac{45,03 \text{ E}+3}{232} \right] + 4,43 \frac{2,13 \text{ E}+10}{232} = 2,52 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$1,2 M_{cr} = 1,2 \times 2,52 \text{ E}+8 = 3,03 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = 0.05\sqrt{f_c'} \cdot b \cdot w \cdot d + V_d + V_L \frac{M_{cr}}{M_{\max}} \geq 0.14\sqrt{f_c'} \cdot b \cdot w \cdot d$$

$$V_{ci} = 0.05\sqrt{40} \times 400 \times 523.8 + 2.40E + 4 + 8.62E + 3 \times \frac{5.83E + 8}{1.03E + 8}$$

$$V_{ci} = 1.39E + 5N$$

$$0.14\sqrt{f_c'} \cdot b \cdot w \cdot d = 0.14\sqrt{40} \times 400 \times 523.8 = 1.86E + 5N$$

$$V_{u_{(6000)}} = \frac{7000 - 6000}{7000} \times 7.41E + 4 = 1.06E + 4N$$

$$\frac{V_{u_{(6000)}}}{\phi} = \frac{1.06E + 4}{0.6} = 1.76E + 4N < V_{ci} = 1.39E + 5N \quad (\text{OK})$$

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  $\text{Ø}10 - 200 \text{ mm}$

#### 4.10.8. Kontrol Lendutan

$$F_i = 1500 \text{ kN} = 1.5 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$h = 320 + 80 = 400 \text{ mm}$$

$$EI \text{ balok} = 6.33 \text{ E}+14$$

$$q_D = 360.5 \text{ kg/m} = 3.605 \text{ N/mm} \quad P_D = 6563 \text{ kg} = 65630 \text{ N}$$

$$q_L = 218.8 \text{ kg/m} = 2.188 \text{ N/mm} \quad P_L = 3061 \text{ kg} = 30610 \text{ N}$$

Lendutan pada saat transfer gaya prategang :

(1) Akibat beban merata tendon :

$$P' = \frac{8 \cdot F \cdot h}{L^2} = \frac{8 \times 1.5E + 6 \times 400}{14000^2} = 24.5 \text{ N/mm}$$

$$\Delta_1 = \frac{5}{384} \frac{P' \cdot L^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{24.5 \times 14000^4}{6.33E + 14} = 19.4 \text{ mm}$$

(2) Akibat berat sendiri balok dan pelat :

$$\text{Berat sendiri balok + pelat} = 2.4 + 3.605 = 6.005 \text{ N/mm}$$

$$\Delta_2 = \frac{5}{384} \frac{(q_s + q_D)L^4}{EI} + \frac{1}{48} \frac{P_D L^3}{EI}$$

$$\Delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{6.005 \times 14000^4}{6.33E+14} + \frac{1}{48} \frac{65630 \times 14000^3}{6.33E+14} = 10.6 \text{ mm}$$

(3) Akibat eksentrisitas tendon

$$\Delta_3 = \frac{F \cdot e \cdot L^2}{8EI} = \frac{1.5E+6 \times 80 \times 14000^2}{8 \times 6.33E+14} = 4.6 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{total}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = -19.4 + 10.6 + 4.6 = -4.2 \text{ mm} \quad (\uparrow)$$

Lendutan setelah service (jangka panjang) :

Untuk menghitung lendutan jangka panjang PCI memberikan pedoman sebagai berikut :

**Tabel 4.17** 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 prategang 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

$$\Delta_1 = 19.4 \times 2.2 = 42.68 \text{ mm}$$

(2) Akibat beban kerja ( mati + hidup )

Lendutan tambahan akibat beban hidup :

$$\Delta_2' = \frac{5}{384} \frac{q_L L^4}{EI} + \frac{1}{48} \frac{P_L L^3}{EI}$$

$$\Delta_2' = \frac{5}{384} \times \frac{2.188 \times 14000^4}{6.33E+14} + \frac{1}{48} \frac{30610 \times 14000^3}{6.33E+14} = 4.5 \text{ mm}$$

$$\text{Lendutan akibat beban kerja} = 10.6 + 4.5 = 15.1 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = 15.1 \times 2.4 = 36.24 \text{ mm}$$

(3) Akibat eksentrisitas tendon

$$\Delta_3 = 4.6 \times 2.4 = 11.04 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{total}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = -42.68 + 36.24 - 11.04 = 4.6 \text{ mm} \quad (\downarrow)$$

Lendutan ijin

$$\Delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{480} = \frac{14000}{480} = 29.2 \text{ mm} > \Delta_{\text{total}} = 4.6 \text{ mm} \dots \dots \text{ (OK)}$$

Tabel 4.18  $M_{min}$  dan  $M_{max}$  Rencana Balok Pratekan

Lantai	Tipe	No. Elemen	M min (Nmm)		M max (Nmm)	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
5	BP1	153	4.35E+08	2.70E+08	1.07E+09	4.53E+08
	BP2	154	7.66E+08	4.83E+08	1.54E+09	7.82E+08
	BP3	155	7.69E+08	4.83E+08	1.55E+09	7.82E+08
	BP4	156	3.68E+08	2.38E+08	9.15E+08	4.57E+08
6	BP1	157	4.34E+08	2.67E+08	1.07E+09	4.58E+08
	BP2	158	7.71E+08	4.77E+08	1.55E+09	7.72E+08
	BP3	159	7.75E+08	4.77E+08	1.56E+09	7.72E+08
	BP4	160	3.73E+08	2.36E+08	9.15E+08	4.53E+08
7	BP1	161	4.36E+08	2.63E+08	9.57E+08	4.56E+08
	BP2	162	7.75E+08	4.71E+08	1.44E+09	7.67E+08
	BP3	163	7.78E+08	4.71E+08	1.45E+09	7.67E+08
	BP4	164	3.79E+08	2.31E+08	8.02E+08	4.59E+08
Atap	BP1	165	3.47E+08	2.41E+08	6.48E+08	2.85E+08
	BP2	166	6.32E+08	4.41E+08	1.01E+09	5.35E+08
	BP3	167	6.34E+08	4.41E+08	1.01E+09	5.35E+08
	BP4	168	3.51E+08	2.43E+08	6.54E+08	2.87E+08

**Tabel 4.19 Daerah Limit Kabel**

A = 473039.0 mm<sup>2</sup>  
 kt = 96 mm  
 kb = 194 mm

Lantai	Type	M min ( Nmm )	M max ( Nmm )	Fi ( N )	F ( N )	a <sub>max</sub> ( mm )	a <sub>min</sub> ( mm )	e <sub>i</sub> ( mm )	e <sub>j</sub> ( mm )	e <sub>o</sub> lapangan ( mm )	e <sub>o</sub> tumpuan ( mm )
5	BP1	2.70E+08	4.53E+08	1.50E+06	1.20E+06	378	180	92	121	320	80
	BP2	4.83E+08	7.82E+08	2.40E+06	1.92E+06	407	201	57	76	320	80
	BP3	4.83E+08	7.82E+08	2.40E+06	1.92E+06	407	201	57	76	320	80
	BP4	2.38E+08	4.57E+08	1.50E+06	1.20E+06	381	159	92	121	320	80
6	BP1	2.67E+08	4.58E+08	1.50E+06	1.20E+06	382	178	92	121	320	80
	BP2	4.77E+08	7.72E+08	2.40E+06	1.92E+06	402	199	57	76	320	80
	BP3	4.77E+08	7.72E+08	2.40E+06	1.92E+06	402	199	57	76	320	80
	BP4	2.36E+08	4.53E+08	1.50E+06	1.20E+06	378	157	92	121	320	80
7	BP1	2.63E+08	4.56E+08	1.50E+06	1.20E+06	380	175	92	121	320	80
	BP2	4.71E+08	7.67E+08	2.40E+06	1.92E+06	400	196	57	76	320	80
	BP3	4.71E+08	7.67E+08	2.40E+06	1.92E+06	400	196	57	76	320	80
	BP4	2.31E+08	4.59E+08	1.50E+06	1.20E+06	382	154	92	121	320	80
Atap	BP1	2.41E+08	2.85E+08	9.00E+05	7.20E+05	396	268	153	202	320	80
	BP2	4.41E+08	5.35E+08	1.70E+06	1.36E+06	394	260	81	107	320	80
	BP3	4.41E+08	5.35E+08	1.70E+06	1.36E+06	394	260	81	107	320	80
	BP4	2.43E+08	2.87E+08	9.00E+05	7.20E+05	399	269	153	202	320	80

**Tabel 4.20** Gaya Prategang Rencana dan Pemilihan Tendon

Lantai	Tipe Balok	Fi		Tipe Tendon	F ijin		Aps	
		( kN )	( ksi )		( ksi )	( kN )	( inch <sup>2</sup> )	( mm <sup>2</sup> )
5	BP1	1500	337.2	E5-12 12 strands	346.9	1543.0	1.836	1184.6
	BP2	2400	539.6	E5-19 19 strands	549.3	2443.3	2.907	1875.6
	BP3	2400	539.6	E5-19 19 strands	549.3	2443.3	2.907	1875.6
	BP4	1500	337.2	E5-12 12 strands	346.9	1543.0	1.836	1184.6
6	BP1	1500	337.2	E5-12 12 strands	1671.5	7434.8	1.836	1184.6
	BP2	2400	539.6	E5-19 19 strands	2314.7	10295.8	2.907	1875.6
	BP3	2400	539.6	E5-19 19 strands	2314.7	10295.8	2.907	1875.6
	BP4	1500	337.2	E5-12 12 strands	1671.5	7434.8	1.836	1184.6
7	BP1	1500	337.2	E5-12 12 strands	1671.5	7434.8	1.836	1184.6
	BP2	2400	539.6	E5-19 19 strands	2314.7	10295.8	2.907	1875.6
	BP3	2400	539.6	E5-19 19 strands	2314.7	10295.8	2.907	1875.6
	BP4	1500	337.2	E5-12 12 strands	1671.5	7434.8	1.836	1184.6
Atap	BP1	900	202.3	E5-12 8 strands	231.3	1028.8	1.224	789.7
	BP2	1700	382.2	E5-19 14 strands	404.7	1800.1	2.142	1382.0
	BP3	1700	382.2	E5-19 14 strands	404.7	1800.1	2.142	1382.0
	BP4	900	202.3	E5-12 8 strands	231.3	1028.8	1.224	789.7

( 1 in<sup>2</sup> = 645.2 mm<sup>2</sup> )      ( 1 ksi = 4.448 kN )

**Tabel 4.21 Kontrol Tegangan Saat Transfer**

Tegangan ijin saat transfer :

		$\sigma_{ti} = - 1.5 \text{ MPa}$
		$\sigma_{ci} = 21.1 \text{ MPa}$
A =	473039.0	mm <sup>2</sup>
eo =	320	mm
Zt =	9.18E+07	mm <sup>3</sup>
Zb =	4.55E+07	mm <sup>3</sup>

Lantai	Tipe Balok	t ( hari )	Fi ( kN )	Mmin ( kNm )	ft ( MPa )	fb ( MPa )
5	BP1	0	1500	269.9	0.9	7.8
	BP2		2400	483.5	2.0	11.3
	BP3		2400	483.4	2.0	11.3
	BP4		1500	238.4	0.5	8.5

**Tabel 4.22** Kehilangan Prategang Langsung

$\mu = 0.20$

$K = 0.0016 / m'$

$\alpha = 0.229$

$g = 1 \text{ mm}$

$f_{pu} = 270000 \text{ psi} = 1862 \text{ MPa}$

$E_{ps} = 27000000 \text{ psi} = 186200 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	Fi ( N )	Aps ( mm <sup>2</sup> )	fps ( N/mm <sup>2</sup> )	X ( mm )	Δ fps ( N/mm <sup>2</sup> )	Δ F Slip			Δ F Gesek + Wobble		
							( N )	( kN )	%	( N )	( kN )	%
5	BP1	1.50E+06	1184.6	1266.3	5499.1	67.8	80315.0	80.3	5.4	99000.0	99.0	6.6
	BP2	2.40E+06	1875.6	1279.6	5470.4	68.2	127915.7	127.9	5.3	158400.0	158.4	6.6
	BP3	2.40E+06	1875.6	1279.6	5470.4	68.2	127915.7	127.9	5.3	158400.0	158.4	6.6
	BP4	1.50E+06	1184.6	1266.3	5499.1	67.8	80315.0	80.3	5.4	99000.0	99.0	6.6
6	BP1	1.50E+06	1184.6	1266.3	5499.1	67.8	80315.0	80.3	5.4	99000.0	99.0	6.6
	BP2	2.40E+06	1875.6	1279.6	5470.4	68.2	127915.7	127.9	5.3	158400.0	158.4	6.6
	BP3	2.40E+06	1875.6	1279.6	5470.4	68.2	127915.7	127.9	5.3	158400.0	158.4	6.6
	BP4	1.50E+06	1184.6	1266.3	5499.1	67.8	80315.0	80.3	5.4	99000.0	99.0	6.6
7	BP1	1.50E+06	1184.6	1266.3	5499.1	67.8	80315.0	80.3	5.4	99000.0	99.0	6.6
	BP2	2.40E+06	1875.6	1279.6	5470.4	68.2	127915.7	127.9	5.3	158400.0	158.4	6.6
	BP3	2.40E+06	1875.6	1279.6	5470.4	68.2	127915.7	127.9	5.3	158400.0	158.4	6.6
	BP4	1.50E+06	1184.6	1266.3	5499.1	67.8	80315.0	80.3	5.4	99000.0	99.0	6.6
Atap	BP1	9.00E+05	789.7	1139.6	5796.4	64.4	50858.3	50.9	5.7	59400.0	59.4	6.6
	BP2	1.70E+06	1382.0	1230.1	5579.3	66.9	92457.0	92.5	5.4	112200.0	112.2	6.6
	BP3	1.70E+06	1382.0	1230.1	5579.3	66.9	92457.0	92.5	5.4	112200.0	112.2	6.6
	BP4	9.00E+05	789.7	1139.6	5796.4	64.4	50858.3	50.9	5.7	59400.0	59.4	6.6

**Tabel 4.23** Kehilangan Gaya Prategang ( Tahap I )

$$f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$$

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	Aps ( mm <sup>2</sup> )	$F_i$ ( kN )	$f_{st}$ ( MPa )	$f_{st}/f_{sy}$	$RET_1$ ( MPa )	Total Loss ( MPa )	$f_{st_1}$ ( MPa )	$F_1$ ( kN )	% Loss
5	BP1	1/24	2	1184.6	1500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1486.0	0.9
	BP2	1/24	2	1875.6	2400	1279.6	0.81	12.4	12.4	1267.2	2376.8	1.0
	BP3	1/24	2	1875.6	2400	1279.6	0.81	12.4	12.4	1267.2	2376.8	1.0
	BP4	1/24	2	1184.6	1500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1486.0	0.9
6	BP1	1/24	2	1184.6	1500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1486.0	0.9
	BP2	1/24	2	1875.6	2400	1279.6	0.81	12.4	12.4	1267.2	2376.8	1.0
	BP3	1/24	2	1875.6	2400	1279.6	0.81	12.4	12.4	1267.2	2376.8	1.0
	BP4	1/24	2	1184.6	1500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1486.0	0.9
7	BP1	1/24	2	1184.6	1500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1486.0	0.9
	BP2	1/24	2	1875.6	2400	1279.6	0.81	12.4	12.4	1267.2	2376.8	1.0
	BP3	1/24	2	1875.6	2400	1279.6	0.81	12.4	12.4	1267.2	2376.8	1.0
	BP4	1/24	2	1184.6	1500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1486.0	0.9
Atap	BP1	1/24	2	789.7	900	1139.6	0.72	7.2	7.2	1132.4	894.3	0.6
	BP2	1/24	2	1382.0	1700	1230.1	0.78	10.4	10.4	1219.6	1685.6	0.8
	BP3	1/24	2	1382.0	1700	1230.1	0.78	10.4	10.4	1219.6	1685.6	0.8
	BP4	1/24	2	789.7	900	1139.6	0.72	7.2	7.2	1132.4	894.3	0.6

**Tabel 4.24 Relaksasi Baja (Tahap 2)**

$f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ (hari)	$t_2$ (hari)	Aps ( $\text{mm}^2$ )	$f_{st_1}$ (MPa)	$F_1$ (kN)	$f_{st}/f_{py}$	RET <sub>2</sub> (MPa)
5	BP1	2	28	1184.6	1254.4	1486.0	0.792	7.7
	BP2	2	28	1875.6	1267.2	2376.8	0.801	8.1
	BP3	2	28	1875.6	1267.2	2376.8	0.801	8.1
	BP4	2	28	1184.6	1254.4	1486.0	0.792	7.7

Tegangan ijin saat transfer :

$$\sigma_{ti} = - 1.5 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin saat service :

$$\sigma_{ci} = 21.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ts} = - 3.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cs} = 18.0 \text{ MPa}$$

$$A = 473039.0 \text{ mm}^2$$

$$e_o = 320 \text{ mm}$$

$$Z_t = 9.18E+07 \text{ mm}^3$$

$$Z_b = 4.55E+07 \text{ mm}^3$$

Lantai	Type Balok	t ( hari )	F <sub>2</sub> ( kN )	M <sub>min</sub> ( kNm )	M <sub>perancah</sub> ( kNm )	M total ( kNm )	f <sub>t</sub> ( MPa )	f <sub>b</sub> ( MPa )	Ket.
5	BP1	28	1438.8	269.9	307.0	576.9	4.3	0.5	Kondisi Service
	BP2		2294.2	483.5	532.0	1015.5	7.9	-1.3	
	BP3		2294.2	483.4	532.0	1015.4	7.9	-1.3	
	BP4		1438.1	238.4	307.0	545.4	4.0	1.2	
6	BP1	0	1500	266.7	0.0	266.7	0.8	7.9	Kondisi Transfer
	BP2		2400	477.0	0.0	477.0	1.9	11.5	
	BP3		2400	477.0	0.0	477.0	1.9	11.5	
	BP4		1500	236.1	0.0	236.1	0.5	8.5	

Ket : Beban yang bekerja pada lantai 5 = DL + Beban perancah (*fresh concrete*)

**Tabel 4.29** Relaksasi Baja ( Tahap 3 )

$$f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$$

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	$A_{ps}$ ( $\text{mm}^2$ )	$f_{st_2}$ ( MPa )	$F_2$ ( kN )	$f_{st}/f_{py}$	$RET_3$ ( MPa )
5	BP1	28	56	1184.6	1214.6	1438.8	0.767	1.8
	BP2	28	56	1875.6	1223.2	2294.2	0.773	1.8
	BP3	28	56	1875.6	1223.2	2294.2	0.773	1.8
	BP4	28	56	1184.6	1214.0	1438.1	0.767	1.8
6	BP1	2	28	1184.6	1254.4	1486.0	0.792	7.7
	BP2	2	28	1875.6	1267.2	2376.8	0.801	8.1
	BP3	2	28	1875.6	1267.2	2376.8	0.801	8.1
	BP4	2	28	1184.6	1254.4	1486.0	0.792	7.7

**Tabel 4.30** Rangkak Beton ( Tahap 3 )

UCR = 11                      A = 473039.0 mm<sup>2</sup>  
 SCF = 0.860                  eo = 320 mm  
    I = 2.13E+10 mm<sup>4</sup>

Lantai	Tipe Balok	t <sub>1</sub> ( hari )	t <sub>2</sub> ( hari )	F <sub>2</sub> ( kN )	Mmin ( kNm)	MCF	AUC (t <sub>2</sub> )	AUC (t <sub>1</sub> )	PCR	fc ( MPa )	CR <sub>3</sub> ( MPa )
5	BP1	28	56	1438.8	269.9	0.60	0.437	0.34	0.097	5.9	3.3
	BP2	28	56	2294.2	483.5	0.60	0.437	0.34	0.097	8.6	4.7
	BP3	28	56	2294.2	483.4	0.60	0.437	0.34	0.097	8.6	4.7
	BP4	28	56	1438.1	238.4	0.60	0.437	0.34	0.097	6.4	3.5
6	BP1	2	28	1486.0	266.7	0.74	0.34	0.15	0.19	6.3	8.4
	BP2	2	28	2376.8	477.0	0.74	0.34	0.15	0.19	9.3	12.4
	BP3	2	28	2376.8	477.0	0.74	0.34	0.15	0.19	9.3	12.4
	BP4	2	28	1486.0	236.1	0.74	0.34	0.15	0.19	6.7	9.0

**Tabel 4.31** Susut Beton ( Tahap 3 )

USH = 97.12

SSF = 0.850

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	AUS ( $t_2$ )	AUS ( $t_1$ )	PSH	SH <sub>3</sub> ( MPa )
5	BP1	28	56	0.533	0.408	0.125	10.3
	BP2	28	56	0.533	0.408	0.125	10.3
	BP3	28	56	0.533	0.408	0.125	10.3
	BP4	28	56	0.533	0.408	0.125	10.3
6	BP1	2	28	0.408	0.120	0.288	23.8
	BP2	2	28	0.408	0.120	0.288	23.8
	BP3	2	28	0.408	0.120	0.288	23.8
	BP4	2	28	0.408	0.120	0.288	23.8

**Tabel 4.32** Kehilangan Prategang Total ( Tahap 3 )

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	Aps ( mm <sup>2</sup> )	$f_{st2}$ ( MPa )	$F_2$ ( kN )	$RET_3$ ( MPa )	$CR_3$ ( MPa )	$SH_3$ ( MPa )	Total Loss ( MPa )	$f_{st3}$ ( MPa )	$F_3$ ( kN )	% Loss
5	BP1	28	56	1184.6	1214.6	1438.8	1.8	3.3	10.3	15.3	1199.3	1420.7	1.3
	BP2	28	56	1875.6	1223.2	2294.2	1.8	4.7	10.3	16.9	1206.3	2262.5	1.4
	BP3	28	56	1875.6	1223.2	2294.2	1.8	4.7	10.3	16.9	1206.3	2262.5	1.4
	BP4	28	56	1184.6	1214.0	1438.1	1.8	3.5	10.3	15.6	1198.4	1419.6	1.3
6	BP1	2	28	1184.6	1254.4	1486.0	7.7	8.4	23.8	39.9	1214.6	1438.8	3.2
	BP2	2	28	1875.6	1267.2	2376.8	8.1	12.4	23.8	44.2	1223.0	2293.9	3.5
	BP3	2	28	1875.6	1267.2	2376.8	8.1	12.4	23.8	44.2	1223.0	2293.9	3.5
	BP4	2	28	1184.6	1254.4	1486.0	7.7	9.0	23.8	40.5	1214.0	1438.0	3.2

Tegangan ijin saat transfer :

$$\sigma_{ti} = - 1.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ci} = 21.1 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin saat service

$$\sigma_{ts} = - 3.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cs} = 18.0 \text{ MPa}$$

$$A = 473039.0 \text{ mm}^2$$

$$e_o = 320 \text{ mm}$$

$$Z_t = 9.18E+07 \text{ mm}^3$$

$$Z_b = 4.55E+07 \text{ mm}^3$$

Lantai	Type Balok	t ( hari )	F <sub>s</sub> ( kN )	Mmin ( kNm )	M <sub>perancah</sub> ( kNm )	M total ( kNm )	f <sub>t</sub> ( MPa )	f <sub>b</sub> ( MPa )	Ket.
5	BP1	56	1420.7	269.9	307.0	576.9	4.3	0.3	Kondisi Service
	BP2		2262.5	483.5	532.0	1015.5	8.0	-1.6	
	BP3		2262.5	483.4	532.0	1015.4	8.0	-1.6	
	BP4		1419.6	238.4	307.0	545.4	4.0	1.0	
6	BP1	28	1438.8	266.7	307.0	573.7	4.3	0.6	Kondisi Service
	BP2		2293.9	477.0	532.0	1009.0	7.8	-1.2	
	BP3		2293.9	477.0	532.0	1009.0	7.8	-1.2	
	BP4		1438.0	236.1	307.0	543.1	3.9	1.2	
7	BP1	0	1500	263.2	0.0	263.2	0.8	7.9	Kondisi Transfer
	BP2		2400	471.1	0.0	471.1	1.8	11.6	
	BP3		2400	471.1	0.0	471.1	1.8	11.6	
	BP4		1500	231.2	0.0	231.2	0.5	8.6	

Ket : Beban yang bekerja pada lantai 5,6 = DL + Beban perancah (*fresh concrete*)

**Tabel 4.34** Relaksasi Baja ( Tahap 4 )

$$f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$$

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	$A_{ps}$ ( $\text{mm}^2$ )	$f_{st3}$ ( MPa )	$F_3$ ( kN )	$f_{st}/f_{py}$	$RET_4$ ( MPa )
5	BP1	56	84	1184.6	1199.3	1420.7	0.758	1.0
	BP2	56	84	1875.6	1206.3	2262.5	0.762	1.0
	BP3	56	84	1875.6	1206.3	2262.5	0.762	1.0
	BP4	56	84	1184.6	1198.4	1419.6	0.757	1.0
6	BP1	28	56	1184.6	1214.6	1438.8	0.767	1.8
	BP2	28	56	1875.6	1223.0	2293.9	0.773	1.8
	BP3	28	56	1875.6	1223.0	2293.9	0.773	1.8
	BP4	28	56	1184.6	1214.0	1438.0	0.767	1.8
7	BP1	2	28	1184.6	1254.4	1486.0	0.792	7.7
	BP2	2	28	1875.6	1267.2	2376.8	0.801	8.1
	BP3	2	28	1875.6	1267.2	2376.8	0.801	8.1
	BP4	2	28	1184.6	1254.4	1486.0	0.792	7.7

**Tabel 4.35 Rangkak Beton ( Tahap 4 )**

UCR = 11                      A = 473039.0    mm<sup>2</sup>  
 SCF = 0.860                eo = 320            mm  
    I = 2.13E+10    mm<sup>4</sup>

Lantai	Tipe Balok	t <sub>1</sub> ( hari )	t <sub>2</sub> ( hari )	F <sub>3</sub> ( kN )	Mmin ( kNm)	MCF	AUC (t <sub>2</sub> )	AUC (t <sub>1</sub> )	PCR	fc ( MPa )	CR <sub>4</sub> ( MPa )
5	BP1	56	84	1420.7	269.9	0.6	0.498	0.437	0.061	5.8	2.0
	BP2	56	84	2262.5	483.5	0.6	0.498	0.437	0.061	8.4	2.9
	BP3	56	84	2262.5	483.4	0.6	0.498	0.437	0.061	8.4	2.9
	BP4	56	84	1419.6	238.4	0.6	0.498	0.437	0.061	6.2	2.2
6	BP1	28	56	1438.8	266.7	0.6	0.437	0.340	0.097	6.0	3.3
	BP2	28	56	2293.9	477.0	0.6	0.437	0.340	0.097	8.7	4.8
	BP3	28	56	2293.9	477.0	0.6	0.437	0.340	0.097	8.7	4.8
	BP4	28	56	1438.0	236.1	0.6	0.437	0.340	0.097	6.4	3.5
7	BP1	2	28	1486.0	263.2	0.74	0.340	0.150	0.190	6.3	8.4
	BP2	2	28	2376.8	471.1	0.74	0.340	0.150	0.190	9.4	12.5
	BP3	2	28	2376.8	471.1	0.74	0.340	0.150	0.190	9.4	12.5
	BP4	2	28	1486.0	231.2	0.74	0.340	0.150	0.190	6.8	9.1

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	$A_{ps}$ ( $mm^2$ )	$f_{st4}$ ( MPa )	$F_4$ ( kN )	$f_{st}/f_{py}$	$RET_5$ ( MPa )
5	BP1	84	112	1184.6	1190.0	1409.7	0.752	0.7
	BP2	84	112	1875.6	1196.1	2243.4	0.756	0.7
	BP3	84	112	1875.6	1196.1	2243.4	0.756	0.7
	BP4	84	112	1184.6	1189.0	1408.5	0.751	0.7
6	BP1	56	84	1184.6	1196.5	1417.3	0.756	1.0
	BP2	56	84	1875.6	1203.4	2257.0	0.760	1.0
	BP3	56	84	1875.6	1203.4	2257.0	0.760	1.0
	BP4	56	84	1184.6	1195.6	1416.3	0.755	1.0
7	BP1	28	56	1184.6	1217.5	1442.2	0.769	1.8
	BP2	28	56	1875.6	1225.9	2299.3	0.774	1.8
	BP3	28	56	1875.6	1225.9	2299.3	0.774	1.8
	BP4	28	56	1184.6	1216.8	1441.4	0.769	1.8
Atap	BP1	2	28	789.7	1132.4	894.3	0.715	4.8
	BP2	2	28	1382.0	1219.6	1685.6	0.770	6.8
	BP3	2	28	1382.0	1219.6	1685.6	0.770	6.8
	BP4	2	28	789.7	1132.4	894.3	0.715	4.8

$$SCF = 0.860$$

$$e_o = 320 \text{ mm}$$

$$I = 2.13E+10 \text{ mm}^4$$

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ (hari)	$t_2$ (hari)	$F_d$ (kN)	Mmin (kNm)	MCF	AUC ( $t_2$ )	AUC ( $t_1$ )	PCR	$f_c$ (MPa)	$CR_s$ (MPa)
5	BP1	84	112	1409.7	269.9	0.6	0.534	0.498	0.036	5.7	1.2
	BP2	84	112	2243.4	483.5	0.6	0.534	0.498	0.036	8.3	1.7
	BP3	84	112	2243.4	483.4	0.6	0.534	0.498	0.036	8.3	1.7
	BP4	84	112	1408.5	238.4	0.6	0.534	0.498	0.036	6.2	1.3
6	BP1	56	84	1417.3	266.7	0.6	0.498	0.437	0.061	5.8	2.0
	BP2	56	84	2257.0	477.0	0.6	0.498	0.437	0.061	8.5	2.9
	BP3	56	84	2257.0	477.0	0.6	0.498	0.437	0.061	8.5	2.9
	BP4	56	84	1416.3	236.1	0.6	0.498	0.437	0.061	6.3	2.2
7	BP1	28	56	1442.2	263.2	0.6	0.437	0.340	0.097	6.0	3.3
	BP2	28	56	2299.3	471.1	0.6	0.437	0.340	0.097	8.8	4.9
	BP3	28	56	2299.3	471.1	0.6	0.437	0.340	0.097	8.8	4.9
	BP4	28	56	1441.4	231.2	0.6	0.437	0.340	0.097	6.5	3.6
Atap	BP1	2	28	894.3	241.0	0.74	0.340	0.150	0.190	2.6	3.4
	BP2	2	28	1685.6	441.4	0.74	0.340	0.150	0.190	5.0	6.7
	BP3	2	28	1685.6	441.4	0.74	0.340	0.150	0.190	5.0	6.7
	BP4	2	28	894.3	242.5	0.74	0.340	0.150	0.190	2.5	3.4

**Tabel 4.41 Susut Beton ( Tahap 5 )**

USH = 97.12

SSF = 0.850

Lantai	Tipe Balok	t <sub>1</sub> ( hari )	t <sub>2</sub> ( hari )	AUS (t <sub>2</sub> )	AUS (t <sub>1</sub> )	PSH	SH <sub>5</sub> ( MPa )
5	BP1	84	112	0.635	0.606	0.029	2.4
	BP2	84	112	0.635	0.606	0.029	2.4
	BP3	84	112	0.635	0.606	0.029	2.4
	BP4	84	112	0.635	0.606	0.029	2.4
6	BP1	56	84	0.606	0.530	0.076	6.3
	BP2	56	84	0.606	0.530	0.076	6.3
	BP3	56	84	0.606	0.530	0.076	6.3
	BP4	56	84	0.606	0.530	0.076	6.3
7	BP1	28	56	0.530	0.372	0.158	13.0
	BP2	28	56	0.530	0.372	0.158	13.0
	BP3	28	56	0.530	0.372	0.158	13.0
	BP4	28	56	0.530	0.372	0.158	13.0
Atap	BP1	2	28	0.372	0.120	0.252	20.8
	BP2	2	28	0.372	0.120	0.252	20.8
	BP3	2	28	0.372	0.120	0.252	20.8
	BP4	2	28	0.372	0.120	0.252	20.8

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ (hari)	$t_2$ (hari)	Aps ( $\text{mm}^2$ )	$f_{st4}$ (MPa)	$F_4$ (kN)	RET <sub>5</sub> (MPa)	CR <sub>5</sub> (MPa)	SH <sub>5</sub> (MPa)	Total Loss (MPa)	$f_{st5}$ (MPa)	$F_5$ (kN)	% Loss
5	BP1	84	112	1184.6	1190.0	1409.7	0.7	1.2	2.4	4.2	1185.8	1404.7	0.4
	BP2	84	112	1875.6	1196.1	2243.4	0.7	1.7	2.4	4.8	1191.3	2234.5	0.4
	BP3	84	112	1875.6	1196.1	2243.4	0.7	1.7	2.4	4.8	1191.3	2234.4	0.4
	BP4	84	112	1184.6	1189.0	1408.5	0.7	1.3	2.4	4.3	1184.7	1403.4	0.4
6	BP1	56	84	1184.6	1196.5	1417.3	1.0	2.0	6.3	9.2	1187.2	1406.4	0.8
	BP2	56	84	1875.6	1203.4	2257.0	1.0	2.9	6.3	10.2	1193.2	2237.9	0.8
	BP3	56	84	1875.6	1203.4	2257.0	1.0	2.9	6.3	10.2	1193.2	2237.9	0.8
	BP4	56	84	1184.6	1195.6	1416.3	1.0	2.2	6.3	9.4	1186.2	1405.2	0.8
7	BP1	28	56	1184.6	1217.5	1442.2	1.8	3.3	13.0	18.1	1199.3	1420.7	1.5
	BP2	28	56	1875.6	1225.9	2299.3	1.8	4.9	13.0	19.7	1206.1	2262.2	1.6
	BP3	28	56	1875.6	1225.9	2299.3	1.8	4.9	13.0	19.7	1206.1	2262.2	1.6
	BP4	28	56	1184.6	1216.8	1441.4	1.8	3.6	13.0	18.4	1198.4	1419.6	1.5
Atap	BP1	2	28	789.7	1132.4	894.3	4.8	3.4	20.8	29.0	1103.4	871.4	2.6
	BP2	2	28	1382.0	1219.6	1685.6	6.8	6.7	20.8	34.3	1185.3	1638.1	2.8
	BP3	2	28	1382.0	1219.6	1685.6	6.8	6.7	20.8	34.3	1185.3	1638.1	2.8
	BP4	2	28	789.7	1132.4	894.3	4.8	3.4	20.8	29.0	1103.4	871.4	2.6

Tegangan ijin saat service

$\sigma_{ts} = 3.2 \text{ MPa}$

$\sigma_{cs} = 18.0 \text{ MPa}$

$A = 473039.0 \text{ mm}^2$

$e_o = 320 \text{ mm}$

$Z_t = 9.18E+07 \text{ mm}^3$

$Z_b = 4.55E+07 \text{ mm}^3$

Lantai	Tipe Balok	t ( hari )	$F_s$ ( kN )	Mmin ( kNm )	ft ( MPa )	fb ( MPa )
5	BP1	112	1404.7	269.9	1.0	6.9
	BP2		2234.5	483.5	2.2	9.8
	BP3		2234.4	483.4	2.2	9.8
	BP4		1403.4	238.4	0.7	7.6
6	BP1	84	1406.4	266.7	1.0	7.0
	BP2		2237.9	477.0	2.1	10.0
	BP3		2237.9	477.0	2.1	10.0
	BP4		1405.2	236.1	0.6	7.7
7	BP1	56	1420.7	263.2	0.9	7.2
	BP2		2262.2	471.1	2.0	10.3
	BP3		2262.2	471.1	2.0	10.3
	BP4		1419.6	231.2	0.6	7.9
Atap	BP1	28	871.4	241.0	1.4	2.7
	BP2		1638.1	441.4	2.6	5.3
	BP3		1638.1	441.4	2.6	5.3
	BP4		871.4	242.5	1.4	2.6

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ (hari)	$t_2$ (hari)	Aps ( $\text{mm}^2$ )	$f_{st5}$ (MPa)	$F_5$ (kN)	$f_{st}/f_{py}$	$RET_6$ (MPa)
5	BP1	112	365	1184.6	1185.8	1404.7	0.749	2.7
	BP2	112	365	1875.6	1191.3	2234.5	0.753	2.8
	BP3	112	365	1875.6	1191.3	2234.4	0.753	2.8
	BP4	112	365	1184.6	1184.7	1403.4	0.748	2.7
6	BP1	84	344	1184.6	1187.2	1406.4	0.750	3.2
	BP2	84	344	1875.6	1193.2	2237.9	0.754	3.3
	BP3	84	344	1875.6	1193.2	2237.9	0.754	3.3
	BP4	84	344	1184.6	1186.2	1405.2	0.749	3.2
7	BP1	56	323	1184.6	1199.3	1420.7	0.758	4.2
	BP2	56	323	1875.6	1206.1	2262.2	0.762	4.3
	BP3	56	323	1875.6	1206.1	2262.2	0.762	4.3
	BP4	56	323	1184.6	1198.4	1419.6	0.757	4.2
Atap	BP1	28	302	789.7	1103.4	871.4	0.697	3.7
	BP2	28	302	1382.0	1185.3	1638.1	0.749	5.4
	BP3	28	302	1382.0	1185.3	1638.1	0.749	5.4
	BP4	28	302	789.7	1103.4	871.4	0.697	3.7

$$SCF = 0.860$$

$$e_o = 320 \text{ mm}$$

$$I = 2.13E+10 \text{ mm}^4$$

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ (hari)	$t_2$ (hari)	$F_3$ (kN)	Mmax (kNm)	MCF	AUC ( $t_2$ )	AUC ( $t_1$ )	PCR	$f_c$ (MPa)	$CR_6$ (MPa)
5	BP1	112	365	1404.7	453.2	0.6	0.740	0.534	0.206	2.9	3.4
	BP2	112	365	2234.5	782.0	0.6	0.740	0.534	0.206	3.7	4.3
	BP3	112	365	2234.4	781.9	0.6	0.740	0.534	0.206	3.7	4.3
	BP4	112	365	1403.4	456.9	0.6	0.740	0.534	0.206	2.8	3.3
6	BP1	84	344	1406.4	458.2	0.6	0.725	0.498	0.227	2.9	3.7
	BP2	84	344	2237.9	772.0	0.6	0.725	0.498	0.227	3.9	5.0
	BP3	84	344	2237.9	772.0	0.6	0.725	0.498	0.227	3.9	5.0
	BP4	84	344	1405.2	453.3	0.6	0.725	0.498	0.227	2.9	3.8
7	BP1	56	323	1420.7	455.6	0.6	0.710	0.437	0.273	3.0	4.6
	BP2	56	323	2262.2	767.4	0.6	0.710	0.437	0.273	4.1	6.4
	BP3	56	323	2262.2	767.4	0.6	0.710	0.437	0.273	4.1	6.4
	BP4	56	323	1419.6	458.7	0.6	0.710	0.437	0.273	2.9	4.5
Atap	BP1	28	302	871.4	284.8	0.74	0.695	0.340	0.355	1.8	4.4
	BP2	28	302	1638.1	535.3	0.74	0.695	0.340	0.355	3.3	8.2
	BP3	28	302	1638.1	535.4	0.74	0.695	0.340	0.355	3.3	8.2
	BP4	28	302	871.4	287.1	0.74	0.695	0.340	0.355	1.7	4.3

$$SSF = 0.850$$

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	AUS ( $t_2$ )	AUS ( $t_1$ )	PSH	SH <sub>c</sub> ( MPa )
5	BP1	112	365	0.860	0.635	0.225	18.6
	BP2	112	365	0.860	0.635	0.225	18.6
	BP3	112	365	0.860	0.635	0.225	18.6
	BP4	112	365	0.860	0.635	0.225	18.6
6	BP1	84	344	0.840	0.606	0.234	19.3
	BP2	84	344	0.840	0.606	0.234	19.3
	BP3	84	344	0.840	0.606	0.234	19.3
	BP4	84	344	0.840	0.606	0.234	19.3
7	BP1	56	323	0.820	0.530	0.29	23.9
	BP2	56	323	0.820	0.530	0.29	23.9
	BP3	56	323	0.820	0.530	0.29	23.9
	BP4	56	323	0.820	0.530	0.29	23.9
Atap	BP1	28	302	0.800	0.372	0.428	35.3
	BP2	28	302	0.800	0.372	0.428	35.3
	BP3	28	302	0.800	0.372	0.428	35.3
	BP4	28	302	0.800	0.372	0.428	35.3

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ (hari)	$t_2$ (hari)	Aps ( $\text{mm}^2$ )	$f_{st5}$ (MPa)	$F_5$ (kN)	$RET_6$ (MPa)	$CR_6$ (MPa)	$SH_6$ (MPa)	Total Loss (MPa)	$f_{st6}$ (MPa)	$F_6$ (kN)	% Loss
5	BP1	112	365	1184.6	1185.8	1404.7	2.7	3.4	18.6	24.7	1161.1	1375.5	2.1
	BP2	112	365	1875.6	1191.3	2234.5	2.8	4.3	18.6	25.7	1165.7	2186.3	2.2
	BP3	112	365	1875.6	1191.3	2234.4	2.8	4.3	18.6	25.7	1165.7	2186.3	2.2
	BP4	112	365	1184.6	1184.7	1403.4	2.7	3.3	18.6	24.6	1160.1	1374.2	2.1
6	BP1	84	344	1184.6	1187.2	1406.4	3.2	3.7	19.3	26.2	1161.0	1375.3	2.2
	BP2	84	344	1875.6	1193.2	2237.9	3.3	5.0	19.3	27.6	1165.5	2186.1	2.3
	BP3	84	344	1875.6	1193.2	2237.9	3.3	5.0	19.3	27.6	1165.5	2186.1	2.3
	BP4	84	344	1184.6	1186.2	1405.2	3.2	3.8	19.3	26.3	1159.9	1374.0	2.2
7	BP1	56	323	1184.6	1199.3	1420.7	4.2	4.6	23.9	32.8	1166.5	1381.9	2.7
	BP2	56	323	1875.6	1206.1	2262.2	4.3	6.4	23.9	34.7	1171.5	2197.2	2.9
	BP3	56	323	1875.6	1206.1	2262.2	4.3	6.4	23.9	34.7	1171.5	2197.2	2.9
	BP4	56	323	1184.6	1198.4	1419.6	4.2	4.5	23.9	32.7	1165.7	1380.9	2.7
Atap	BP1	28	302	789.7	1103.4	871.4	3.7	4.4	35.3	43.4	1060.0	837.1	3.9
	BP2	28	302	1382.0	1185.3	1638.1	5.4	8.2	35.3	48.9	1136.4	1570.5	4.1
	BP3	28	302	1382.0	1185.3	1638.1	5.4	8.2	35.3	48.9	1136.4	1570.5	4.1
	BP4	28	302	789.7	1103.4	871.4	3.7	4.3	35.3	43.3	1060.1	837.2	3.9

**Tabel 4.48 Kontrol Tegangan ( Tahap 6 )**

Tegangan ijin saat service

$\sigma_{ts} = 3.2 \text{ MPa}$

$\sigma_{cs} = 18.0 \text{ MPa}$

A = 473039.0 mm<sup>2</sup>  
 eo = 320 mm  
 Zt = 9.18E+07 mm<sup>3</sup>  
 Zb = 4.55E+07 mm<sup>3</sup>

Lantai	Tipe Balok	t ( hari )	F <sub>6</sub> ( kN )	Mmax ( kNm )	ft ( MPa )	fb ( MPa )
5	BP1	365	1375.5	453.2	3.0	2.6
	BP2		2186.3	782.0	5.5	2.8
	BP3		2186.3	781.9	5.5	2.8
	BP4		1374.2	456.9	3.1	2.5
6	BP1	112	1375.3	458.2	3.1	2.5
	BP2		2186.1	772.0	5.4	3.0
	BP3		2186.1	772.0	5.4	3.0
	BP4		1374.0	453.3	3.1	2.6
7	BP1	84	1381.9	455.6	3.1	2.6
	BP2		2197.2	767.4	5.3	3.2
	BP3		2197.2	767.4	5.3	3.2
	BP4		1380.9	458.7	3.1	2.6
Atap	BP1	56	837.1	284.8	2.0	1.4
	BP2		1570.5	535.3	3.7	2.6
	BP3		1570.5	535.4	3.7	2.6
	BP4		837.2	287.1	2.0	1.3

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	Aps ( mm <sup>2</sup> )	$f_{st6}$ ( MPa )	$F_6$ ( kN )	$f_{st}/f_{py}$	RET <sub>7</sub> ( MPa )
5	BP1	365	7300	1184.6	1161.1	1375.5	0.734	6.2
	BP2	365	7300	1875.6	1165.7	2186.3	0.736	6.3
	BP3	365	7300	1875.6	1165.7	2186.3	0.736	6.3
	BP4	365	7300	1184.6	1160.1	1374.2	0.733	6.1
6	BP1	344	7279	1184.6	1161.0	1375.3	0.733	6.3
	BP2	344	7279	1875.6	1165.5	2186.1	0.736	6.4
	BP3	344	7279	1875.6	1165.5	2186.1	0.736	6.4
	BP4	344	7279	1184.6	1159.9	1374.0	0.733	6.2
7	BP1	323	7258	1184.6	1166.5	1381.9	0.737	6.5
	BP2	323	7258	1875.6	1171.5	2197.2	0.740	6.7
	BP3	323	7258	1875.6	1171.5	2197.2	0.740	6.7
	BP4	323	7258	1184.6	1165.7	1380.9	0.736	6.5
Atap	BP1	302	7237	789.7	1060.0	837.1	0.670	3.9
	BP2	302	7237	1382.0	1136.4	1570.5	0.718	5.8
	BP3	302	7237	1382.0	1136.4	1570.5	0.718	5.8
	BP4	302	7237	789.7	1060.1	837.2	0.670	3.9

$$SCF = 0.860$$

$$e_o = 320 \text{ mm}$$

$$I = 2.13E+10 \text{ mm}^4$$

Lantai	Type Balok	t <sub>1</sub> ( hari )	t <sub>2</sub> ( hari )	F <sub>6</sub> ( kN )	Mmax ( kNm )	MCF	AUC (t <sub>2</sub> )	AUC (t <sub>1</sub> )	PCR	f <sub>c</sub> ( MPa )	CR <sub>7</sub> ( MPa )
5	BP1	365	7300	1375.5	453.2	0.60	1.000	0.740	0.260	2.7	4.0
	BP2	365	7300	2186.3	782.0	0.60	1.000	0.740	0.260	3.4	5.0
	BP3	365	7300	2186.3	781.9	0.60	1.000	0.740	0.260	3.4	5.0
	BP4	365	7300	1374.2	456.9	0.60	1.000	0.740	0.260	2.6	3.9
6	BP1	344	7279	1375.3	458.2	0.60	1.000	0.740	0.260	2.6	3.9
	BP2	344	7279	2186.1	772.0	0.60	1.000	0.740	0.260	3.5	5.2
	BP3	344	7279	2186.1	772.0	0.60	1.000	0.740	0.260	3.5	5.2
	BP4	344	7279	1374.0	453.3	0.60	1.000	0.740	0.260	2.7	4.0
7	BP1	323	7258	1381.9	455.6	0.60	1.000	0.740	0.260	2.7	4.0
	BP2	323	7258	2197.2	767.4	0.60	1.000	0.740	0.260	3.7	5.4
	BP3	323	7258	2197.2	767.4	0.60	1.000	0.740	0.260	3.7	5.4
	BP4	323	7258	1380.9	458.7	0.60	1.000	0.740	0.260	2.7	3.9
Atap	BP1	302	7237	837.1	284.8	0.60	1.000	0.740	0.260	1.5	2.2
	BP2	302	7237	1570.5	535.3	0.60	1.000	0.740	0.260	2.8	4.2
	BP3	302	7237	1570.5	535.4	0.60	1.000	0.740	0.260	2.8	4.2
	BP4	302	7237	837.2	287.1	0.60	1.000	0.740	0.260	1.5	2.2

$$SSF = 0.850$$

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ ( hari )	$t_2$ ( hari )	AUS ( $t_2$ )	AUS ( $t_1$ )	PSH	SH <sub>7</sub> ( MPa )
5	BP1	365	7300	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP2	365	7300	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP3	365	7300	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP4	365	7300	1.000	0.860	0.14	11.6
6	BP1	344	7279	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP2	344	7279	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP3	344	7279	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP4	344	7279	1.000	0.860	0.14	11.6
7	BP1	323	7258	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP2	323	7258	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP3	323	7258	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP4	323	7258	1.000	0.860	0.14	11.6
Atap	BP1	302	7237	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP2	302	7237	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP3	302	7237	1.000	0.860	0.14	11.6
	BP4	302	7237	1.000	0.860	0.14	11.6

Lantai	Tipe Balok	$t_1$ (hari)	$t_2$ (hari)	Aps ( $\text{mm}^2$ )	$f_{st6}$ (MPa)	$F_6$ (kN)	$RET_7$ (MPa)	$CR_7$ (MPa)	$SH_7$ (MPa)	Total Loss (MPa)	$f_{st7}$ (MPa)	$F_7$ (kN)	% Loss
5	BP1	365	7300	1184.6	1161.1	1375.5	6.2	4.0	11.6	21.7	1139.4	1349.8	1.9
	BP2	365	7300	1875.6	1165.7	2186.3	6.3	5.0	11.6	22.8	1142.8	2143.5	2.0
	BP3	365	7300	1875.6	1165.7	2186.3	6.3	5.0	11.6	22.8	1142.8	2143.5	2.0
	BP4	365	7300	1184.6	1160.1	1374.2	6.1	3.9	11.6	21.6	1138.5	1348.7	1.9
6	BP1	344	7279	1184.6	1161.0	1375.3	6.3	3.9	11.6	21.7	1139.3	1349.6	1.9
	BP2	344	7279	1875.6	1165.5	2186.1	6.4	5.2	11.6	23.2	1142.4	2142.6	2.0
	BP3	344	7279	1875.6	1165.5	2186.1	6.4	5.2	11.6	23.2	1142.4	2142.6	2.0
	BP4	344	7279	1184.6	1159.9	1374.0	6.2	4.0	11.6	21.8	1138.1	1348.2	1.9
7	BP1	323	7258	1184.6	1166.5	1381.9	6.5	4.0	11.6	22.1	1144.4	1355.7	1.9
	BP2	323	7258	1875.6	1171.5	2197.2	6.7	5.4	11.6	23.7	1147.8	2152.8	2.0
	BP3	323	7258	1875.6	1171.5	2197.2	6.7	5.4	11.6	23.7	1147.8	2152.8	2.0
	BP4	323	7258	1184.6	1165.7	1380.9	6.5	3.9	11.6	22.0	1143.7	1354.8	1.9
Atap	BP1	302	7237	789.7	1060.0	837.1	3.9	2.2	11.6	17.7	1042.3	823.1	1.7
	BP2	302	7237	1382.0	1136.4	1570.5	5.8	4.2	11.6	21.6	1114.8	1540.7	1.9
	BP3	302	7237	1382.0	1136.4	1570.5	5.8	4.2	11.6	21.6	1114.8	1540.7	1.9
	BP4	302	7237	789.7	1060.1	837.2	3.9	2.2	11.6	17.6	1042.5	823.3	1.7

**Tabel 4.53** Prosentase Kehilangan Prategang

Lantai	Tipe Balok	Slip Angkur (%)	Gesek+Wobble (%)	Kehilangan Tidak Langsung (%)			Total Kehilangan
				RET	CR	SH	
5	BP1	5.4	6.6	2.6	1.8	6.0	17.0
	BP2	5.3	6.6	2.7	2.5	6.0	17.8
	BP3	5.3	6.6	2.7	2.5	6.0	17.8
	BP4	5.4	6.6	2.6	1.9	6.0	17.1
6	BP1	5.4	6.6	2.6	1.7	6.1	17.1
	BP2	5.3	6.6	2.7	2.5	6.1	17.8
	BP3	5.3	6.6	2.7	2.5	6.1	17.8
	BP4	5.4	6.6	2.6	1.8	6.1	17.2
7	BP1	5.4	6.6	2.6	1.7	5.7	16.6
	BP2	5.3	6.6	2.7	2.4	5.7	17.3
	BP3	5.3	6.6	2.7	2.4	5.7	17.3
	BP4	5.4	6.6	2.6	1.7	5.7	16.7
Atap	BP1	5.7	6.6	1.8	0.9	6.1	15.4
	BP2	5.4	6.6	2.4	1.6	5.7	16.3
	BP3	5.4	6.6	2.4	1.6	5.7	16.3
	BP4	5.7	6.6	1.8	0.9	6.1	15.4

Tegangan ijin saat service

$\sigma_{ts} = 3.2 \text{ MPa}$

$\sigma_{cs} = 18.0 \text{ MPa}$

$A = 473039.0 \text{ mm}^2$

$e_o = 320 \text{ mm}$

$Z_t = 9.18E+07 \text{ mm}^3$

$Z_b = 4.55E+07 \text{ mm}^3$

Lantai	Tipe Balok	t	$F_7$ ( kN )	Mmax ( kNm )	ft ( MPa )	fb ( MPa )
5	BP1	20 th	1349.8	453.2	3.1	2.4
	BP2		2143.5	782.0	5.6	2.4
	BP3		2143.5	781.9	5.6	2.4
	BP4		1348.7	456.9	3.1	2.3
6	BP1	20 th	1349.6	458.2	3.1	2.3
	BP2		2142.6	772.0	5.5	2.6
	BP3		2142.6	772.0	5.5	2.6
	BP4		1348.2	453.3	3.1	2.4
7	BP1	20 th	1355.7	455.6	3.1	2.4
	BP2		2152.8	767.4	5.4	2.8
	BP3		2152.8	767.4	5.4	2.8
	BP4		1354.8	458.7	3.1	2.3
Atap	BP1	20 th	823.1	284.8	2.0	1.3
	BP2		1540.7	535.3	3.7	2.3
	BP3		1540.7	535.4	3.7	2.3
	BP4		823.3	287.1	2.0	1.2

Tabel 4.55 Perhitungan Mier dan Min Laprusman: Balok Persegi

$a = 529$  mm  
 $A = 475009,0$  mm<sup>2</sup>  
 $I = 21306710$  mm<sup>4</sup>  
 $Y = 232$  mm<sup>3</sup>  
 $Yb = 368$  mm<sup>3</sup>  
 $f_{cu} = 30,2$  MPa  
 $f_y = 250$  mm  
 $h = 400$  mm  
 $d = 660$  mm  
 $d_{ps} = 550$  mm

Lantai	Tipe Balok	F (N)	Mier (N/mm)	1.2 Mier (N/mm)	A <sub>ps</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	ρ <sub>ps</sub>	ρ	ω	ω <sub>ps</sub>	f <sub>ps</sub> (MPa)	T (N)	Trf (N)	Trw (N)	a (mm)	c (mm)	t (mm)	d (mm)	Mis (N/mm)	φ Mis (N/mm)	1.2 Mier (N/mm)	Mu (N/mm)	Kontrol	
5	BP1	3.35E+06	7.64E+08	9.17E+08	1184,6	0.0025	981,8	0.0006	0.0063	0.12	0.17	1747	2.45E+06	7.83E+06	-5.38E+06	68	89	120	567,2	1.24E+09	9.95E+08	9.17E+08	4.89E+08	OK
	BP2	2.14E+06	1.09E+09	1.31E+09	1875,6	0.0040	981,8	0.0006	0.0063	0.18	0.18	1747	3.66E+06	7.83E+06	-4.17E+06	53	69	120	561,5	1.84E+09	1.47E+09	1.31E+09	8.98E+08	OK
	BP3	2.14E+06	1.09E+09	1.31E+09	1875,6	0.0040	981,8	0.0006	0.0063	0.18	0.18	1747	3.66E+06	7.83E+06	-4.17E+06	53	69	120	561,5	1.84E+09	1.47E+09	1.31E+09	8.98E+08	OK
	BP4	3.35E+06	7.64E+08	9.17E+08	1184,6	0.0025	981,8	0.0006	0.0063	0.12	0.12	1747	2.45E+06	7.83E+06	-5.38E+06	68	89	120	567,2	1.24E+09	9.95E+08	9.17E+08	4.28E+08	OK
6	BP1	3.35E+06	7.64E+08	9.17E+08	1184,6	0.0025	981,8	0.0006	0.0063	0.12	0.12	1747	2.45E+06	7.83E+06	-5.38E+06	68	89	120	567,2	1.24E+09	9.95E+08	9.17E+08	4.82E+08	OK
	BP2	2.14E+06	1.09E+09	1.31E+09	1875,6	0.0040	981,8	0.0006	0.0063	0.18	0.18	1747	3.66E+06	7.83E+06	-4.17E+06	53	69	120	561,5	1.84E+09	1.47E+09	1.31E+09	8.84E+08	OK
	BP3	2.14E+06	1.09E+09	1.31E+09	1875,6	0.0040	981,8	0.0006	0.0063	0.18	0.18	1747	3.66E+06	7.83E+06	-4.17E+06	53	69	120	561,5	1.84E+09	1.47E+09	1.31E+09	8.84E+08	OK
	BP4	3.35E+06	7.64E+08	9.17E+08	1184,6	0.0025	981,8	0.0006	0.0063	0.12	0.12	1747	2.45E+06	7.83E+06	-5.38E+06	68	89	120	567,2	1.24E+09	9.95E+08	9.17E+08	4.23E+08	OK
7	BP1	3.36E+06	7.67E+08	9.20E+08	1184,6	0.0025	981,8	0.0006	0.0063	0.12	0.12	1747	2.45E+06	7.83E+06	-5.38E+06	68	89	120	567,2	1.24E+09	9.95E+08	9.20E+08	4.80E+08	OK
	BP2	2.15E+06	1.10E+09	1.32E+09	1875,6	0.0040	981,8	0.0006	0.0063	0.18	0.18	1747	3.66E+06	7.83E+06	-4.17E+06	53	69	120	561,5	1.84E+09	1.47E+09	1.32E+09	8.79E+08	OK
	BP3	2.15E+06	1.10E+09	1.32E+09	1875,6	0.0040	981,8	0.0006	0.0063	0.18	0.18	1747	3.66E+06	7.83E+06	-4.17E+06	53	69	120	561,5	1.84E+09	1.47E+09	1.32E+09	8.79E+08	OK
	BP4	3.36E+06	7.66E+08	9.20E+08	1184,6	0.0025	981,8	0.0006	0.0063	0.12	0.12	1747	2.45E+06	7.83E+06	-5.38E+06	68	89	120	567,2	1.24E+09	9.95E+08	9.20E+08	4.17E+08	OK
Amp	BP1	8.25E+05	5.45E+08	6.54E+08	789,7	0.0017	981,8	0.0006	0.0063	0.08	0.08	1747	1.76E+06	6.53E+06	-4.77E+06	60	78	100	573,9	9.23E+08	7.39E+08	6.54E+08	3.59E+08	OK
	BP2	1.54E+06	8.44E+08	1.01E+09	1382,0	0.0029	981,8	0.0006	0.0063	0.14	0.14	1747	2.80E+06	6.53E+06	-3.73E+06	47	61	100	565,1	1.44E+09	1.15E+09	1.01E+09	6.80E+08	OK
	BP3	1.54E+06	8.44E+08	1.01E+09	1382,0	0.0029	981,8	0.0006	0.0063	0.14	0.14	1747	2.80E+06	6.53E+06	-3.73E+06	47	61	100	565,1	1.44E+09	1.15E+09	1.01E+09	6.80E+08	OK
	BP4	8.25E+05	5.45E+08	6.54E+08	789,7	0.0017	981,8	0.0006	0.0063	0.08	0.08	1747	1.76E+06	6.53E+06	-4.77E+06	60	78	100	573,9	9.23E+08	7.39E+08	6.54E+08	3.62E+08	OK

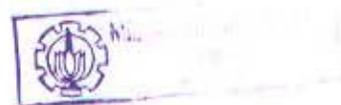




Table 4.57 - Perhitungan Tulangan Geser daerah Tumpuan

$l = 400$  mm       $x = 350$  mm  
 $A = 473039.0$  mm<sup>2</sup>       $dps = 171$  mm  
 $b = 400$  mm  
 $h = 700$  mm

Lantai	Tipe Balok	F (N)	Vud (N)	VuL (N)	Mud (Nmm)	MuL (Nmm)	P' (N/mm)	Vp' (N)	Vug (N)	Vu (N)	fpc (MPa)	Vp (N)	Vcw (N)	Vu (350) (N)	Vu(350)/φ (N)
5	BP1	1.35E+06	1.68E+05	6.03E+04	2.70E+08	1.03E+08	22.0	1.54E+05	2.29E+05	7.44E+04	2.85	1.47E+05	3.35E+05	7.07E+04	1.18E+05
	BP2	2.14E+06	2.91E+05	1.16E+05	4.83E+08	1.99E+08	35.0	2.45E+05	4.07E+05	1.62E+05	4.53	2.33E+05	4.55E+05	1.54E+05	2.57E+05
	BP3	2.14E+06	2.91E+05	1.17E+05	4.83E+08	1.98E+08	35.0	2.45E+05	4.08E+05	1.63E+05	4.53	2.33E+05	4.55E+05	1.55E+05	2.58E+05
	BP4	1.35E+06	1.16E+05	3.61E+04	2.38E+08	8.85E+07	22.0	1.54E+05	1.52E+05	1.78E+03	2.85	1.46E+05	3.35E+05	1.69E+03	2.82E+03
6	BP1	1.35E+06	1.68E+05	6.01E+04	2.67E+08	1.02E+08	22.0	1.54E+05	2.28E+05	7.36E+04	2.85	1.47E+05	3.35E+05	6.99E+04	1.17E+05
	BP2	2.14E+06	2.91E+05	1.16E+05	4.77E+08	1.95E+08	35.0	2.45E+05	4.07E+05	1.62E+05	4.53	2.33E+05	4.55E+05	1.54E+05	2.57E+05
	BP3	2.14E+06	2.91E+05	1.17E+05	4.77E+08	1.95E+08	35.0	2.45E+05	4.08E+05	1.63E+05	4.53	2.33E+05	4.55E+05	1.55E+05	2.58E+05
	BP4	1.35E+06	1.16E+05	3.60E+04	2.36E+08	8.72E+07	22.0	1.54E+05	1.52E+05	2.17E+03	2.85	1.46E+05	3.35E+05	2.06E+03	3.43E+03
7	BP1	1.36E+06	1.68E+05	6.01E+04	2.63E+08	1.02E+08	22.1	1.55E+05	2.28E+05	7.27E+04	2.87	1.47E+05	3.36E+05	6.90E+04	1.15E+05
	BP2	2.15E+06	2.90E+05	1.16E+05	4.71E+08	1.96E+08	35.1	2.46E+05	4.07E+05	1.61E+05	4.55	2.34E+05	4.57E+05	1.53E+05	2.54E+05
	BP3	2.15E+06	2.91E+05	1.16E+05	4.71E+08	1.96E+08	35.1	2.46E+05	4.07E+05	1.61E+05	4.55	2.34E+05	4.57E+05	1.53E+05	2.55E+05
	BP4	1.35E+06	1.16E+05	3.59E+04	2.31E+08	8.74E+07	22.1	1.55E+05	1.52E+05	3.28E+03	2.86	1.47E+05	3.36E+05	3.11E+03	5.19E+03
Atap	BP1	8.23E+05	1.43E+05	2.52E+04	2.41E+08	4.39E+07	13.4	9.41E+04	1.68E+05	7.40E+04	1.74	8.94E+04	2.55E+05	7.03E+04	1.17E+05
	BP2	1.54E+06	2.52E+05	5.38E+04	4.41E+08	9.40E+07	25.2	1.76E+05	3.06E+05	1.30E+05	3.26	1.67E+05	3.64E+05	1.23E+05	2.05E+05
	BP3	1.54E+06	2.52E+05	5.39E+04	4.41E+08	9.40E+07	25.2	1.76E+05	3.06E+05	1.30E+05	3.26	1.67E+05	3.64E+05	1.23E+05	2.06E+05
	BP4	8.23E+05	1.44E+05	2.56E+04	2.43E+08	4.46E+07	13.4	9.41E+04	1.69E+05	7.52E+04	1.74	8.94E+04	2.55E+05	7.15E+04	1.19E+05

tabel 4.58 Perhitungan Tulangan Geser daerah Lapangan

f = 400	mm	l = 2.130E+10	mm <sup>4</sup>
e = 320	mm	yt = 232	mm
A = 473039.0	mm <sup>2</sup>	Zt = 9.18E+07	mm <sup>3</sup>
b = 400	mm	kt = 96	mm
h = 700	mm	x = 6000	mm

Lantai	Tipe Balok	F (N)	Vud (N)	Vuf (N)	Mud (Nmm)	Muf (Nmm)	Vd	VL	e (mm)	d (mm)	fd (MPa)	fpe (MPa)	Mcr (Nmm)	Vci (N)	Syarat	Vu(6000) (N)	Vu(6000)φ (N)
5	BP1	1.35E+06	168307.5	60349.3	2.70E+08	1.03E+08	2.40E+04	8.62E+03	291.8	523.8	2.94	6.12	5.82E+08	1.39E+05	1.86E+05	1.06E+04	1.77E+04
	BP2	2.14E+06	290913.5	116348.7	4.83E+08	1.99E+08	4.16E+04	1.66E+04	291.8	523.8	5.27	9.71	6.99E+08	1.66E+05	1.86E+05	2.32E+04	3.86E+04
	BP3	2.14E+06	291398.1	116571.9	4.83E+08	1.98E+08	4.16E+04	1.67E+04	291.8	523.8	5.27	9.71	6.99E+08	1.66E+05	1.86E+05	2.33E+04	3.88E+04
	BP4	1.35E+06	116265.2	36088.4	2.38E+08	8.85E+07	1.66E+04	5.16E+03	291.8	523.8	2.60	6.11	6.13E+08	1.19E+05	1.86E+05	2.54E+02	4.23E+02
6	BP1	1.35E+06	167726.4	60141.5	2.67E+08	1.02E+08	2.40E+04	8.59E+03	291.8	523.8	2.90	6.12	5.85E+08	1.40E+05	1.86E+05	1.05E+04	1.75E+04
	BP2	2.14E+06	290734.6	116318.9	4.77E+08	1.95E+08	4.15E+04	1.66E+04	291.8	523.8	5.20	9.71	7.05E+08	1.68E+05	1.86E+05	2.32E+04	3.86E+04
	BP3	2.14E+06	291331.9	116598.6	4.77E+08	1.95E+08	4.16E+04	1.67E+04	291.8	523.8	5.20	9.71	7.05E+08	1.68E+05	1.86E+05	2.33E+04	3.88E+04
	BP4	1.35E+06	115921.8	35993.6	2.36E+08	8.72E+07	1.66E+04	5.14E+03	291.8	523.8	2.57	6.11	6.15E+08	1.19E+05	1.86E+05	3.10E+02	5.16E+02
7	BP1	1.36E+06	167540.4	60073.8	2.63E+08	1.02E+08	2.39E+04	8.58E+03	291.8	523.8	2.87	6.14	5.91E+08	1.40E+05	1.86E+05	1.04E+04	1.73E+04
	BP2	2.15E+06	290414.4	116192.2	4.71E+08	1.96E+08	4.15E+04	1.66E+04	291.8	523.8	5.13	9.76	7.15E+08	1.68E+05	1.86E+05	2.29E+04	3.82E+04
	BP3	2.15E+06	290903.7	116421.6	4.71E+08	1.96E+08	4.16E+04	1.66E+04	291.8	523.8	5.13	9.76	7.15E+08	1.68E+05	1.86E+05	2.30E+04	3.84E+04
	BP4	1.35E+06	115665.6	35895.2	2.31E+08	8.74E+07	1.65E+04	5.13E+03	291.8	523.8	2.52	6.14	6.23E+08	1.19E+05	1.86E+05	4.68E+02	7.80E+02
Atap	BP1	8.23E+05	142869.7	25218.3	2.41E+08	4.39E+07	2.04E+04	3.60E+03	291.8	523.8	2.62	3.73	3.92E+08	1.19E+05	1.86E+05	1.06E+04	1.76E+04
	BP2	1.54E+06	251866.8	53789.4	4.41E+08	9.40E+07	3.60E+04	7.68E+03	291.8	523.8	4.81	6.98	4.90E+08	1.42E+05	1.86E+05	1.85E+04	3.09E+04
	BP3	1.54E+06	252146.0	53920.8	4.41E+08	9.40E+07	3.60E+04	7.70E+03	291.8	523.8	4.81	6.98	4.90E+08	1.42E+05	1.86E+05	1.86E+04	3.10E+04
	BP4	8.23E+05	143702.8	25620.5	2.43E+08	4.46E+07	2.05E+04	3.66E+03	291.8	523.8	2.64	3.73	3.90E+08	1.19E+05	1.86E+05	1.07E+04	1.79E+04

## 11 Perencanaan Balok Induk

### Contoh Perhitungan

Balok induk B1 pada lantai 2, dengan data sbb :

Dimensi balok :	b	= 400 mm
	bc	= 2320 mm
	h	= 700 mm
selimut beton		= 40 mm
sengakang		= $\phi$ 10
mutu beton, $f_c'$		= 30 Mpa
mutu baja, $f_y$		= 320 MPa
$d = 700 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25$		= 637.5 mm
$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25$		= 62.5 mm

### 11.1. Perhitungan Tulangan di Daerah Tumpuan

#### Tulangan Tumpuan Negatif

$$M_u^- = 4.06 E+8 \text{ Nmm}$$

$$\text{Dipakai } \delta = 0.5 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.3.2})$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

(SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a)

$$\rho_{\max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0.0179$$

$$R_n = \frac{(1-\delta)M_u}{\phi b d^2} = \frac{(1-0.5) \times 4.06 E+8}{0.8 \times 400 \times 637.5^2} = 1.561$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.294$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.294} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.294 \times 1.561}{390}} \right) = 0.0041$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho' = \frac{\delta M_u}{\phi \times f_y \times (d - d') \times b \times d} = \frac{0.5 \times 4.06 E+8}{0.8 \times 390 \times (637.5 - 62.5) \times 400 \times 637.5} = 0.0044$$

Menghitung tulangan tarik dan tekan pada tumpuan

Tulangan tumpuan atas :

$$\text{Rasio tulangan tarik} = \rho\delta + \rho' = 0.0041 + 0.0044$$

$$\rho = 0.0086 > \rho_{\min} = 0.0036$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.0086 \times 400 \times 637.5 = 2185.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } 5 \text{ D-25} \quad (A_s = 2454.8 \text{ mm}^2)$$

Tulangan tumpuan bawah :

$$A_s' = \rho' \cdot b \cdot d = 0.0044 \times 400 \times 637.5 = 1131.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } 3 \text{ D-25} \quad (A_s = 1472.6 \text{ mm}^2)$$

#### Tulangan Tumpuan Positif

$$M_u^+ = 1.19 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$\text{Dipakai } \delta = 0.5 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.3.2})$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

(SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a)

$$\rho_{\max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0.0179$$

$$R_n = \frac{(1-\delta)M_u}{\phi b d^2} = \frac{(1-0.5) \times 1.19 \text{ E}+8}{0.8 \times 400 \times 637.5^2} = 0.458$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.294$$

$$\rho\delta = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.294} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.294 \times 0.458}{390}} \right) = 0.0012$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho' = \frac{\delta M_u}{\phi \times f_y \times (d - d') \times b \times d} = \frac{0.5 \times 1.19 \text{ E}+8}{0.8 \times 390 \times (637.5 - 62.5) \times 400 \times 637.5} = 0.0013$$

Rasio tulangan tarik :

$$\rho = \rho\delta + \rho' = 0.0012 + 0.0013 = 0.0025 < \rho_{\min} = 0.0036$$

$$\text{dipakai } \rho_{\min} = 0.0036$$

Menghitung tulangan tekan dan tarik pada tumpuan

Tulangan tumpuan bawah :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.0036 \times 400 \times 637.5 = 918.0 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2 D-25 (  $A_s = 981.8 \text{ mm}^2$  )

Tulangan tumpuan atas :

$$A_s' = 0.5 \rho \cdot b \cdot d = 0.5 \times 0.0036 \times 400 \times 637.5 = 459.0 \text{ mm}^2$$

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 : **5 D-25** (  $A_s = 2454.8 \text{ mm}^2$  )

Tulangan bawah : **3 D-25** (  $A_s = 1472.6 \text{ mm}^2$  )

### 11.2. Perhitungan Tulangan di Daerah Lapangan

$$M_u = 1.93 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

( SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a )

$$\rho_{\max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0.0179$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1.93 \text{ E}+8}{0.8 \times 400 \times 637.5^2} = 1.486$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.294$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.294} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.294 \times 1.486}{390}} \right) = 0.0039$$

$$a = \frac{\rho \times d \times f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{0.0039 \times 937.5 \times 390}{0.85 \times 40 \times 400} = 38.3 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm}$$

Berarti penulangan seperti balok persegi dengan mengganti b menjadi be.

$$R_n = 0.256$$

$$\rho = 0.0007 < \rho_{\min} = 0.0036$$

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 (  $A_s = 981.8 \text{ mm}^2$  )

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 x  $\phi$  tul. longitudinal = 10 x 25 = 250 mm
- 24 x  $\phi$  sengkang = 24 x 10 = 240 mm
- 300 mm

Dipasang tulangan geser  $\phi 10-150$

Perhitungan geser di luar jarak  $d$ .

$$V_u = 1.51 E + 5 N$$

$$\phi V_c = \phi \left( \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b w d \right) = x 0.6 \left( \frac{1}{6} \sqrt{30} x 400 x 637.5 \right) = 1.40 E + 5 N$$

$$\min \phi V_s = \phi \left( \frac{1}{3} b w d \right) = x 0.6 \left( \frac{1}{3} x 400 x 637.5 \right) = 5.10 E + 4 N$$

$$\phi V_c < V_u \leq (\phi V_c + \min \phi V_s) \quad \rightarrow \quad \text{kategori desain 3}$$

$$1.40 E + 5 N < 1.51 E + 5 N < 1.91 E + 5 N$$

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  $\phi 10-300$

### 11.5. Perhitungan Panjang Penyaluran

Perhitungan panjang penyaluran tulangan D-25 berdasarkan SKSNI 1991 pasal 5.2 meliputi beberapa hal sebagai berikut :

) Panjang penyaluran tulangan tarik

Panjang penyaluran dasar adalah :

$$l_{db} = \frac{0.02 \cdot A_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c'}} = \frac{0.02 x 490.9 x 390}{\sqrt{30}} = 699 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$l_{db} = 0.06 \cdot db \cdot f_y = 0.06 \cdot 25 \cdot 390 = 585 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran,  $l_d = 1.4 \cdot l_{db} = 1.4 \cdot 699 = 978.6 \text{ mm}$   
 $l_d \geq 300 \text{ mm}$

2) Panjang penyaluran tulangan tekan

Panjang penyaluran dasar adalah :

$$l_{db} = \frac{db \cdot f_y}{4 \sqrt{f_c'}} = \frac{25 \cdot 390}{4 \cdot \sqrt{30}} = 445 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$l_{db} = 0.04 \cdot db \cdot f_y = 0.04 \cdot 25 \cdot 390 = 390 \text{ mm}$$

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

3) Panjang penyaluran kait standar (hook) dalam tarik

Panjang penyaluran dasar hook adalah :

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot db}{\sqrt{f_c'}} = \frac{100 \cdot 25}{\sqrt{30}} = 456 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran hook :

$$l_{dh} = l_{hb} \left( 0.7 \sqrt{\frac{f_y}{400}} \right) = 456 \cdot 0.7 \cdot \left( \frac{390}{400} \right) = 312 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 8 \cdot db = 8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

4) 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

- $d = 637.5 \text{ mm}$

- $12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$

5) Panjang penyaluran dari tulangan tarik pada momen negatif

1/3 tulangan tarik pada tulangan negatif diteruskan pada jarak terbesar antara :

- $d = 637.5 \text{ mm}$

- $12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$

- $l_n / 16 = 6600 / 16 = 412.5 \text{ mm}$

11.6. Kontrol Retak (SKSNI 1991 rumus 3.3.4)

$$f_s = 0.6 \cdot f_y = 0.6 \times 390 = 234 \text{ MPa}$$

$$d_c = 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25 = 62.5 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2 \cdot d_c \cdot b}{n} = \frac{2 \times 62.5 \times 400}{4} = 12500 \text{ mm}^2$$

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A} = 234 \times \sqrt[3]{62.5 \times 12500} = 21552 \text{ MPa} < 30 \text{ MN/m (OK)}$$

11.7. 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  $L = 7000 \text{ mm}$  dengan menggunakan  $f_y = 390 \text{ MPa}$ , maka

min adalah :

$$h_{\min} = \frac{L}{18.5} \left(0.4 + \frac{f_y}{700}\right) = \frac{7000}{18.5} \left(0.4 + \frac{390}{700}\right) = 362 \text{ mm}$$

ketentuan diatas sudah terpenuhi karena  $h_{\text{balok}} = 700 \text{ mm}$

$m = 15.294$

Lantai	Tipe Ealok	Mu <sup>-</sup> ( Nmm )	b ( mm )	d ( mm )	d' ( mm )	Rn	$\rho\delta$	$\rho'$	$\rho$	As atas ( mm <sup>2</sup> )	Dipasang As	As' ( mm <sup>2</sup> )	Dijasang As'
2	B1	4.06E+08	400	637.5	62.5	1.561	0.0041	0.0044	0.0086	2185.5	<b>5 D-25</b>	1131.5	<b>3 D-25</b>
	B2	3.99E+08	400	637.5	62.5	1.533	0.0041	0.0044	0.0084	2146.1	<b>5 D-25</b>	1111.5	<b>3 D-25</b>
	B3	2.48E+08	300	437.5	62.5	2.696	0.0073	0.0081	0.0154	2019.4	<b>5 D-25</b>	1058.4	<b>3 D-25</b>
	B4	2.46E+08	300	437.5	62.5	2.677	0.0073	0.0080	0.0153	2004.8	<b>5 D-25</b>	1051.0	<b>3 D-25</b>
	B5	3.00E+08	400	637.5	62.5	1.152	0.0030	0.0033	0.0063	1606.9	<b>4 D-25</b>	835.5	<b>2 D-25</b>
	B6	2.45E+08	400	637.5	62.5	0.943	0.0025	0.0027	0.0051	1312.7	<b>3 D-25</b>	683.9	<b>2 D-25</b>
	B7	1.03E+08	400	637.5	62.5	0.396	0.0010	0.0011	0.0022	548.6	<b>2 D-25</b>	287.3	<b>2 D-25</b>
	B8	2.35E+08	400	637.5	62.5	0.903	0.0024	0.0026	0.0049	1255.2	<b>3 D-25</b>	654.3	<b>2 D-25</b>
	B9	3.98E+08	400	637.5	62.5	1.530	0.0040	0.0043	0.0084	2141.4	<b>5 D-25</b>	1109.1	<b>3 D-25</b>
3	B1	4.26E+08	400	637.5	62.5	1.639	0.0043	0.0047	0.0090	2296.3	<b>5 D-25</b>	1188.0	<b>3 D-25</b>
	B2	3.80E+08	400	637.5	62.5	1.460	0.0039	0.0041	0.0080	2041.5	<b>5 D-25</b>	1058.1	<b>3 D-25</b>
	B3	2.52E+08	300	437.5	62.5	2.741	0.0075	0.0082	0.0157	2054.2	<b>5 D-25</b>	1076.1	<b>3 D-25</b>
	B4	2.53E+08	300	437.5	62.5	2.759	0.0075	0.0083	0.0158	2068.2	<b>5 D-25</b>	1083.2	<b>3 D-25</b>
	B5	2.63E+08	400	637.5	62.5	1.012	0.0026	0.0029	0.0055	1408.4	<b>4 D-25</b>	733.3	<b>2 D-25</b>
	B6	2.37E+08	400	637.5	62.5	0.912	0.0024	0.0026	0.0050	1269.1	<b>3 D-25</b>	661.5	<b>2 D-25</b>
	B7	8.74E+07	400	637.5	62.5	0.336	0.0009	0.0010	0.0018	464.6	<b>2 D-25</b>	243.5	<b>2 D-25</b>
	B8	1.81E+08	400	637.5	62.5	0.697	0.0018	0.0020	0.0038	967.1	<b>3 D-25</b>	505.1	<b>2 D-25</b>
	B9	2.95E+08	400	637.5	62.5	1.135	0.0030	0.0032	0.0062	1582.3	<b>5 D-25</b>	822.8	<b>3 D-25</b>
4	B1	3.85E+08	400	637.5	62.5	1.479	0.0039	0.0042	0.0081	2068.5	<b>5 D-25</b>	1071.9	<b>3 D-25</b>
	B2	4.40E+08	400	637.5	62.5	1.693	0.0045	0.0048	0.0093	2373.2	<b>5 D-25</b>	1227.0	<b>3 D-25</b>
	B3	1.83E+08	300	437.5	62.5	1.996	0.0053	0.0060	0.0113	1483.6	<b>5 D-25</b>	783.5	<b>3 D-25</b>
	B4	1.42E+08	300	437.5	62.5	1.544	0.0041	0.0046	0.0087	1142.8	<b>5 D-25</b>	606.3	<b>3 D-25</b>
	B5	3.61E+08	400	637.5	62.5	1.387	0.0037	0.0039	0.0076	1939.0	<b>4 D-25</b>	1005.7	<b>2 D-25</b>
	B6	1.51E+08	400	637.5	62.5	0.581	0.0015	0.0017	0.0032	805.0	<b>3 D-25</b>	420.9	<b>2 D-25</b>
	B10	1.86E+08	400	637.5	62.5	0.715	0.0019	0.0020	0.0039	992.4	<b>3 D-25</b>	518.3	<b>2 D-25</b>
5 - 7	B2	4.97E+08	400	637.5	62.5	1.909	0.0051	0.0054	0.0105	2682.7	<b>6 D-25</b>	1383.9	<b>3 D-25</b>
Atap	B2	2.35E+08	400	637.5	62.5	0.903	0.0024	0.0026	0.0049	1255.9	<b>3 D-25</b>	654.6	<b>2 D-25</b>

m = 15.294

$\rho_{maks} = 0.0233$

Lantai	Tipe Balok	Mu <sup>-</sup> ( Nmm )	b ( mm )	d ( mm )	d' ( mm )	Rn	$\rho\delta$	$\rho'$	$\rho$	$\rho$ pakai	As atas ( mm <sup>2</sup> )	Dipasang As	As' ( mm <sup>2</sup> )	Dipasang As'
2	B1	1.19E+08	400	637.5	62.5	0.458	0.0012	0.0013	0.0025	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B2	1.74E+08	400	637.5	62.5	0.669	0.0017	0.0019	0.0036	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B3	1.43E+08	300	437.5	62.5	1.557	0.0041	0.0047	0.0088	0.0088	1152.0	3 D-25	576.0	2 D-25
	B4	2.35E+08	300	437.5	62.5	2.555	0.0069	0.0076	0.0146	0.0146	1911.4	4 D-25	955.7	2 D-25
	B5	2.90E+08	400	637.5	62.5	1.114	0.0029	0.0032	0.0061	0.0061	1552.9	4 D-25	776.4	2 D-25
	B6	1.40E+08	400	637.5	62.5	0.537	0.0014	0.0015	0.0029	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B7	3.27E+07	400	637.5	62.5	0.126	0.0003	0.0004	0.0007	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B8	4.21E+07	400	637.5	62.5	0.162	0.0004	0.0005	0.0009	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B9	6.30E+07	400	637.5	62.5	0.242	0.0006	0.0007	0.0013	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
3	B1	1.21E+08	400	637.5	62.5	0.467	0.0012	0.0013	0.0025	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B2	1.29E+08	400	637.5	62.5	0.495	0.0013	0.0014	0.0027	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B3	1.28E+08	300	437.5	62.5	1.390	0.0037	0.0042	0.0078	0.0078	1027.3	3 D-25	513.6	2 D-25
	B4	2.29E+08	300	437.5	62.5	2.488	0.0067	0.0074	0.0142	0.0142	1859.6	4 D-25	929.8	2 D-25
	B5	2.94E+08	400	637.5	62.5	1.129	0.0030	0.0032	0.0062	0.0062	1573.9	4 D-25	786.9	2 D-25
	B6	1.70E+08	400	637.5	62.5	0.655	0.0017	0.0019	0.0036	0.0036	908.9	2 D-25	454.5	2 D-25
	B7	2.99E+07	400	637.5	62.5	0.115	0.0003	0.0003	0.0006	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B8	3.37E+07	400	637.5	62.5	0.130	0.0003	0.0004	0.0007	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B9	3.58E+07	400	637.5	62.5	0.138	0.0004	0.0004	0.0007	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
4	B1	1.92E+08	400	637.5	62.5	0.737	0.0019	0.0021	0.0040	0.0040	1022.8	2 D-25	511.4	2 D-25
	B2	2.23E+08	400	637.5	62.5	0.858	0.0022	0.0024	0.0047	0.0047	1192.6	2 D-25	596.3	2 D-25
	B3	9.25E+07	300	437.5	62.5	1.007	0.0026	0.0030	0.0056	0.0056	741.2	3 D-25	370.6	2 D-25
	B4	1.29E+08	300	437.5	62.5	1.407	0.0037	0.0042	0.0079	0.0079	1040.0	4 D-25	520.0	2 D-25
	B5	5.26E+08	400	637.5	62.5	2.022	0.0054	0.0057	0.0112	0.0112	2844.3	4 D-25	1422.2	3 D-25
	B6	3.71E+07	400	637.5	62.5	0.143	0.0004	0.0004	0.0008	0.0036	918.0	2 D-25	459.0	2 D-25
	B10	1.87E+08	400	637.5	62.5	0.717	0.0019	0.0020	0.0039	0.0039	995.4	2 D-25	497.7	2 D-25
5 - 7	B2	4.21E+08	400	637.5	62.5	1.620	0.0043	0.0046	0.0089	0.0089	2269.0	5 D-25	1134.5	3 D-25
Atap	B2	5.59E+07	400	637.5	62.5	0.215	0.0006	0.0006	0.0012	0.0012	296.7	2 D-25	148.3	2 D-25

$f_y = 320$

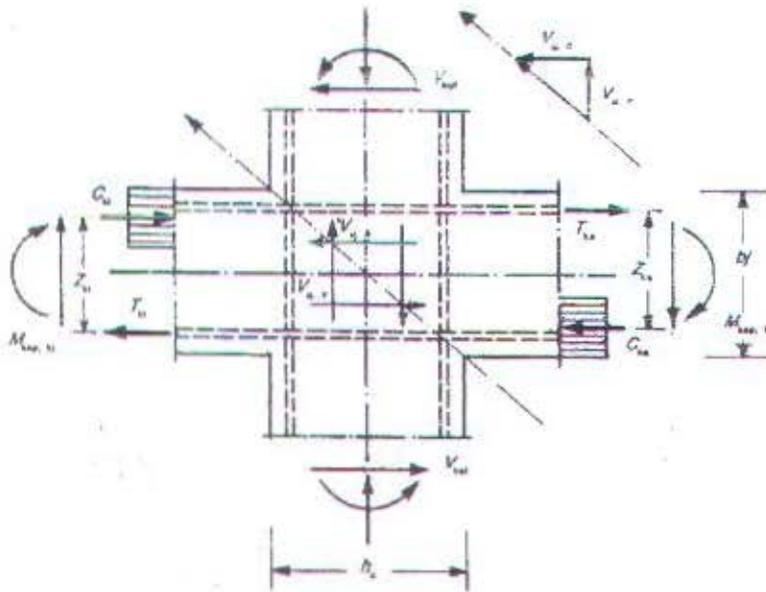
MPa

Lantai	Tipe Balok	Tulangan geser sejarak $d$							Tulangan geser sejarak lebih dari $d$			
		$V_u$ (N)	$b$ mm	$d$ mm	$\phi V_c$ (N)	$\min \phi V_s$ (N)	$\phi V_c + \min \phi V_s$	$s$ (mm)	Dipasang	$V_u$ (N)	$s$ (mm)	Dipasang
2	B1	1.76E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.51E+05	377	$\phi 10-300$
	B2	1.69E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.43E+05	377	$\phi 10-300$
	B3	1.05E+05	300	437.5	7.19E+04	2.63E+04	9.81E+04	502	$\phi 10-150$	8.72E+04	502	$\phi 10-300$
	B4	1.52E+05	300	437.5	7.19E+04	2.63E+04	9.81E+04	502	$\phi 10-150$	1.44E+05	502	$\phi 10-300$
	B5	1.75E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.62E+05	377	$\phi 10-300$
	B6	1.26E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.10E+05	377	$\phi 10-300$
	B7	5.14E+04	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	4.34E+04	377	$\phi 10-300$
	B8	1.72E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.56E+05	377	$\phi 10-300$
	B9	6.52E+04	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	5.68E+04	377	$\phi 10-300$
3	B1	1.79E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.55E+05	377	$\phi 10-300$
	B2	1.60E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.34E+05	377	$\phi 10-300$
	B3	1.03E+05	300	437.5	7.19E+04	2.63E+04	9.81E+04	502	$\phi 10-150$	8.54E+04	502	$\phi 10-300$
	B4	1.48E+05	300	437.5	7.19E+04	2.63E+04	9.81E+04	502	$\phi 10-150$	1.35E+05	502	$\phi 10-300$
	B5	1.88E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.75E+05	377	$\phi 10-300$
	B6	1.35E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.19E+05	377	$\phi 10-300$
	B7	4.76E+04	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	3.97E+04	377	$\phi 10-300$
	B8	1.53E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.39E+05	377	$\phi 10-300$
	B9	5.50E+04	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	4.66E+04	377	$\phi 10-300$
4	B1	1.85E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.60E+05	377	$\phi 10-300$
	B2	1.72E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.46E+05	377	$\phi 10-300$
	B3	8.95E+04	300	437.5	7.19E+04	2.63E+04	9.81E+04	502	$\phi 10-150$	7.22E+04	502	$\phi 10-300$
	B4	9.61E+04	300	437.5	7.19E+04	2.63E+04	9.81E+04	502	$\phi 10-150$	8.75E+04	502	$\phi 10-300$
	B5	2.44E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	2.36E+05	377	$\phi 10-300$
	B6	5.08E+04	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	4.52E+04	377	$\phi 10-300$
	B10	1.49E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.42E+05	377	$\phi 10-300$
5 - 7	B2	1.58E+05	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	1.38E+05	377	$\phi 10-300$
Atap	B2	8.93E+04	400	637.5	1.40E+05	5.10E+04	1.91E+05	377	$\phi 10-150$	7.02E+04	377	$\phi 10-300$

### 13. 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

#### 13.1. Langkah-langkah perhitungan beam column joint :

- ) Gaya geser horisontal yang bekerja pada joint :

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_k \quad (\text{SKSNI '91 3.14-6})$$

dimana :

$$C_{ki} = T_{ki} = 0.7 \frac{M_{kap,ki}}{z_{ki}} ; \quad T_{ka} = C_{ka} = 0.7 \frac{M_{kap,ka}}{z_{ka}}$$

$$M_{kap} = 1.25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{dan} \quad a = \frac{1.25 \cdot A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$V_k$  = gaya geser kolom

$$= \frac{0.7 \left( \frac{I_{ki}}{L_{n_{ki}}} M_{kap,ki} + \frac{I_{ka}}{L_{n_{ka}}} M_{kap,ka} \right)}{1/2(h_{ka} + h_{kb})} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-7})$$

$L_{ki,ka}$  = jarak as ke as kiri dan kanan koint yang ditinjau

$L_{n_{ki,ka}}$  = 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 :

$$v_{\mu} = \frac{V_{\mu}}{b_j \cdot h_k} \leq 1.5 \sqrt{f_c'} \quad (\text{PB '89 A-6.1.2})$$

dimana :

$b_j$  = lebar efektif joint yang dicari dari nilai terkecil di bawah ini :

$$\text{bila } b_k > b_b \quad \begin{aligned} b_j &= b_k \\ b_j &= b_b + 0.5h_k \end{aligned}$$

$$\text{bila } b_k \leq b_b \quad \begin{aligned} b_j &= b_b \\ b_j &= b_k + 0.5h_k \end{aligned}$$

$h_k$  = tinggi kolom

3) Gaya geser yang mampu dipikul beton :

$$V_{cb} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_n}{A_g} - 0.1 \cdot f_c'} \times b_j \cdot h_k \quad (\text{SKSNI '91 3.14-10})$$

4) Penulangan geser pada joint :

$$V_{cb} + V_{ch} = V_{\mu} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-13})$$

$$A_{\mu} = \frac{V_{ch}}{f_y} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-14})$$

### 13.2. 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

$$d = 700 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 637.5 \text{ mm}$$

$$A_s = 2454.8 \text{ mm}^2$$

moment kapasitas balok dalam tarik :

$$a_{k,ka} = \frac{1.25 \times 2454.8 \times 390}{0.85 \times 30 \times 400} = 117.3 \text{ mm}$$

$$M_{kap,ki} = 1.25 \times 2454.8 \times 390 \times \left( 637.5 - \frac{117.3}{2} \right) = 6.93E + 8 \text{ Nmm}$$

gaya geser kolom yang bekerja pada joint :

$$V_k = \frac{0.7 \left( \frac{L_{ki}}{L_{ni}} M_{kap,ki} + \frac{L_{ka}}{L_{na}} M_{kap,ka} \right)}{1/2(h_{ko} + h_{kb})} = \frac{0.7 \left( \frac{7000}{6600} 6.93E8 + \frac{8000}{7600} 6.93E8 \right)}{1/2(5000 + 4000)}$$

$$V_k = 2.28E + 5 \text{ N}$$

gaya geser dan tegangan yang terjadi :

$$z_{ki} = z_{ka} = d - a/2 = 637.5 - 117.3/2 = 578.9 \text{ mm}$$

$$C_{ki} = 0.7 \frac{M_{kap,ki}}{z_{ki}} = 0.7 \times \frac{6.93E + 8}{578.9} = 8.38E + 5 \text{ N}$$

$$T_{ka} = 0.7 \frac{M_{kap,ka}}{z_{ka}} = 0.7 \times \frac{6.93E + 8}{578.9} = 8.38E + 5 \text{ N}$$

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_k = 8.38E5 + 8.38E5 - 2.28E5 = 1.45E + 6 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } b_k > b_b \quad b_j &= b_k = 700 \text{ mm} \\ b_j &= b_b + 0.5h_k = 400 + 0.5 \times 5000 = 2900 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$v_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_k} = \frac{1.45E + 6}{700 \times 5000} = 0.41 \text{ MPa} < 1.5 \sqrt{f_c'} = 8.2 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

gaya geser yang dipikul beton :

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_n}{A_g} - 0.1 f_c'} \times b_j \cdot h_k = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{3.32E + 6}{700 \times 700} - 0.1 \times 30} \times 700 \times 5000$$

$$V_{ch} = 4.53E + 6 \text{ N}$$

$$V_{ch} > V_{jh} \rightarrow \text{dipasang tulangan praktis}$$

Dipasang tulangan :  $\phi 10 - 5$  lapis

## 12. Perencanaan Kolom

Dalam perencanaan ini elemen kolom direncanakan dengan sistem cor di tempat (cast in situ), dan sebagai contoh perhitungan diambil kolom K1 lantai 2 dengan data-data sebagai berikut :

Dimensi kolom	=	700 x 700 mm
Mutu beton $f_c'$	=	30 MPa
Mutu baja $f_y$	=	390 MPa
Selimut beton	=	40 mm
Tulangan utama	=	D-25 mm
Sengkang	=	$\phi$ -10 mm
$d'$	=	$40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 62.5$ mm
Tinggi kolom	=	5000 mm
Jenis kolom	=	unbraced ( tanpa pengaku )

### 12.1. Penulangan Lentur Aksial Kolom

Dari hasil analisa SAP 2000 diperoleh gaya-gaya dalam yang bekerja pada kolom sebagai berikut :

$P_u$	=	4.15E+06 N
$M_{2b}(x)$	=	6.24E+07 Nmm
$M_{2s}(x)$	=	4.91E+08 Nmm
$M_{2b}(y)$	=	2.33E+07 Nmm
$M_{2s}(y)$	=	4.28E+08 Nmm

### Perhitungan faktor tekuk ( k )

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

balok ( dimensi 400 x 700 mm )

$$I_g = \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 = 1.143 \text{ E}+10 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = 0.5 I_g = 5.717 \text{ E}+9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{balok}} = E_c \times I_{cr} = 1.47 \text{ E}+14$$

kolom ( dimensi 700 x 700 mm )

$$I_g = 1/12 \times 700 \times 700^3 = 2.00 \text{ E}+10 \text{ mm}^4$$

$$EI \text{ kolom} = 0.3 \times E_c \times I_g = 1.55 \text{ E}+14$$

faktor jepitan atas :

$$\psi_B = \frac{\sum(EI_c / L_c) \text{ kolom}}{\sum(EI_b / L_b) \text{ balok}} = \frac{(1.55E+14 / 5000) + (1.55E+14 / 4000)}{3 \times (1.47E+14 / 7000) + (1.47E+14 / 8000)} = 0.26$$

faktor jepitan bawah :

$$\psi_A = 0$$

Dari nomogram faktor panjang efektif kolom diperoleh  $k = 1.05$

### ontrol Kelangsingan

jenis kolom adalah kolom tanpa pengaku ( unbraced frame ).

$$\text{radi-jari girasi, } r = 0.3 h = 0.3 \times 700 = 210 \text{ mm}$$

$$\text{nilai kelangsingan } \lambda = \frac{k \cdot L_n}{r} = \frac{1.05 \times (7000 - 350)}{150} = 23 > 22$$

( Termasuk kolom panjang, pengaruh kelangsingan diperhitungkan )

### erhitungan Pembesaran Momen

untuk unbraced frame nilai  $C_m = 1$

$$P_u = 4.15E+06 \text{ N}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot L_n)^2} = \frac{\pi^2 \times 1.55E+14}{(1.05 \times 6650)^2} = 6.40E+07 \text{ N}$$

$$\delta_{b1} = \frac{C_m}{1 - \left( \frac{P_u}{\phi P_c} \right)} = \frac{1}{1 - \left( \frac{4.15E+06}{0.65 \times 6.40E+07} \right)} = 1.11$$

$$\delta_{b2} = \frac{C_m}{1 - \left( \frac{\sum P_u}{\phi \sum P_c} \right)} = \frac{1}{1 - \left( \frac{6.57E+07}{0.65 \times 1.07E+09} \right)} = 1.10$$

$$\begin{aligned} M_{2x} &= \delta_{b1} \cdot M_{2b} + \delta_{s1} \cdot M_{2s} \\ &= (1.11 \times 6.24E+07) + (1.10 \times 4.91E+08) = 6.11E+08 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2y} &= \delta_{b2} \cdot M_{2b} + \delta_{s2} \cdot M_{2s} \\ &= (1.63 \times 2.33E+07) + (1.51 \times 4.28E+08) = 4.98E+08 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan  $P_{ny}$  :

$$\frac{M_{uy}}{A_g h} = \frac{4.98E+8}{700^2 \times 700} = 1.45$$

Dari diagram interaksi M-N, dengan  $\rho = 0.0100$  diperoleh

$$\frac{\phi P_{ny}}{A_g} = 15$$

$$P_{ny} = 15 \times 700^2 / 0.65 = 1.13 E+7 \text{ N}$$

Jika diperoleh :

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{ob}} = \frac{1}{1.06E+7} + \frac{1}{1.13E+7} - \frac{1}{8.56E+6}$$

$$P_{nb} = 1.51 E+7 \text{ N}$$

$$P_u = 4.15 E+6 \text{ N}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{4.15E+6}{0.65} = 6.38E+06 \text{ N}$$

$$P_{nb} = 1.51 E+7 \text{ N} > P_n = 6.38 E+6 \text{ N} \dots \dots \dots \text{ (OK)}$$

## 12.2. Perhitungan Geser dan Torsi

Data-data perencanaan :

$$T_u = 1.36 E+07 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 1.96 E+05 \text{ N}$$

$$P_u = 4.15 E+06 \text{ N}$$

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

$$\text{Tulangan utama} = \text{D-25}$$

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

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 437.5 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton ( } f_c' \text{ )} = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja ( } f_y \text{ )} = 320 \text{ Mpa}$$

ek Torsi Minimum

$$\phi T_c = \phi \left( \frac{1}{15} \sqrt{f_c'} \cdot \Sigma v^2 y \right) = 0.6 \left( \frac{1}{15} \sqrt{30} \times 700^2 \times 700 \right)$$

$$\phi T_c = 7.51 \text{ E}+07 \text{ Nmm}$$

$$T_u = 1.36 \text{ E}+07 \text{ Nmm} < \phi T_c \quad \rightarrow \text{ torsi dapat diabaikan.}$$

imbangan Kekuatan Geser Beton

$$V_c = 2x \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \left[ 1 + \frac{Nu}{14 \cdot Ag} \right] = 2x \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 700 \times 637.5 \times \left[ 1 + \frac{4.15 \text{ E} + 6}{14 \times 700^2} \right]$$

$$V_c = 1.31 \text{ E}+06 \text{ N}$$

$$0.5 \phi V_c = 3.92 \text{ E}+05 \text{ N}$$

arena  $V_u < 0.5 \phi V_c$ , maka dipasang sengkang minimum sebesar :

$$A_{v \text{ min}} = \frac{bw \cdot s}{3 \cdot f_y} \quad \rightarrow \quad s = \frac{A_v \cdot 3 \cdot f_y}{bw}$$

ipakai sengkang  $\phi$ -10 (  $A_s = 78.5 \text{ mm}^2$  ), maka :

$$s = \frac{2 \times 78.5 \times 3 \times 320}{700} = 215 \text{ mm}$$

$$s \text{ maks} = 0.5 h = 0.5 \times 700 = 350 \text{ mm}$$

$$= 10 \cdot d_b = 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$$

$$= 200 \text{ mm}$$

pasang tulangan sengkang  $\phi$ 10-200 mm

$f_c' = 30 \text{ MPa}$

$f_y = 320 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	$T_u$ ( Nmm )	$V_u$ ( N )	$N_u$ ( N )	b ( mm )	d ( mm )	$\phi T_c$ ( Nmm )	Ket.	$0.5 \phi V_c$ ( N )	$\phi V_c$ ( N )	Ket.	s ( mm )
2	K1	1.36E+07	1.96E+05	4.15E+06	700	637.5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	3.92E+05	7.84E+05	Tulangan geser dipasang praktis	215
	K2	1.36E+07	1.64E+05	3.43E+06	700	637.5	7.51E+07		3.67E+05	7.33E+05		215
	K3	3.55E+06	7.43E+04	8.85E+05	500	437.5	2.74E+07		1.50E+05	3.00E+05		301
	K4	3.55E+06	5.98E+04	1.16E+06	500	437.5	2.74E+07		1.59E+05	3.19E+05		301
	K5	3.55E+06	5.73E+04	5.02E+05	500	437.5	2.74E+07		1.37E+05	2.74E+05		301
3	K1	1.59E+07	1.62E+05	3.67E+06	700	637.5	7.51E+07		3.75E+05	7.51E+05		215
	K2	1.59E+07	1.61E+05	3.18E+06	700	637.5	7.51E+07		3.58E+05	7.15E+05		215
	K3	4.15E+06	9.81E+04	5.75E+05	500	437.5	2.74E+07		1.39E+05	2.79E+05		301
	K4	4.15E+06	7.53E+04	6.78E+05	500	437.5	2.74E+07		1.43E+05	2.86E+05		301
	K5	4.15E+06	7.83E+04	6.06E+05	500	437.5	2.74E+07		1.41E+05	2.81E+05		301
4	K1	1.37E+07	8.84E+04	3.20E+06	700	637.5	7.51E+07		3.58E+05	7.17E+05		215
	K2	1.37E+07	8.23E+04	2.92E+06	700	637.5	7.51E+07		3.48E+05	6.97E+05		215
	K3	3.56E+06	1.17E+05	3.22E+05	500	437.5	2.74E+07		1.31E+05	2.62E+05		301
	K5	3.56E+06	1.01E+05	2.92E+05	500	437.5	2.74E+07		1.30E+05	2.60E+05		301
5	K1	2.09E+07	2.97E+05	2.68E+06	700	637.5	7.51E+07		3.40E+05	6.80E+05		215
6	K1	2.34E+07	4.33E+05	1.98E+06	700	637.5	7.51E+07	3.15E+05	6.30E+05	215		
7	K1	1.87E+07	3.33E+05	1.28E+06	700	637.5	7.51E+07	2.90E+05	5.80E+05	215		
8	K1	1.15E+07	3.70E+05	5.88E+05	700	637.5	7.51E+07	2.65E+05	5.31E+05	215		

Tabel 4.63 Perhitungan Tulangan Lintang Aksial Kolom

 $f_c' = 30 \text{ MPa}$ 
 $f_y = 390 \text{ MPa}$ 

Lantai	Tipe Balok	b = h (mm)	$\rho_A$	$\rho_B$	k	$\lambda$	$P_u$ (N)	M2b-x (Nmm)	M2s-x (Nmm)	M2b-y (Nmm)	M2s-y (Nmm)	$P_c$ (N)	$\delta_b$	$\delta_s$	$\phi$ Mu (Nmm)	Dipasang	As ada (mm <sup>2</sup> )	$\rho$ ada	$P_{ub}$ (N)	$P_u$ (N)
2	K1	700	0	0.26	1.05	23	4.15E+06	6.24E+07	4.91E+08	2.33E+07	4.28E+08	6.40E+07	1.11	1.10	8.79E+08	1D-25	4909.0	0.0100	1.51E+07	6.38E+06
	K2	700	0	0.85	1.15	25	3.43E+06	2.26E+07	4.40E+08	2.35E+07	6.27E+08	5.34E+07	1.11	1.10	9.93E+08	1D-25	6872.6	0.0140	1.58E+07	5.27E+06
	K3	500	0	0.34	1.06	34	8.85E+05	1.24E+07	1.61E+08	2.07E+07	1.30E+08	1.57E+07	1.10	1.10	2.81E+08	1D-25	3927.2	0.0157	9.50E+06	1.36E+06
	K4	500	0	0.15	1.03	32	1.16E+06	2.37E+07	1.36E+08	4.60E+07	9.31E+07	1.73E+07	1.11	1.10	2.60E+08	1D-25	3927.2	0.0157	9.50E+06	1.78E+06
	K5	500	0	0.79	1.13	36	5.02E+05	2.52E+07	1.58E+08	1.33E+07	2.02E+08	1.38E+07	1.06	1.10	3.29E+08	1D-25	4909.0	0.0196	1.02E+07	7.72E+05
3	K1	700	0.26	0.29	1.10	19	3.67E+06	1.04E+08	3.44E+08	2.01E+07	1.95E+08	9.47E+07	1.06	1.06	5.97E+08	1D-25	4909.0	0.0100	1.66E+07	5.65E+06
	K2	700	0.85	0.95	1.30	23	3.18E+06	3.20E+07	4.30E+08	2.03E+07	6.43E+08	6.78E+07	1.08	1.06	8.69E+08	1D-25	6872.6	0.0140	1.58E+07	4.89E+06
	K3	500	0.34	0.38	1.12	28	5.75E+05	2.51E+07	1.53E+08	3.81E+07	1.39E+08	2.25E+07	1.04	1.06	2.89E+08	1D-25	3927.2	0.0157	9.50E+06	8.84E+05
	K4	500	0.15	0.17	1.05	26	6.78E+05	4.40E+07	1.57E+08	8.28E+07	1.47E+08	2.70E+07	1.04	1.06	3.42E+08	1D-25	3927.2	0.0157	7.98E+06	1.04E+06
	K5	500	0.79	0.88	1.28	32	6.06E+05	4.79E+07	1.23E+08	3.19E+07	1.99E+08	1.72E+07	1.06	1.06	3.13E+08	1D-25	4909.0	0.0196	9.27E+06	9.32E+05
4	K1	700	0.29	0.29	1.80	31	3.20E+06	8.89E+07	2.42E+08	3.89E+07	1.69E+08	3.54E+07	1.16	1.08	4.87E+08	1D-25	4909.0	0.0100	1.66E+07	4.92E+06
	K2	700	0.95	0.95	1.31	23	2.92E+06	1.08E+08	3.13E+08	1.92E+07	2.21E+08	6.68E+07	1.07	1.08	5.94E+08	1D-25	6872.6	0.0140	1.79E+07	4.49E+06
	K3	500	0.38	0.38	1.12	28	3.22E+05	5.96E+07	2.23E+08	4.67E+07	1.56E+08	2.25E+07	1.02	1.08	4.18E+08	1D-25	3927.2	0.0157	6.91E+06	4.95E+05
	K5	500	0.88	0.88	1.30	33	2.92E+05	5.59E+07	1.48E+08	6.75E+07	2.58E+08	1.67E+07	1.03	1.08	4.65E+08	1D-25	3927.2	0.0157	5.85E+06	4.49E+05
	K1	700	0.95	0.95	1.31	23	2.68E+06	1.23E+08	5.23E+08	2.99E+07	5.89E+08	6.68E+07	1.07	1.07	1.04E+09	1D-25	8836.2	0.0180	1.60E+07	4.12E+06
6	K1	700	1.95	0.95	2.31	40	1.98E+06	1.52E+08	3.51E+08	2.47E+07	5.39E+08	2.15E+07	1.17	1.17	9.40E+08	1D-25	7854.4	0.0160	1.65E+07	3.04E+06
	K1	700	2.95	0.95	3.31	58	1.28E+06	1.20E+08	3.46E+08	3.20E+07	4.29E+08	1.05E+07	1.23	1.23	8.80E+08	1D-25	6872.6	0.0140	1.79E+07	1.97E+06
8	K1	700	3.95	0.47	4.31	75	5.88E+05	9.64E+07	2.33E+08	4.34E+07	2.69E+08	6.17E+06	1.17	1.17	5.83E+08	1D-25	5890.8	0.0120	1.76E+07	9.04E+05

## 14 Perencanaan Pondasi

### Contoh Perhitungan Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tiang pancang direncanakan memakai tiang pancang produksi WKA tipe 400 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/cm<sup>2</sup> at 28 days )

Klasifikasi tiang pancang :

As	= 4.62 cm <sup>2</sup>	M crack	= 5.5 tm
Ac	= 765.77 cm <sup>2</sup>	M ultimate	= 8.25 tm
W	= 5405.79 cm <sup>3</sup>		
D	= 40 cm		

### 13.1. Perhitungan daya dukung tiang pancang

Sebagai contoh perhitungan pondasi tiang pancang tipe P1. Gaya-gaya dalam pondasi diperoleh dari analisa SAP 2000 sebagai berikut :

Pu	= 586.413 t
Mx	= 64.021 tm
My	= 44.894 tm
Hx	= 13.062 t
Hy	= 19.162 t

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji SPT menurut Luciano Decourt (1982). Perhitungan disajikan pada tabel dan gambar. Dari grafik tersebut, direncanakan pemancangan sedalam H = 26.0 m dengan P ijin 1 tiang = 131.6 ton.

### 13.2. Perhitungan jumlah tiang

Rencana jumlah tiang pancang :

$$n = \frac{Pu}{P \text{ ijin, 1 tiang}} = \frac{586.413}{131.6} = 4.5 \rightarrow \text{dipakai 9 tiang pancang}$$

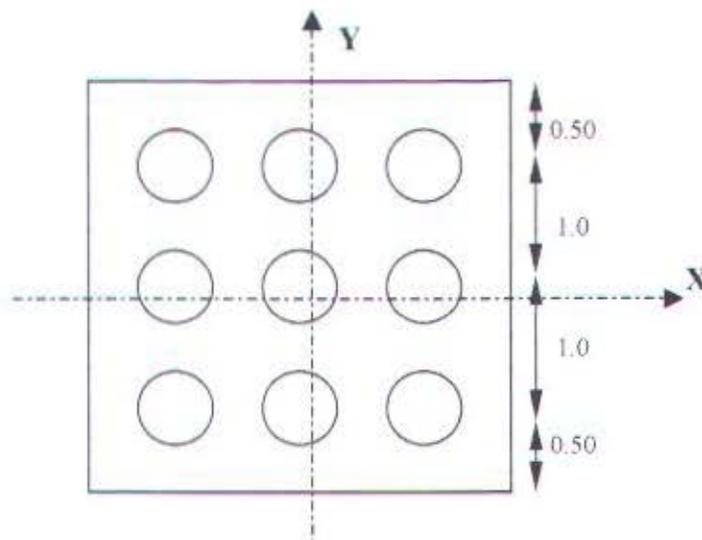
Jarak as ke as tiang terpasang (  $2.5\phi$  sd.  $3.0\phi$  )

$$s = 2.5 \times 0.4 = 1.0 \text{ m}$$

Jarak tepi ke tepi poer

$$s_1 = 0.50 \text{ m}$$

Rencana dimensi poer =  $3.0 \times 3.0 \times 1.0 \text{ m}$



**Gambar 4.6** Rencana Penempatan Tiang Pancang

Keuatan Group Tiang Pancang

$$\begin{aligned} \text{Eff} &= 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) = 1 - \frac{\text{arc} \cdot \text{tg}(0.4/1.0)}{90^\circ} \left( 2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} \right) \\ &= 0.677 \end{aligned}$$

$$P \text{ ijin group} = P \text{ ijin 1 tiang} \times \text{Eff}$$

$$\begin{aligned} P \text{ ijin group} &= 131.6 \times 0.677 \\ &= 89.1 \text{ ton} \end{aligned}$$

Teban maksimum tiang

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= P_u + \text{Berat poer} \\ &= 586.413 + (2.4 \times 3.0 \times 3.0 \times 1.0) = 608.01 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\Sigma x^2 = 6 \times 1.0^2 = 6.0 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 6 \times 1.0^2 = 6.0 \text{ m}^2$$

$$X_{\max} = 1.0 \text{ m} \quad Y_{\max} = 1.0 \text{ m}$$

$$n = 9 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \frac{\sum Pu}{n} + \frac{My \times X_{\max}}{\sum x^2} + \frac{Mx \times Y_{\max}}{\sum y^2} \leq P_{\text{ijin, group}} \\ &= \frac{608.01}{9} + \frac{44.894 \times 1.0}{6.0} + \frac{62.021 \times 1.0}{6.0} \\ &= 85.7 \text{ ton} < P_{\text{ijin group}} = 131.6 \text{ ton} \quad \dots\dots\dots \text{ ( OK )} \end{aligned}$$

### 13.3. Kontrol kekuatan tiang terhadap gaya lateral

$$H_x = 13.062 \text{ t}$$

$$H_y = 19.162 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} H_o &= \sqrt{H_x^2 + H_y^2} = \sqrt{13.062^2 + 19.162^2} = 23.2 \text{ ton} \quad (\text{ untuk 9 tiang }) \\ &= 2.577 \text{ ton} \quad (\text{ untuk 1 tiang }) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_u &= 10 \text{ N ( korelasi Terzaghi & Peck untuk tanah lempung berlanau )} \\ &= 10 \times 15.3 = 153 \text{ KPa} = 1.53 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$C_r = 0.5 C_u = 0.5 \times 1.53 = 7.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$F = \frac{H_o}{9 \times C_r \times D} = \frac{2.577}{9 \times 7.65 \times 0.4} = 0.09$$

$$L_1 = F + 1.5D = 0.09 + 1.5 \times 0.4 = 0.69 \text{ m}$$

$$L_2 = 2.2L_1 = 2.2 \times 0.69 = 1.53 \text{ m} < h_{\text{pemancangan}} = 26 \text{ m}$$

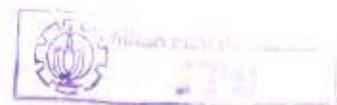
Termasuk dalam kategori tiang panjang.

Untuk tiang pancang yang ujungnya tertahan (restraint pile) diperoleh harga kuat ser tanah :

$$\begin{aligned} H_o \text{ 1 tiang} &= 9 \times C_u \times D \times (L_1 - 1.5D) \\ &= 9 \times 15.3 \times 0.40 \times (0.69 - 1.5 \times 0.40) \\ &= 5.153 \text{ ton} > H_o \text{ terjadi} = 2.557 \text{ ton} \quad \dots\dots\dots \text{ ( OK )} \end{aligned}$$

omen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M_{\text{ult aktual}} &= H_o \times (1.5D + 0.5F) = 2.577 \times (1.5 \times 0.40 + 0.5 \times 0.09) \\ &= 2.440 \text{ tm} < M_{\text{crack}} = 5.5 \text{ tm} \\ &< M_{\text{ultimate}} = 8.25 \text{ tm} \quad \dots\dots\dots \text{ ( OK )} \end{aligned}$$



### 13.4. Perencanaan Poer ( Pile Cap )

Data-data perencanaan poer :

Pu	= 586.41 ton
Dimensi	= 3.0 x 3.0 x 1.0 m
Jumlah tiang pancang	= 9 buah
Dimensi kolom	= 700 x 700 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

#### ontrol Geser Pons

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi ( SKSNI T-15-991-03 pasal 3.4.11-2 ). Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan sebagai berikut :

$$V_c = \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left( \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_o \times d$$

tapi tidak melebihi dari :

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \times \beta_c, \quad \text{dimana :}$$

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

$b_o$  = keliling penampang kritis pada poer.

Contoh perhitungan :

keliling penampang kritis :

$$\begin{aligned} b_o &= 2 ( b_k + d ) + 2 ( h_k + d ) = 2 ( 700 + 892.5 ) + 2 ( 700 + 892.5 ) \\ &= 6370 \text{ mm} \end{aligned}$$

kuat geser pons :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6}\right) \times 6370 \times 892.5 = 1.56E+7 N$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{30} \times 6370 \times 892.5 \times 1 = 1.04E+7 N \quad \rightarrow \text{menentukan}$$

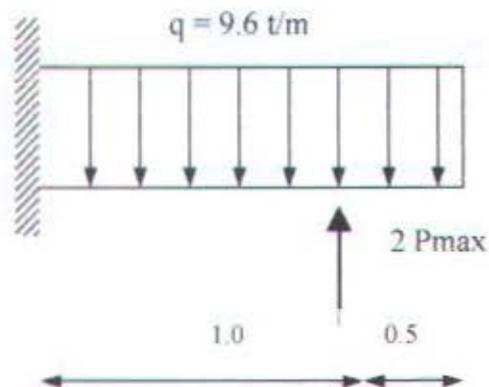
$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0.6 \times 1.04E+7 \\ &= 6.23E+6 N = 622.79 \text{ ton} > P_u = 568.41 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Selain itu dimensi poer ( tebal poer ) direncanakan juga dengan mempertimbangkan panjang penyaluran tiang pancang yaitu sebesar :

$$\begin{aligned} &= 40 \times D_{\text{tiang pancang}} \\ &= 40 \times 19 \text{ mm} = 760 \text{ mm} > t_{\text{rencana poer}} = 1000 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

#### Perhitungan tulangan lentur Poer

Pada penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan tertletakkan 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 4.7** Pemodelan Poer

$$P_{max} = 85.7 \text{ ton}$$

$$= 2.4 \times 3.0 \times 1.0 = 7.2 \text{ t/m}^2$$

Momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} M_u &= (2 \times 85.7 \times 1.0) - \left( \frac{1}{2} \times 7.2 \times 1.5^2 \right) \\ &= 163.3 \text{ tm} = 1.63 \text{ E}+9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1.63 \text{ E}+9}{0.8 \times 3000 \times 892.5^2} = 0.854$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.294$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.294} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.294 \times 0.854}{390}} \right) = 0.0022$$

Dipakai  $\rho_{min} = 0.0036$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.0036 \times 3000 \times 892.5 = 9611.5 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan **20 D-25**

Jarak pemasangan tulangan :

$$s = \frac{3000 - (2 \times 70)}{20} = 143.0 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{dipasang jarak } 125 \text{ mm}$$

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 :

$$\begin{aligned} V_u &= (n \times P_{max}) - (q \times l) = (2 \times 85.7) - (7.2 \times 1.5) \\ &= 160.6 \text{ ton} = 1.61 \text{ E}+6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = \phi \left( \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \right) = 0.6 \left( \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 6370 \times 892.5 \right) = 1.47 \text{ E}+6 \text{ N}$$

Karena  $V_u < \phi V_c \rightarrow$  tidak perlu tulangan geser.

### 13.5. Perencanaan Sloof ( Tie Beam )

Data-data perencanaan sloof :

$P_u$	= 10 % x 586.41 ton	= 58.64 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		= $\phi$ -10
Selimut beton		= 50 mm
Tinggi efektif $d$	= 600 - 70 - 25 - $\frac{1}{2}$ 25	= 492.5 mm

ontrol 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 :

$$f_r = \frac{P_u}{\phi b h} = \frac{58.64 \times 10^3 + 4}{0.8 \times 400 \times 600} = 3.05 \text{ MPa} < f_r \text{ ijin} = 3.83 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

di 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 :

$$\text{Berat sendiri } q_u = 1.2 \times 0.4 \times 0.6 \times 24 = 6.912 \text{ kg/m}$$

omen yang terjadi :

$$M_u = 1/12 \times q_u \times l^2 = 1/12 \times 6.912 \times 5.0^2$$

$$= 28.244 \text{ kgm} \quad = 2.82 \text{ E}+5 \text{ Nmm}$$

Menhitung Luas Tulangan

$$k_x = \frac{Mu}{Ag \cdot h} = \frac{2.82\text{E}+05}{(400 \times 600) \times 600} = 0.002$$

$$k_y = \frac{Pu}{Ag} = \frac{58.64\text{E}+04}{400 \times 600} = 2.4$$

Dari diagram interaksi M-N, diperoleh  $\rho = 0.0100$

sehingga diperoleh :

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times A_g = 0.0100 \times 400 \times 600 = 2400.0 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **6 D-25** ( $A_s = 2945.2 \text{ mm}^2$ )

H ( m )	N' ( blows )	N ( blows )	Np ( blows )	K ( t/m2 )	Ap ( m2 )	Qp ( ton )	N' ( blows )	N ( blows )	Ns ( blows )	As ( m2 )	Qs ( ton )	Qu ( ton )	Q ijin ( ton )
4	6.5	10.8	10.0	15	0.196	29.40	7.00	11.00	10.50	6.28	28.3	57.7	19.2
	4.5	9.8					6.50	10.75					
	4.0	9.5					4.50	9.75					
8	4.0	9.5	9.0	15	0.196	26.34	7.00	11.00	10.08	12.57	54.8	81.1	27.0
	3.8	9.4					4.50	9.75					
	1.0	8.0					4.00	9.50					
12	1.0	8.0	14.8	15	0.196	43.61	7.00	11.00	9.34	18.85	77.5	121.1	40.4
	1.0	8.0					4.00	9.50					
	42.0	28.5					0.02	7.51					
16	42.0	28.5	23.5	25	0.196	115.15	7.00	11.00	14.63	25.13	147.7	262.8	87.6
	32.0	23.5					3.75	9.38					
	22.0	18.5					32.00	23.50					
20	22.0	18.5	22.5	25	0.196	110.25	7.00	11.00	14.67	31.42	185.0	295.3	98.4
	32.0	23.5					4.00	9.50					
	36.0	25.5					32.00	23.50					
24	36.0	25.5	22.8	30	0.196	134.26	7.00	11.00	14.50	37.70	219.9	354.2	118.1
	31.0	23.0					4.00	9.50					
	25.0	20.0					31.00	23.00					
28	25.0	20.0	17.7	30	0.196	103.88	7.00	11.00	19.00	43.98	322.5	426.4	142.1
	20.0	17.5					42.00	28.50					
	16.0	15.5					20.00	17.50					

Keterangan :

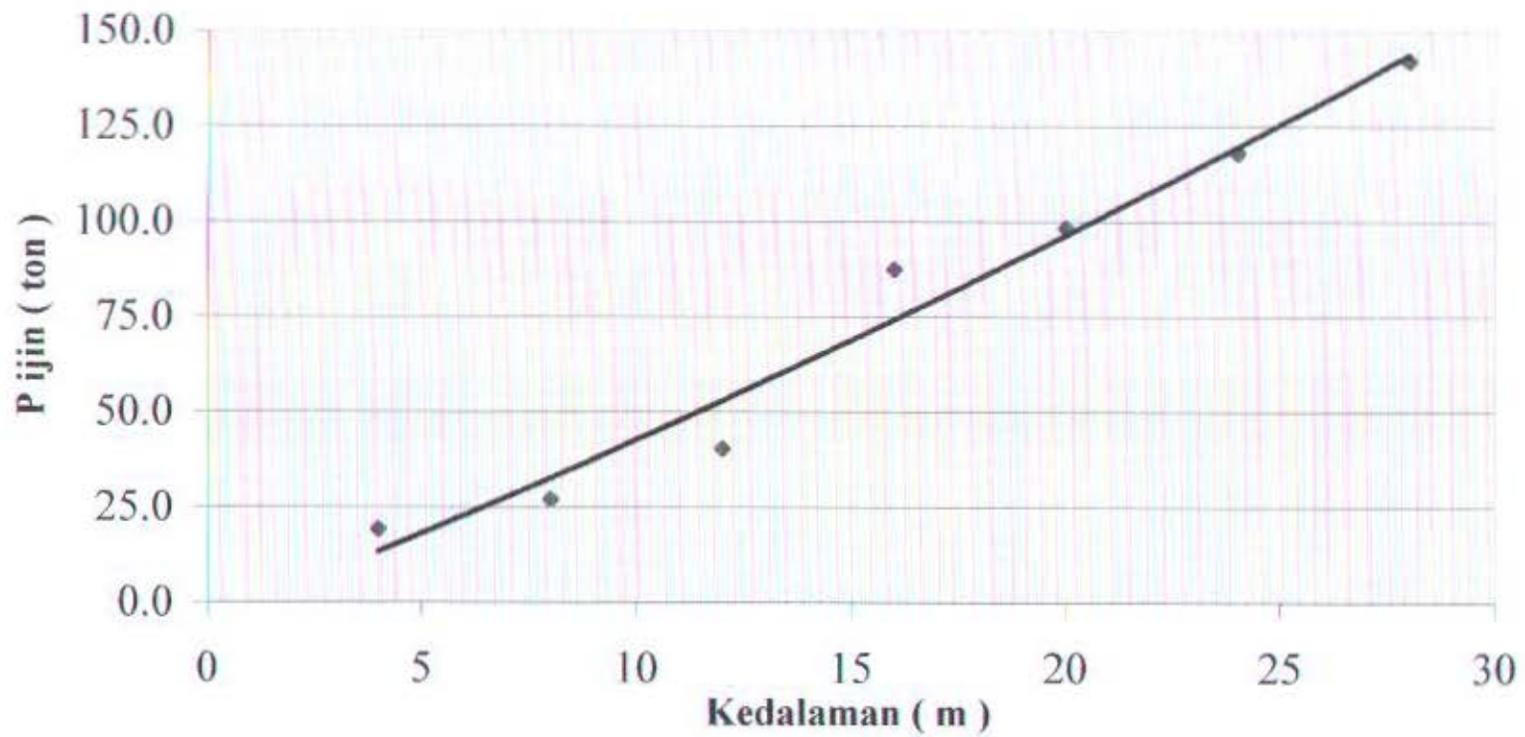
Harga N dibawah muka air tanah harus dikoreksi berdasarkan rumus :

$$N = 15 + 0.5( N' - 15 )$$

dimana :

N' = jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk dibawah muka air tanah

**Gambar 4.8 Hubungan Kedalaman H dengan P ijin**



Joint	Pu (t)	Mx (tm)	My (tm)	Hx (t)	Hy (t)	n (buah)	W poer (t)	ΣPu (t)	X max (m)	Y max (m)	Σx2	Σy2	P max (t)	eff	P (jin grup (t)	Ho (t)	L1 (m)	L2 (m)	Ho <sub>1/2</sub> (t)	Mu (tm)
187	245.9	64.1	47.1	14.1	21.1	9	21.6	267.5	1.00	1.00	1.00	1.00	48.3	0.677	65.3	2.8	0.70	1.55	5.6	2.7
188	156.1	54.1	49.9	15.9	18.1	9	21.6	177.7	1.00	1.00	1.00	1.00	37.1	0.677	65.3	2.7	0.70	1.53	5.3	2.5
189	242.2	44.6	51.0	15.0	15.2	9	21.6	263.8	1.00	1.00	1.00	1.00	45.2	0.677	65.3	2.4	0.69	1.51	4.7	2.2
195	317.5	61.2	43.0	12.5	18.1	9	21.6	339.1	1.00	1.00	1.00	1.00	55.0	0.677	65.3	2.4	0.69	1.52	4.9	2.3
196	140.4	52.8	48.0	15.7	14.3	9	21.6	162.0	1.00	1.00	1.00	1.00	34.8	0.677	65.3	2.4	0.69	1.51	4.7	2.2
197	344.3	41.8	48.0	13.5	12.3	9	21.6	365.9	1.00	1.00	1.00	1.00	55.6	0.677	65.3	2.0	0.67	1.48	4.1	1.9
181	316.1	61.1	43.0	12.5	19.2	9	21.6	337.7	1.00	1.00	1.00	1.00	54.9	0.677	65.3	2.5	0.69	1.52	5.1	2.4
182	140.1	52.7	48.0	15.7	17.2	9	21.6	161.7	1.00	1.00	1.00	1.00	34.7	0.677	65.3	2.6	0.69	1.53	5.2	2.4
183	343.6	41.7	48.0	13.5	13.4	9	21.6	365.2	1.00	1.00	1.00	1.00	55.5	0.677	65.3	2.1	0.68	1.49	4.2	2.0
190	211.5	64.1	45.9	13.4	19.0	9	21.6	233.1	1.00	1.00	1.00	1.00	44.2	0.677	65.3	2.6	0.69	1.53	5.2	2.4
191	142.3	54.2	50.9	16.5	15.5	9	21.6	163.9	1.00	1.00	1.00	1.00	35.7	0.677	65.3	2.5	0.69	1.52	5.0	2.4
198	240.0	44.7	51.0	15.0	12.3	9	21.6	261.6	1.00	1.00	1.00	1.00	45.0	0.677	65.3	2.2	0.68	1.49	4.3	2.0
199	109.5	12.1	15.9	5.9	4.6	5	15	124.5	0.75	0.75	0.75	0.75	34.2	0.688	66.3	1.5	0.65	1.44	3.0	1.4
205	98.9	12.2	15.2	5.7	4.9	5	15	113.9	0.75	0.75	0.75	0.75	31.9	0.688	66.3	1.5	0.65	1.44	3.0	1.4
206	108.8	12.1	15.9	5.9	3.7	5	15	123.8	0.75	0.75	0.75	0.75	34.1	0.688	66.3	1.4	0.65	1.43	2.8	1.3
207	98.9	12.2	15.2	5.7	2.8	5	15	113.9	0.75	0.75	0.75	0.75	31.9	0.688	66.3	1.3	0.65	1.42	2.5	1.2
177	93.6	19.7	15.5	5.4	7.3	2	4.8	98.4	0.50	0.00	0.50	0.00	64.7	0.785	75.7	4.5	0.76	1.68	9.0	4.4
178	99.4	16.1	16.4	5.9	5.8	2	4.8	104.2	0.50	0.00	0.50	0.00	68.5	0.785	75.7	4.2	0.75	1.65	8.3	4.1
179	85.4	13.4	16.9	5.9	5.0	2	4.8	90.2	0.50	0.00	0.50	0.00	62.1	0.785	75.7	3.9	0.74	1.63	7.7	3.7
180	66.1	11.3	15.5	5.4	4.0	2	4.8	70.9	0.50	0.00	0.50	0.00	50.9	0.785	75.7	3.4	0.72	1.59	6.7	3.2
184	93.0	12.7	15.7	5.4	4.9	2	4.8	97.8	0.50	0.00	0.50	0.00	64.6	0.785	75.7	3.6	0.73	1.61	7.2	3.5
185	43.8	10.0	13.0	4.2	3.6	2	4.8	48.6	0.50	0.00	0.50	0.00	37.3	0.785	75.7	2.8	0.70	1.54	5.5	2.6
186	27.4	8.4	12.1	3.1	3.0	2	4.8	32.2	0.50	0.00	0.50	0.00	28.2	0.785	75.7	2.2	0.68	1.49	4.3	2.0
194	61.7	9.7	13.5	2.6	3.8	2	4.8	66.5	0.50	0.00	0.50	0.00	46.7	0.785	75.7	2.3	0.68	1.50	4.6	2.2
202	61.7	9.7	13.5	2.6	2.8	2	4.8	66.5	0.50	0.00	0.50	0.00	46.7	0.785	75.7	1.9	0.67	1.47	3.8	1.8
203	43.9	10.0	13.0	4.2	3.3	2	4.8	48.7	0.50	0.00	0.50	0.00	37.3	0.785	75.7	2.7	0.70	1.53	5.4	2.5
204	27.4	8.4	12.1	3.1	2.8	2	4.8	32.2	0.50	0.00	0.50	0.00	28.2	0.785	75.7	2.1	0.68	1.49	4.2	2.0
208	93.5	12.7	15.7	5.3	3.9	2	4.8	98.3	0.500	0.000	0.500	0.000	64.9	0.79	75.7	3.3	0.72	1.58	6.6	3.2
209	91.3	19.7	15.5	5.4	6.7	2	4.8	96.1	0.500	0.000	0.500	0.000	63.5	0.79	75.7	4.3	0.76	1.66	8.6	4.2
210	98.7	16.0	16.4	6.0	5.6	2	4.8	103.5	0.500	0.000	0.500	0.000	68.2	0.79	75.7	4.1	0.75	1.65	8.2	4.0
211	85.4	13.5	17.0	5.9	4.4	2	4.8	90.2	0.500	0.000	0.500	0.000	62.1	0.79	75.7	3.7	0.73	1.61	7.3	3.5
212	66.3	11.3	15.5	5.3	3.8	2	4.8	71.1	0.500	0.000	0.500	0.000	51.0	0.79	75.7	3.3	0.72	1.58	6.5	3.1

Joint	Pu (t)	Dimensi Poer (m)	Kontrol Geser Pons		Mu (tm)	Mu (Nmm)	Rn	ρ pakai	As perlu	Dipasang	s (mm)
			φ Vc (N)	φ Vc (t)							
181	245.93	3 x 3 x 1	6.23E+06	622.79	163.32	1.63E+09	0.854	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
182	156.10	3 x 3 x 1	6.23E+06	622.79	198.81	1.99E+09	1.040	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
183	242.22	3 x 3 x 1	6.23E+06	622.79	163.70	1.64E+09	0.856	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
187	317.51	3 x 3 x 1	6.23E+06	622.79	162.35	1.62E+09	0.849	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
188	140.37	3 x 3 x 1	6.23E+06	622.79	197.46	1.97E+09	1.033	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
189	344.32	3 x 3 x 1	6.23E+06	622.79	163.00	1.63E+09	0.853	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
195	316.11	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	226.80	2.27E+09	1.186	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
196	140.06	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	181.18	1.81E+09	0.948	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
197	343.61	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	236.53	2.37E+09	1.237	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
205	211.53	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	96.56	9.66E+08	0.505	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
206	142.30	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	85.49	8.55E+08	0.447	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
207	239.95	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	97.02	9.70E+08	0.508	0.0036	9611.5	20 D-25	143.0
190	109.49	2.5 x 2.5 x 1	5.45E+06	544.57	66.97	6.70E+08	0.420	0.0036	8009.6	17 D-25	138.8
191	98.94	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	177.72	1.78E+09	1.116	0.0036	8009.6	17 D-25	138.8
198	108.75	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	132.73	1.33E+09	0.833	0.0036	8009.6	17 D-25	138.8
199	98.88	2.5 x 2.5 x 1	6.23E+06	622.79	179.26	1.79E+09	1.125	0.0036	8009.6	17 D-25	138.8
177	93.65	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	110.63	1.11E+09	1.736	0.0046	4118.2	10 D-25	186.0
178	99.41	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	114.92	1.15E+09	1.803	0.0048	4284.1	10 D-25	186.0
179	85.44	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	100.97	1.01E+09	1.584	0.0042	3746.2	10 D-25	186.0
180	66.08	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	84.92	8.49E+08	1.333	0.0036	3203.8	10 D-25	186.0
184	92.99	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	107.45	1.07E+09	1.686	0.0045	3995.5	10 D-25	186.0
185	43.85	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	56.24	5.62E+08	0.883	0.0036	3203.8	10 D-25	186.0
186	27.39	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	40.07	4.01E+08	0.629	0.0036	3203.8	10 D-25	186.0
194	61.69	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	70.09	7.01E+08	1.100	0.0036	3203.8	10 D-25	186.0
202	61.70	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	70.09	7.01E+08	1.100	0.0036	3203.8	10 D-25	186.0
203	43.89	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	56.27	5.63E+08	0.883	0.0036	3203.8	10 D-25	186.0
204	27.40	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	40.08	4.01E+08	0.629	0.0036	3203.8	10 D-25	186.0
208	93.53	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	107.39	1.07E+09	1.685	0.0045	3993.3	10 D-25	186.0
209	91.32	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	108.71	1.09E+09	1.706	0.0045	4044.0	10 D-25	186.0
210	98.73	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	114.37	1.14E+09	1.795	0.0048	4262.9	10 D-25	186.0
211	85.44	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	100.92	1.01E+09	1.584	0.0042	3744.3	10 D-25	186.0
212	66.27	2 x 1 x 1	5.45E+06	544.57	85.01	8.50E+08	1.334	0.0036	3203.8	10 D-25	186.0

245.93	24.59	2.46E+05	1.28	28.224	2.82E+05	1.02	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
156.10	15.61	1.56E+05	0.81	28.224	2.82E+05	0.65	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
242.22	24.22	2.42E+05	1.26	28.224	2.82E+05	1.01	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
317.51	31.75	3.18E+05	1.65	28.224	2.82E+05	1.32	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
140.37	14.04	1.40E+05	0.73	28.224	2.82E+05	0.58	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
344.32	34.43	3.44E+05	1.79	28.224	2.82E+05	1.43	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
316.11	31.61	3.16E+05	1.65	28.224	2.82E+05	1.32	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
140.06	14.01	1.40E+05	0.73	28.224	2.82E+05	0.58	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
343.61	34.36	3.44E+05	1.79	28.224	2.82E+05	1.43	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
211.53	21.15	2.12E+05	1.10	28.224	2.82E+05	0.88	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
142.30	14.23	1.42E+05	0.74	28.224	2.82E+05	0.59	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
239.95	24.00	2.40E+05	1.25	28.224	2.82E+05	1.00	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
109.49	10.95	1.09E+05	0.57	28.224	2.82E+05	0.46	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
98.94	9.89	9.89E+04	0.52	28.224	2.82E+05	0.41	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
108.75	10.88	1.09E+05	0.57	28.224	2.82E+05	0.45	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
98.88	9.89	9.89E+04	0.51	28.224	2.82E+05	0.41	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
93.65	9.36	9.36E+04	0.49	28.224	2.82E+05	0.39	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
99.41	9.94	9.94E+04	0.52	28.224	2.82E+05	0.41	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
85.44	8.54	8.54E+04	0.45	28.224	2.82E+05	0.36	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
66.08	6.61	6.61E+04	0.34	28.224	2.82E+05	0.28	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
92.99	9.30	9.30E+04	0.48	28.224	2.82E+05	0.39	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
43.85	4.38	4.38E+04	0.23	28.224	2.82E+05	0.18	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
27.39	2.74	2.74E+04	0.14	28.224	2.82E+05	0.11	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
61.69	6.17	6.17E+04	0.32	28.224	2.82E+05	0.26	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
61.70	6.17	6.17E+04	0.32	28.224	2.82E+05	0.26	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
43.89	4.39	4.39E+04	0.23	28.224	2.82E+05	0.18	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
27.40	2.74	2.74E+04	0.14	28.224	2.82E+05	0.11	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
93.53	9.35	9.35E+04	0.49	28.224	2.82E+05	0.39	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
91.32	9.13	9.13E+04	0.48	28.224	2.82E+05	0.38	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
98.73	9.87	9.87E+04	0.51	28.224	2.82E+05	0.41	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
85.44	8.54	8.54E+04	0.45	28.224	2.82E+05	0.36	0.002	0.010	2400.0	6 D-25
66.27	6.63	6.63E+04	0.35	28.224	2.82E+05	0.28	0.002	0.010	2400.0	6 D-25

**BAB V**

**KESIMPULAN DAN SARAN**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

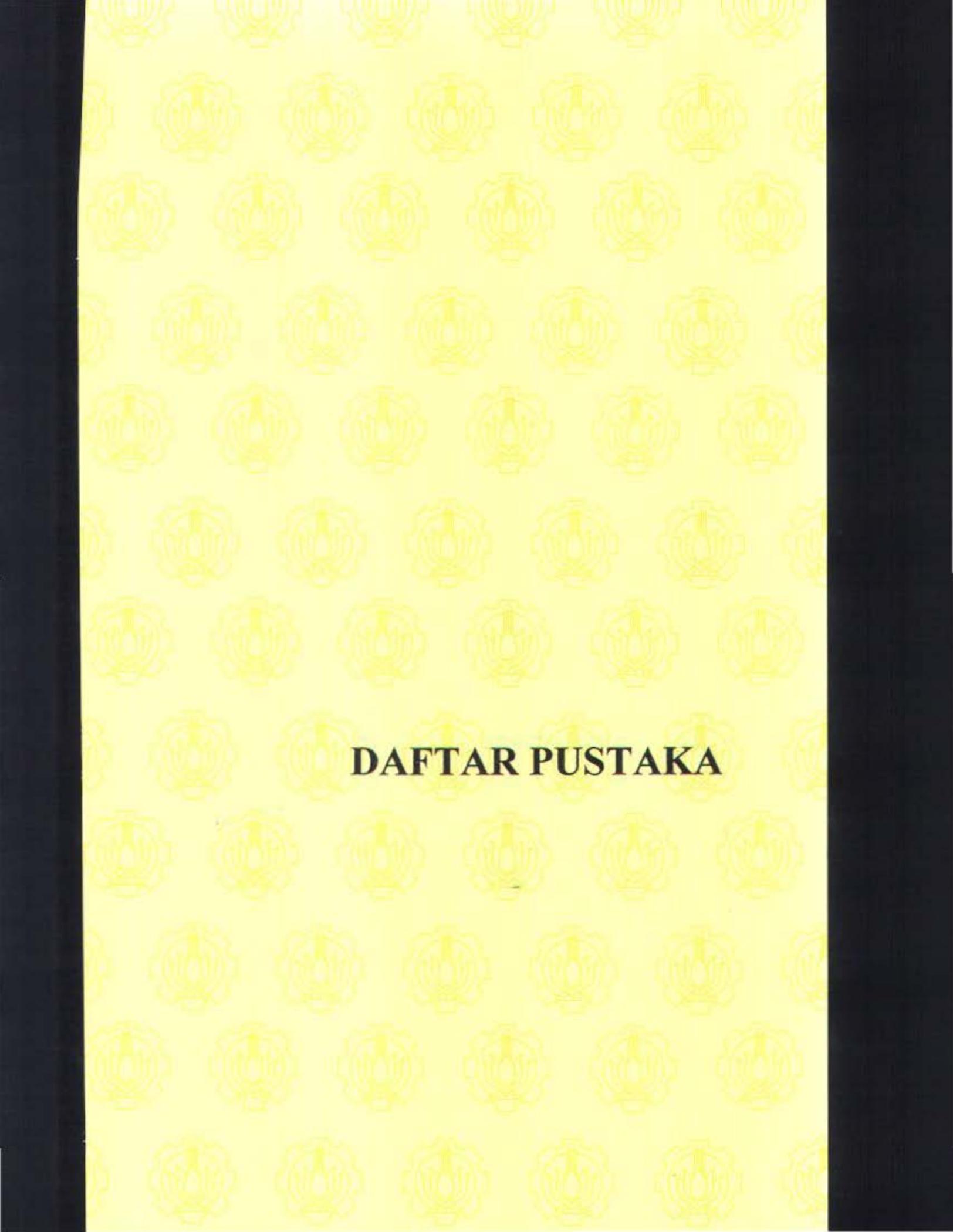
#### 1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1). Struktur balok pratekan telah direncanakan dengan kemampuan memikul beban-beban luar berdasarkan persyaratan-persyaratan yang telah ditentukan. Perencanaan didasarkan pada metode pelaksanaan di lapangan. Perencanaan dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan dan perilaku komponen struktur pada tahap *transfer* dan tahap *service*.
- 2). Kehilangan pratekan adalah faktor penting dalam perencanaan balok pratekan, karena dapat mengurangi kekuatan balok pratekan pada khususnya, dan dapat mengurangi kekuatan struktur secara keseluruhan. Kehilangan pratekan harus direncanakan dengan dengan batasan yang telah ditentukan.
- 3). Gaya pratekan mempengaruhi secara langsung beban yang dipikul oleh kolom. Pengaruh terbesar terdapat pada kolom terbawah yang memikul balok pratekan tersebut. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan penambahan jumlah tulangan lentur-aksial kolom secara gradual berdasarkan penambahan beban akibat gaya pratekan. Semakin ke bawah jumlah tulangan kolom semakin mengecil.
- 4). Struktur gedung - yang direncanakan dengan daktilitas 2 - secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan keamanan struktur, berdasarkan kekuatan dan deformasi yang timbul akibat beban yang bekerja pada struktur tersebut, termasuk didalamnya pengaruh gaya pratekan pada balok-balok pratekan.
- 5). Pendetailan-pendetailan komponen struktur dengan tingkat daktilitas 2 telah dituangkan dalam gambar.

## 2. Saran

- ). Perlu diperhatikan secara khusus tentang metode pelaksanaan pada struktur dengan balok-balok pratekan. Hal ini sangat berpengaruh pada analisa dan kekuatan struktur secara keseluruhan, karena pengaruh gaya pratekan cukup besar. Oleh karena itu komunikasi dan koordinasi yang tepat antara perencana, pelaksana, dan pengawas lapangan sangat diperlukan.
- ). Perlu dilakukan studi yang lebih mendalam untuk menghasilkan perencanaan struktur dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan estetika. Sehingga diharapkan perencanaan dapat dapat dilaksanakan mendekati kondisi sesungguhnya di lapangan.



**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

Daniel L. Schodek. 1980. **Structure**. New Jersey : Prentice Hall.

Departemen Pekerjaan Umum. 1987. **Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk Rumah dan Gedung**. Bandung : Yayasan Penerbit PU.

Departemen Pekerjaan Umum. 1991. **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung**. SKSNI T-15-1991-03. Bandung : Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan.

Dipohusodo, Istimawan. 1999. **Struktur Beton Bertulang**. Jakarta : Gramedia.

Michael P. Collins dan Dennis Mitchel. 1991. **Prestressed Concrete Structure**. New Jersey : Prentice Hall.

Kusuma, Gideon dan Andriyono, Takim. 1997. **Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa**. Jakarta : Erlangga.

Popov, E.P. 1991. **Mekanika Teknik**. Jakarta : Erlangga edisi ke-4.

Precast/Prestressed Concrete Institute. 1992. **PCI Design Handbook 4<sup>th</sup> edition**. Chicago, Illinois.

Preston, H. Kent, dan Norman J. Sollenberger. 1967. **Modern Prestressed Concrete**. United States of America : McGraw-Hill Inc.

Raju N, Krishna. 1989. **Beton Prategang**. Jakarta : Erlangga edisi ke-2.

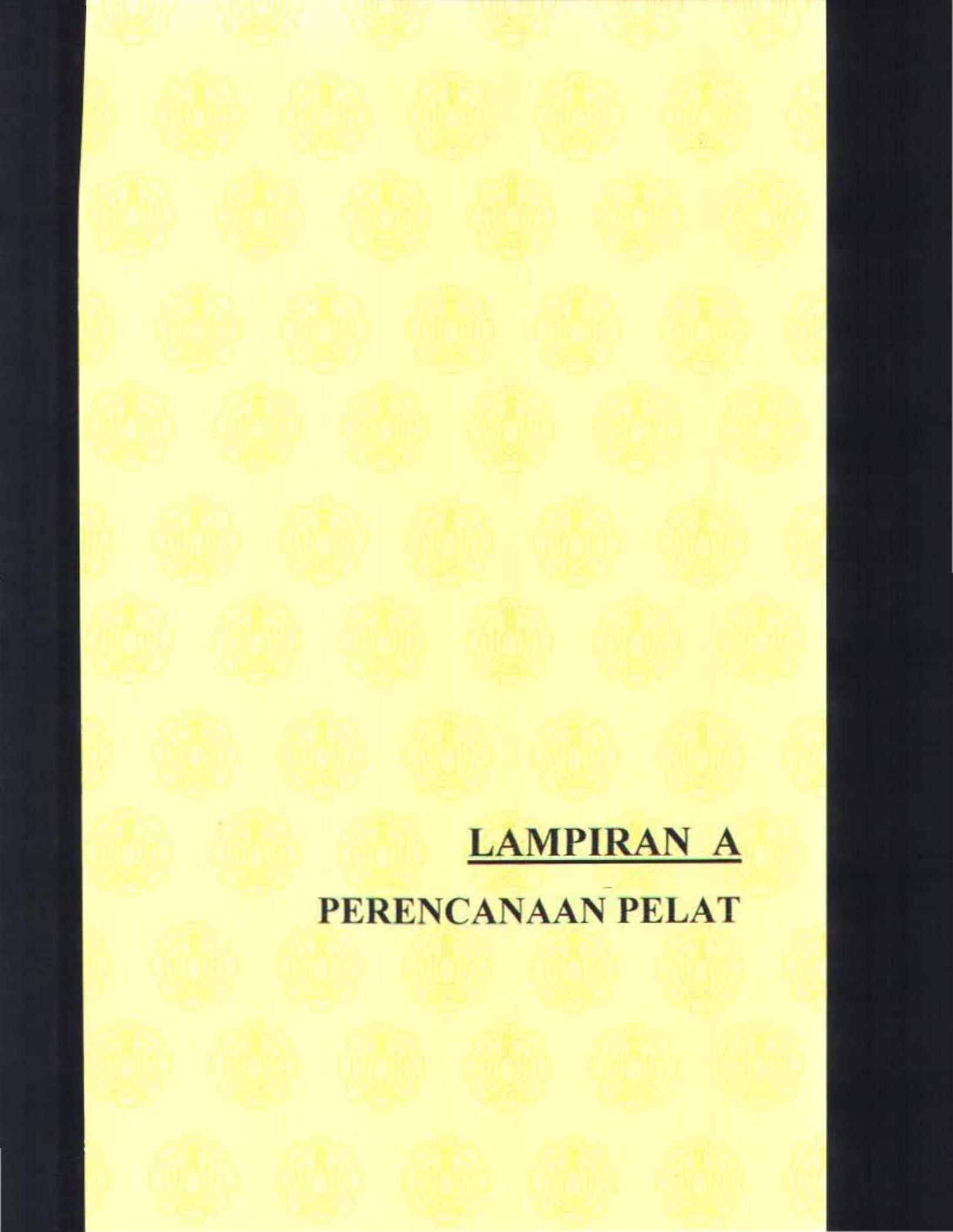
Subakti, Aman. 1993. **Gempa**. Surabaya : ITS.

T.Y. Lin dan H. Burns. 1993. **Desain Struktur Beton Prategang jilid I dan II**. Jakarta : Erlangga.

Vis, W.C dan Kusuma, Gideon. 1997. **Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang**. Jakarta : Erlangga.

Wang, C.K. dan Charles G, Salmon. 1990. **Desain Beton Bertulang**. Jakarta: Erlangga edisi ke-4.

Wigroho, Haryanto Yoso. 2001. **Analisa dan Perencanaan Struktur Frame menggunakan SAP 2000**. Yogyakarta : Penerbit Andi.



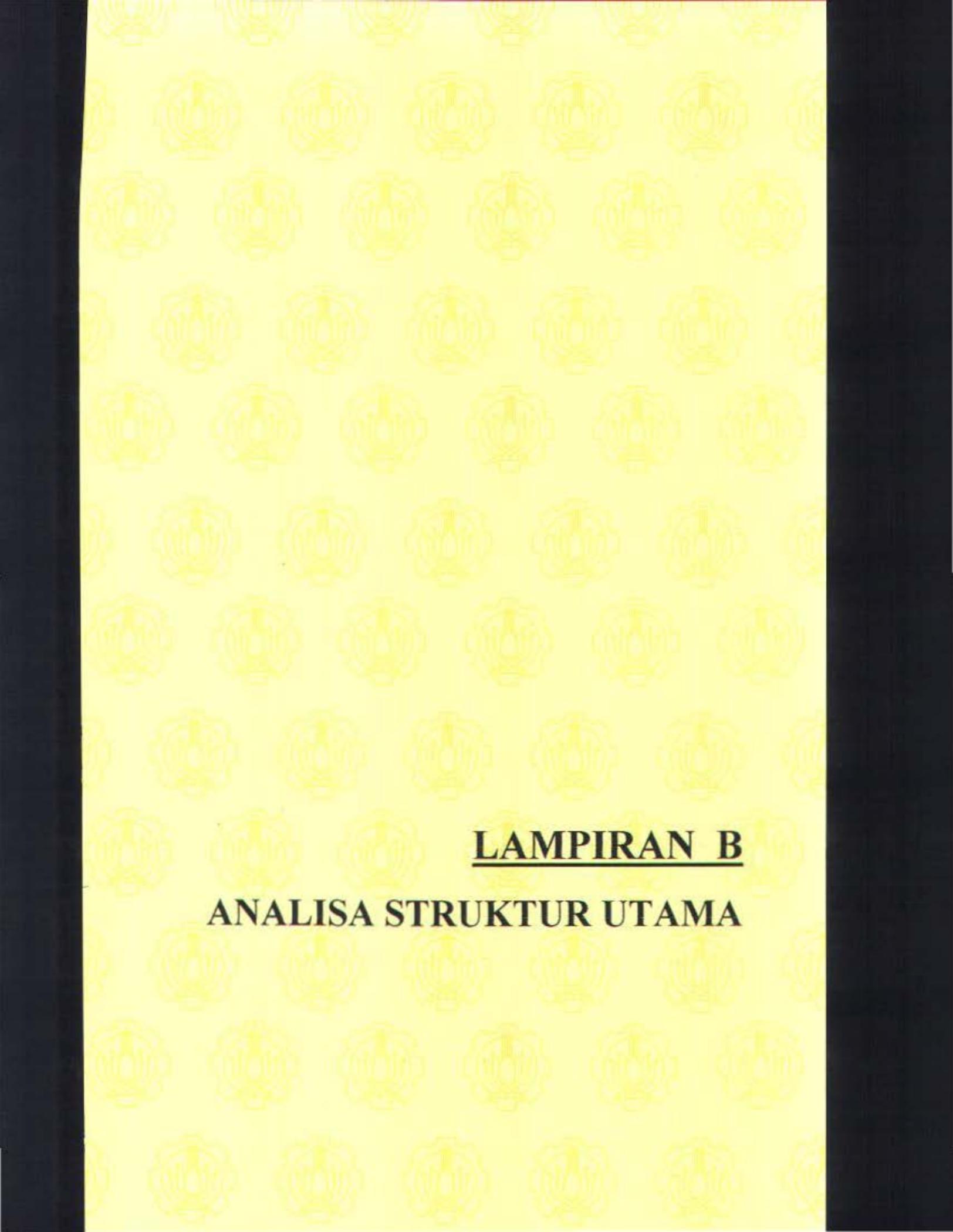
**LAMPIRAN A**

**PERENCANAAN PELAT**



**LUAS PENAMPANG TULANGAN BAJA PER METER PANJANG PLAT**

Parameter Ketebalan Plat (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )								
	Jarak Spasi p.k.p (mm)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
6	565,5	282,7	188,5	141,4	113,1	94,2	80,8	70,7	62,8
8	1005,3	502,7	335,1	251,3	201,1	167,6	143,6	125,7	111,7
9	1272,3	636,2	424,1	318,1	254,5	212,1	181,8	159,0	141,4
10	1570,8	785,4	523,6	392,7	314,2	261,8	224,4	196,3	174,5
12	2261,9	1131,0	754,0	565,5	452,4	377,0	323,1	282,7	251,3
13	2654,6	1327,3	884,9	663,7	530,9	442,4	379,2	331,8	294,9
14	3078,8	1539,4	1026,3	769,7	615,8	513,1	439,8	384,8	342,1
16	4021,2	2010,8	1340,4	1005,3	804,20	670,2	574,5	502,7	446,8
18	5089,4	2544,7	1696,5	1272,3	1017,9	848,2	727,1	636,2	565,5
19	5670,6	2835,3	1890,2	1417,6	1134,1	945,1	810,1	708,8	630,1
20	6283,2	3141,6	2094,4	1570,8	1256,6	1047,2	897,6	785,4	698,1
22		3801,3	2534,2	1900,7	1520,5	1267,1	1086,1	950,3	844,7
25		4908,7	3272,5	2454,4	1963,5	1636,2	1402,5	1227,2	1090,8
28		6157,5	4105,0	3078,8	2463,0	2052,5	1759,3	1539,4	1368,3
29		6605,2	4403,5	3302,6	2642,1	2201,7	1887,2	1651,3	1467,8
32		8042,5	5361,7	4021,2	3217,0	2680,8	2297,9	2010,6	1787,2
36			6785,8	5089,4	4071,5	3392,9	2908,2	2544,7	2261,9
40			8377,6	6283,2	5026,5	4188,8	3590,4	3141,6	2792,5
50			13090	9817,5	7854,0	6545,0	5609,9	4908,7	4363,3



**LAMPIRAN B**

**ANALISA STRUKTUR UTAMA**

Tabel B-1 Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai 8 (Atap)

Jenis Beban	W ( kg )	x ( m )	y ( m )	W.x ( kg.m )	W.y ( kg.m )	
Pelat (10 cm)	=14*22*0.1*2400	73920	7	11	517440	813120
Spesi (2 cm)	=14*22*2*21	12936	7	11	90552	142296
Plaf + Penggantung	=14*22*(7+11)	5544	7	11	38808	60984
Aspal (1 cm)	=14*22*0.01*1400	4312	7	11	30184	47432
Peralatan M & E	=14*22*40	12320	7	11	86240	135520
Beban hidup	=0.3*14*22*120	11088	7	11	77616	121968
Balok D	=22*0.4*0.7*2400	14784	14	11	206976	162624
Balok H	=22*0.4*0.7*2400	14784	0	11	0	162624
Balok 2	=14*0.4*0.7*2400	9408	7	0	65856	0
Balok 4	=14*0.4*0.7*2400	9408	7	7	65856	65856
Balok 6	=14*0.4*0.7*2400	9408	7	15	65856	141120
Balok 8	=14*0.4*0.7*2400	9408	7	22	65856	206976
Balok anak 200/300	=14*0.2*0.3*2400	2016	7	3.5	14112	7056
Balok anak 200/300	=14*0.2*0.3*2400	2016	7	11	14112	22176
Balok anak 200/300	=14*0.2*0.3*2400	2016	7	18.5	14112	37296
Balok anak 300/500	=22*0.3*0.5*2400	7920	3.5	11	27720	87120
Balok anak 300/500	=22*0.3*0.5*2400	7920	7	11	55440	87120
Balok anak 300/500	=22*0.3*0.5*2400	7920	10.5	11	83160	87120
		217128			1519896	2388408

$$x = \Sigma(W.x) / \Sigma W = 7.0 \text{ m}$$

$$y = \Sigma(W.y) / \Sigma W = 11.0 \text{ m}$$

Tabel B-2 Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai 7

Jenis Beban	W ( kg )	x ( m )	y ( m )	W.x ( kg.m )	W.y ( kg.m )	
Beban lantai 8	217128	7	11	1519896	2388408	
Pelat (12 cm)	=14*22*0.12*2400	88704	7	11	620928	975744
Spesi (2 cm)	=14*22*2*21	12936	7	11	90552	142296
Plaf + Penggantung	=14*22*(7+11)	5544	7	11	38808	60984
Tegel (1 cm)	=14*22*24	7392	7	11	51744	81312
Peralatan M & E	=14*22*40	12320	7	11	86240	135520
Beban hidup	=0.3*14*22*250	23100	7	11	161700	254100
Balok D	=22*0.4*0.7*2400	14784	14	11	206976	162624
Balok H	=22*0.4*0.7*2400	14784	0	11	0	162624
Balok 2	=14*0.4*0.7*2400	9408	7	0	65856	0
Balok 4	=14*0.4*0.7*2400	9408	7	7	65856	65856
Balok 6	=14*0.4*0.7*2400	9408	7	15	65856	141120
Balok 8	=14*0.4*0.7*2400	9408	7	22	65856	206976
Balok anak 200/300	=14*0.2*0.3*2400	2016	7	3.5	14112	7056
Balok anak 200/300	=7*0.2*0.3*2400	2016	10.5	11	21168	22176
Balok anak 200/300	=14*0.2*0.3*2400	2016	7	18.5	14112	37296
Balok anak 300/500	=7*0.3*0.5*2400	2520	3.5	3.5	8820	8820
Balok anak 300/500	=8*0.3*0.5*2400	2880	3	11	8640	31680
Balok anak 300/500	=3.5*0.3*0.5*2400	1260	3.5	16.75	4410	21105
Balok anak 300/500	=3.5*0.3*0.5*2400	1260	6	20.25	7560	25515
Balok anak 300/500	=22*0.3*0.5*2400	7920	7	11	55440	87120
Balok anak 300/500	=22*0.3*0.5*2400	7920	10.5	11	83160	87120
Dinding lift	=12*0.3*0.5*4*2400	17280	5	11	86400	190080
Kolom D2	=4*0.7*0.7*2400	4704	14	0	65856	0
Kolom D4	=4*0.7*0.7*2400	4704	14	7	65856	32928
Kolom D6	=4*0.7*0.7*2400	4704	14	15	65856	70560
Kolom D8	=4*0.7*0.7*2400	4704	14	22	65856	103488
Kolom H2	=4*0.7*0.7*2400	4704	0	0	0	0
Kolom H4	=4*0.7*0.7*2400	4704	0	7	0	32928
Kolom H6	=4*0.7*0.7*2400	4704	0	15	0	70560
Kolom H8	=4*0.7*0.7*2400	4704	0	22	0	103488
		519044			3607514	5709484

$$x = \Sigma(W.x) / \Sigma W = 7.0 \text{ m}$$

$$y = \Sigma(W.y) / \Sigma W = 11.0 \text{ m}$$

Tabel B-5 Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai 3

Jenis Beban	W (kg)	x (m)	y (m)	Wx (kgm)	Wy (kgm)	
Beban lantai 5-8	1122876	7	14,5	7860132	16281702	
Pelat I (12 cm)	17,5*29*0,12*2400	146160	8,75	14,5	1278900	2119320
Pelat II (12 cm)	2,75*8*0,12*2400	6336	22,875	14,5	144936	91872
Spesi I (2 cm)	17,5*29*0,02*2400	21315	8,75	14,5	186506,3	308067,5
Spesi II (2 cm)	2,75*8*0,02*2400	924	22,875	14,5	21136,5	13398
Plaf - Penggantung	17,5*29*(7-11)	9135	8,75	14,5	79931,25	132457,5
Tegel I (1 cm)	17,5*29*0,01*2400	12180	8,75	14,5	106575	176610
Tegel II (1 cm)	2,75*8*0,01*2400	528	22,875	14,5	12078	7656
Peralatan M & E	17,5*29*40	20300	8,75	14,5	177625	294350
Beban hidup I	0,3*17,5*29*250	38062,5	8,75	14,5	33046,9	551906,3
Beban hidup II	0,3*2,75*8*250	1650	22,875	14,5	37743,75	23925
Balok A'	8*0,4*0,7*2400	5376	24,25	14,5	130368	77952
Balok B	8*0,4*0,7*2400	5376	21,5	14,5	115584	77952
Balok C	29*0,4*0,7*2400	19488	17,5	14,5	341040	282576
Balok D	29*0,4*0,7*2400	19488	14	14,5	272832	282576
Balok E	29*0,4*0,7*2400	19488	7	14,5	136416	282576
Balok H	29*0,4*0,7*2400	19488	0	14,5	0	282576
Balok 1	17,5*0,3*0,5*2400	6300	8,75	0	55125	0
Balok 2	17,5*0,4*0,7*2400	11760	8,75	3,5	102900	41160
Balok 4	24,25*0,4*0,7*2400	16296	12,125	10,5	197589	171108
Balok 6	24,25*0,4*0,7*2400	16296	12,125	18,5	197589	301476
Balok 8	17,5*0,4*0,7*2400	11760	8,75	25,5	102900	299880
Balok 9	17,5*0,3*0,5*2400	6300	8,75	29	55125	182700
Balok anak 300/500	17,5*0,3*0,5*2400	6300	8,75	7	55125	44100
Balok anak 300/500	7*0,3*0,5*2400	2520	10,5	14,5	26460	36540
Balok anak 300/500	3,5*0,3*0,5*2400	1260	15,75	12,5	19845	15750
Balok anak 300/500	3,5*0,3*0,5*2400	1260	15,75	16,5	19845	20790
Balok anak 300/500	17,5*0,3*0,5*2400	6300	8,75	22	55125	138600
Balok anak 300/500	10,5*0,3*0,5*2400	3780	3,5	5,25	13230	19845
Balok anak 300/500	8*0,3*0,5*2400	2880	3	14,5	8640	41760
Balok anak 300/500	3,5*0,3*0,5*2400	1260	3,5	20,25	4410	25515
Balok anak 300/500	3,5*0,3*0,5*2400	1260	6	23,75	7560	29925
Balok anak 300/500	3,5*0,3*0,5*2400	1260	3,5	27,25	4410	34335
Balok anak 300/500	29*0,3*0,5*2400	10440	10,5	14,5	109620	151380
Dinding lift	12*0,3*0,5*4*2400	17280	5	14,5	86400	250560
Kolom A4	4*0,5*0,5*2400	2400	24,25	10,5	58200	25200
Kolom A6	4*0,5*0,5*2400	2400	24,25	18,5	58200	44400
Kolom B4	4*0,5*0,5*2400	2400	21,5	10,5	51600	25200
Kolom B6	4*0,5*0,5*2400	2400	21,5	18,5	51600	44400
Kolom C1	4*0,5*0,5*2400	2400	17,5	0	42000	0
Kolom C2	4*0,5*0,5*2400	2400	17,5	3,5	42000	8400
Kolom C4	4*0,5*0,5*2400	2400	17,5	10,5	42000	25200
Kolom C6	4*0,5*0,5*2400	2400	17,5	18,5	42000	44400
Kolom C8	4*0,5*0,5*2400	2400	17,5	25,5	42000	61200
Kolom C9	4*0,5*0,5*2400	2400	17,5	29	42000	69600
Kolom D1	4*0,5*0,5*2400	2400	14	0	33600	0
Kolom D2	4*0,7*0,7*2400	4704	14	3,5	65856	16464
Kolom D4	4*0,7*0,7*2400	4704	14	10,5	65856	49392
Kolom D6	4*0,7*0,7*2400	4704	14	18,5	65856	87024
Kolom D8	4*0,7*0,7*2400	4704	14	25,5	65856	119952
Kolom D9	4*0,5*0,5*2400	2400	14	29	33600	69600
Kolom F1	4*0,5*0,5*2400	2400	7	0	16800	0
Kolom F2	4*0,7*0,7*2400	4704	7	3,5	32928	16464
Kolom F4	4*0,7*0,7*2400	4704	7	10,5	32928	49392
Kolom F6	4*0,7*0,7*2400	4704	7	18,5	32928	87024
Kolom F8	4*0,7*0,7*2400	4704	7	25,5	32928	119952
Kolom F9	4*0,5*0,5*2400	2400	7	29	16800	69600
Kolom H1	4*0,5*0,5*2400	2400	0	0	0	0
Kolom H2	4*0,7*0,7*2400	4704	0	3,5	0	16464
Kolom H4	4*0,7*0,7*2400	4704	0	10,5	0	49392
Kolom H6	4*0,7*0,7*2400	4704	0	18,5	0	87024
Kolom H8	4*0,7*0,7*2400	4704	0	25,5	0	119952
Kolom H9	4*0,5*0,5*2400	2400	0	29	0	69600
	1687531			13324285	24469192	

$$x = \frac{\sum(Wx)}{\sum W} = 7,9 \quad m$$

$$y = \frac{\sum(Wy)}{\sum W} = 14,5 \quad m$$

Tabel B-6 Perhitungan Lokasi Pusat Massa di Lantai 3

Jenis Beban	W (kg)	X (m)	Y (m)	W.x (kgm)	W.y (kgm)
Beban lantai 4-8	1687531	7,9	14,5	13324285	24469192
Plaf I (12 cm)	-17,5*29*0,12*2400	146160	8,75	1278900	2119320
Plaf II (12 cm)	-9,5*15*0,12*2400	41040	22,25	913140	595080
Spesi I (2 cm)	-17,5*29*2*21	21315	8,75	186506,25	309067,5
Spesi II (2 cm)	-9,5*15*2*21	5985	22,25	133166,25	86782,5
Plaf - Punggungan I	17,5*29*(7-11)	9135	8,75	79931,25	132457,5
Plaf - Punggungan II	9,5*15*(7-11)	2565	22,25	57071,25	37192,5
Tegel I (1 cm)	-17,5*29*24	12180	8,75	106575	176610
Tegel II (1 cm)	-9,5*15*24	3420	22,25	76095	49590
Peralatan M & E I	-17,5*29*40	20300	8,75	177625	294350
Peralatan M & E II	-9,5*15*40	5700	22,25	126825	82650
Beban hidup I	-0,3*17,5*29*250	38062,5	8,75	333046,88	551906,25
Beban hidup II	-0,3*9,5*15*250	10687,5	22,25	237796,88	154968,75
Balok A	-15*0,4*0,7*2400	10080	27	272160	146160
Balok B	-15*0,4*0,7*2400	10080	21,5	216720	146160
Balok C	-29*0,4*0,7*2400	19488	17,5	341040	282576
Balok D	-29*0,4*0,7*2400	19488	14	272832	282576
Balok E	-29*0,4*0,7*2400	19488	7	136416	282576
Balok H	-29*0,4*0,7*2400	19488	0	0	282576
Balok 1	-17,5*0,3*0,5*2400	6300	8,75	55125	0
Balok 2	-17,5*0,4*0,7*2400	11760	8,75	102900	41160
Balok 3	-9,5*0,3*0,5*2400	3420	22,25	76095	23940
Balok 4	-27*0,4*0,7*2400	18144	13,5	244944	190512
Balok 6	-27*0,4*0,7*2400	18144	13,5	244944	335664
Balok 7	-9,5*0,3*0,5*2400	3420	22,25	76095	75240
Balok 8	-17,5*0,4*0,7*2400	11760	8,75	102900	299880
Balok 9	-17,5*0,3*0,5*2400	6300	8,75	55125	182700
Balok anak 300-500	-17,5*0,3*0,5*2400	6300	8,75	55125	44100
Balok anak 300-500	-20*0,3*0,5*2400	7200	17	122400	104400
Balok anak 300-500	-17,5*0,3*0,5*2400	6300	8,75	55125	138600
Balok anak 300-500	-10,5*0,3*0,5*2400	3780	3,5	13230	19845
Balok anak 300-500	-8*0,3*0,5*2400	2880	3	8640	41760
Balok anak 300-500	-3,5*0,3*0,5*2400	1260	3,5	4410	25515
Balok anak 300-500	-3,5*0,3*0,5*2400	1260	6	7560	29925
Balok anak 300-500	-3,5*0,3*0,5*2400	1260	3,5	4410	34335
Balok anak 300-500	-29*0,3*0,5*2400	10440	10,5	109620	151380
Balok anak 300-500	-15*0,3*0,5*2400	5400	24,25	130950	78300
Dinding lif	-12*0,3*0,5*4*2400	17280	5	86400	250560
Kolom A3	-4*0,5*0,5*2400	2400	27	64800	16800
Kolom A4	-4*0,5*0,5*2400	2400	27	64800	25200
Kolom A6	-4*0,5*0,5*2400	2400	27	64800	44400
Kolom A7	-4*0,5*0,5*2400	2400	27	64800	52800
Kolom B3	-4*0,5*0,5*2400	2400	21,5	51600	16800
Kolom B4	-4*0,5*0,5*2400	2400	21,5	51600	25200
Kolom B6	-4*0,5*0,5*2400	2400	21,5	51600	44400
Kolom B7	-4*0,5*0,5*2400	2400	21,5	51600	52800
Kolom C1	-4*0,5*0,5*2400	2400	10,5	25200	0
Kolom C2	-4*0,5*0,5*2400	2400	10,5	25200	8400
Kolom C4	-4*0,5*0,5*2400	2400	10,5	25200	25200
Kolom C6	-4*0,5*0,5*2400	2400	10,5	25200	44400
Kolom C8	-4*0,5*0,5*2400	2400	10,5	25200	61200
Kolom C9	-4*0,5*0,5*2400	2400	10,5	25200	69600
Kolom D1	-4*0,5*0,5*2400	2400	14	33600	0
Kolom D2	-4*0,7*0,7*2400	4704	14	65856	16464
Kolom D4	-4*0,7*0,7*2400	4704	14	65856	49392
Kolom D6	-4*0,7*0,7*2400	4704	14	65856	87024
Kolom D8	-4*0,7*0,7*2400	4704	14	65856	119952
Kolom D9	-4*0,5*0,5*2400	2400	14	33600	69600
Kolom F1	-4*0,5*0,5*2400	2400	7	16800	0
Kolom F2	-4*0,7*0,7*2400	4704	7	32928	16464
Kolom F4	-4*0,7*0,7*2400	4704	7	32928	49392
Kolom F6	-4*0,7*0,7*2400	4704	7	32928	87024
Kolom F8	-4*0,7*0,7*2400	4704	7	32928	119952
Kolom I9	-4*0,5*0,5*2400	2400	7	16800	69600
Kolom I11	-4*0,5*0,5*2400	2400	3,5	8400	0
Kolom I12	-4*0,7*0,7*2400	4704	3,5	16464	16464
Kolom H4	-4*0,7*0,7*2400	4704	3,5	16464	49392
Kolom H6	-4*0,7*0,7*2400	4704	3,5	16464	87024
Kolom H8	-4*0,7*0,7*2400	4704	3,5	16464	119952
Kolom I19	-4*0,5*0,5*2400	2400	3,5	8400	69600
	2149249			21021521	34064103

$$x = \sum(W_i X_i) / \sum W_i =$$

$$8,9 \text{ m}$$

$$y = \sum(W_i Y_i) / \sum W_i =$$

$$14,5 \text{ m}$$

Tabel B-7. Perhitungan Lokasi Pusat Massa di Lantai 2

Jenis Beban	W (kg)	x (m)	y (m)	Wx (kgm)	Wy (kgm)
Beban lantai 3-8	2349249	8,9	14,5	21021521,4	34064103,25
Pelat I (12 cm)	146160	8,75	14,5	1278900	2119320
Pelat II (12 cm)	41040	22,25	14,5	913140	595080
Spesi I (2 cm)	21315	8,75	14,5	186506,25	309067,5
Spesi II (2 cm)	5985	22,25	14,5	133166,25	86782,5
Plaf - Penggantung I	9135	8,75	14,5	79931,25	132457,5
Plaf - Penggantung II	2565	22,25	14,5	57071,25	37192,5
Tegel I (1 cm)	12180	8,75	14,5	106575	176610
Tegel II (1 cm)	3420	22,25	14,5	76095	49590
Perawatan M & I I	20360	8,75	14,5	177625	294350
Perawatan M & I II	5700	22,25	14,5	128825	82650
Beban hidup I	38062,5	8,75	14,5	333046,875	551906,25
Beban hidup II	10687,5	22,25	14,5	237796,875	154968,75
Balok A	10080	27	14,5	272160	146160
Balok B	10080	21,5	14,5	216720	146160
Balok C	19488	17,5	14,5	341040	282576
Balok D	19488	14	14,5	272832	282576
Balok E	19488	7	14,5	136416	282576
Balok H	19488	0	14,5	0	282576
Balok I	6300	8,75	0	55125	0
Balok 2	11760	8,75	3,5	102900	41160
Balok 3	3420	22,25	7	76095	23940
Balok 4	18144	13,5	10,5	244944	190512
Balok 6	18144	13,5	18,5	244944	335664
Balok 7	3420	22,25	22	76095	75240
Balok 8	11760	8,75	25,5	102900	299880
Balok 9	6300	8,75	29	55125	182700
Balok anak 300/500	6300	8,75	7	55125	44100
Balok anak 300/500	4680	20,5	14,5	95940	67860
Balok anak 300/500	6300	8,75	22	55125	138600
Balok anak 300/500	3780	3,5	5,25	13230	19845
Balok anak 300/500	2880	3	14,5	8640	41760
Balok anak 300/500	1260	3,5	20,25	4410	25515
Balok anak 300/500	1260	6	23,75	7560	29925
Balok anak 300/500	1260	3,5	27,25	4410	34335
Balok anak 300/500	3780	10,5	5,25	39690	19845
Balok anak 300/500	3780	10,5	23,75	39690	89775
Balok anak 300/500	5400	24,25	14,5	130950	78300
Dinding lift	17280	5	14,5	86400	250560
Kolom A3	2400	27	7	64800	16800
Kolom A4	2400	27	10,5	64800	25200
Kolom A6	2400	27	18,5	64800	44400
Kolom A7	2400	27	22	64800	52800
Kolom B3	2400	21,5	7	51600	16800
Kolom B4	2400	21,5	10,5	51600	25200
Kolom B6	2400	21,5	18,5	51600	44400
Kolom B7	2400	21,5	22	51600	52800
Kolom C1	2400	10,5	0	25200	0
Kolom C2	2400	10,5	3,5	25200	8400
Kolom C4	2400	10,5	10,5	25200	25200
Kolom C6	2400	10,5	18,5	25200	44400
Kolom C8	2400	10,5	25,5	25200	61200
Kolom C9	2400	10,5	29	25200	69600
Kolom D1	2400	14	0	33600	0
Kolom D2	4704	14	3,5	65856	16464
Kolom D4	4704	14	10,5	65856	49392
Kolom D6	4704	14	18,5	65856	87024
Kolom D8	4704	14	25,5	65856	119952
Kolom D9	2400	14	29	33600	69600
Kolom F1	2400	7	0	16800	0
Kolom F2	4704	7	3,5	32928	16464
Kolom F4	4704	7	10,5	32928	49392
Kolom F6	4704	7	18,5	32928	87024
Kolom F8	4704	7	25,5	32928	119952
Kolom F9	2400	7	29	16800	69600
Kolom H1	2400	3,5	0	8400	0
Kolom H2	4704	3,5	3,5	16464	16464
Kolom H4	4704	3,5	10,5	16464	49392
Kolom H6	4704	3,5	18,5	16464	87024
Kolom H8	4704	3,5	25,5	16464	119952
Kolom H9	2400	3,5	29	8400	69600
	3005567			28662058,1	43580714,25

$$\bar{x} = \sum(Wx) / \sum W =$$

9,5

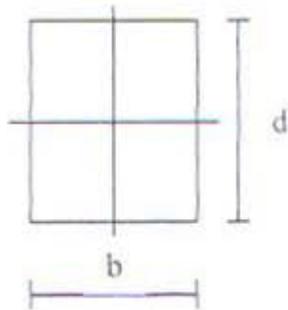
m

$$\bar{y} = \sum(Wy) / \sum W =$$

14,5

m

tooth perhitungan Momen Massa Inersia ( MMI ) :



untuk penampang dengan bentuk seperti diatas :

$$MMI_{cm} = \frac{M(b^2 + d^2)}{12} ; \quad \text{dengan : } M = \frac{W}{g}$$

mana :

$MMI_{cm}$  = momen Inersia Massa pada pusat massa (*center of mass*)

M = massa struktur

W = berat struktur

g = percepatan gravitasi = 9.81 m/dt<sup>2</sup>.

untuk lantai 8 ( atap ) :

$$M = 22133 \text{ kg}$$

$$b = 14 \text{ m} ; \quad d = 22 \text{ m}$$

$$MMI_{cm} = \frac{22133 \cdot (14^2 + 22^2)}{12} = 1254222 \text{ kgdt}^2 \text{ m}^2 / \text{m}$$

**Tabel B-8** Momen Inersia Massa tiap Lantai

Lantai	M ( kg )	b ( m )	d ( m )	MMI (kgdt <sup>2</sup> m <sup>2</sup> /m)
Atap	22133	14	22	1254222
7	30776	14	22	1743993
6	30776	14	22	1743993
5	30776	14	22	1743993
4	57559	17.5	29	5502892
3	67453	22	29	7447981
2	66903	22	29	7387201

### Perhitungan Gaya Geser Dasar Gempa dengan Analisa Statik Ekuivalen

Kriteria gedung PT. PELNI :

$$H = 29 \text{ m}$$

$$W_t = 3005567 \text{ kg}$$

Wilayah gempa : Zone 4  
: tanah lunak

Waktu getar alami struktur :

$$T = 0.085H^{0.75} = 0.085 \times 29^{0.75} = 1.06 \text{ det}$$

Dari gambar 2.3 PPKGURG 1987 :

$$T = 1.06 \text{ detik} \rightarrow C = 0.05$$

Dari tabel 2.1 PPKGURG 1987 :

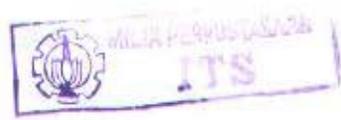
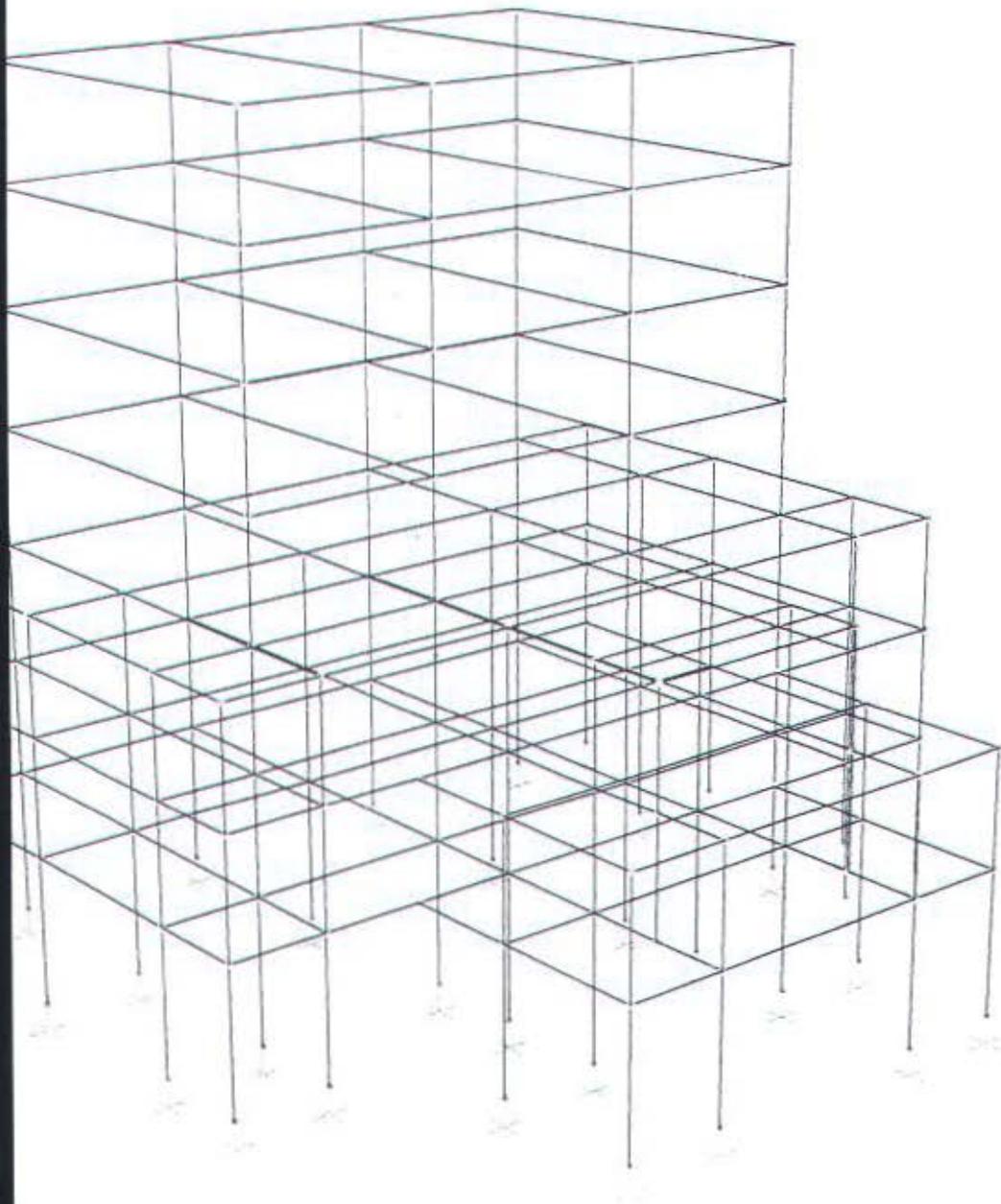
$$I = 1.0 \rightarrow \text{gedung lain ( perkantoran )}$$

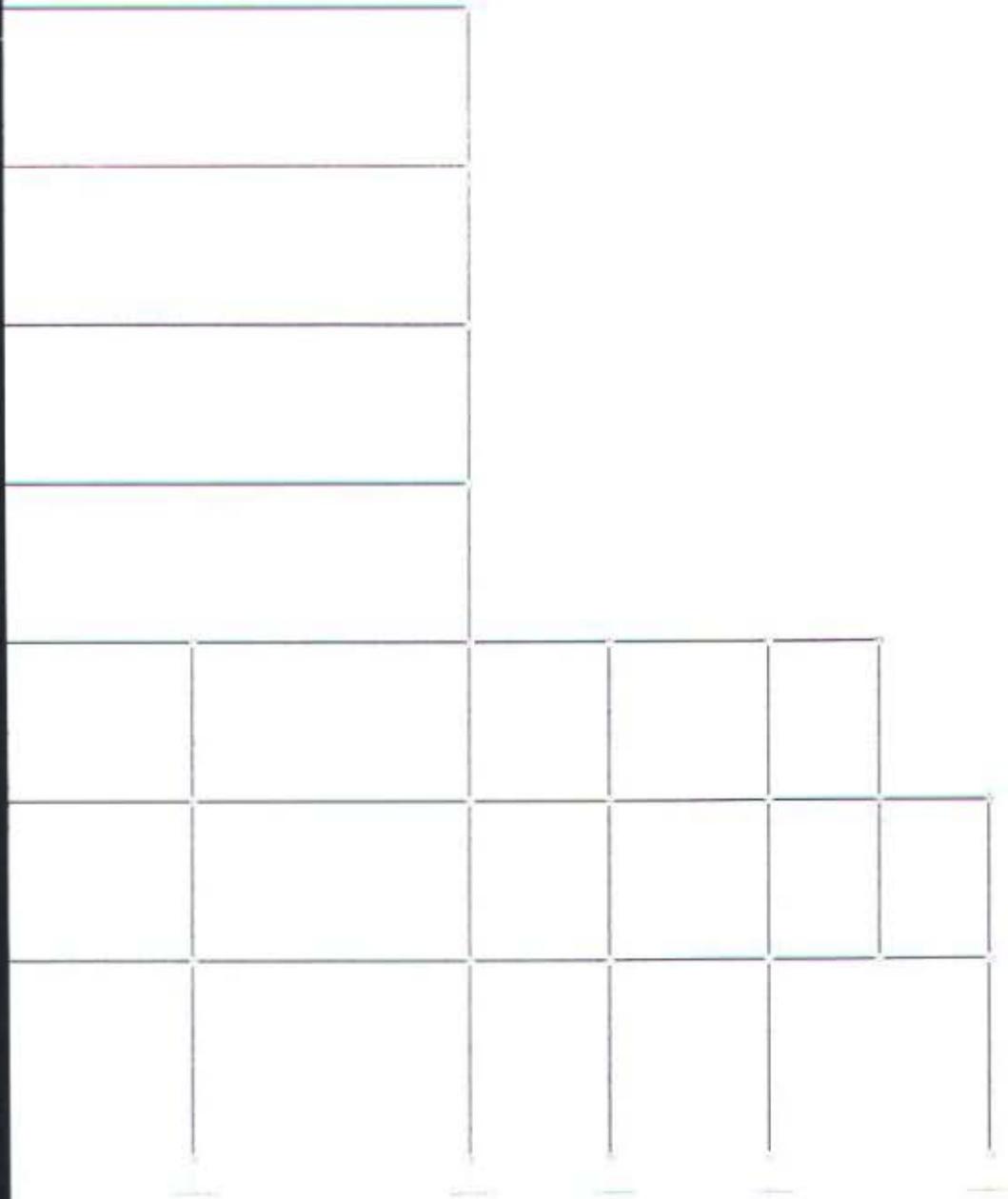
Dari tabel 2.2 PPKGURG 1987 :

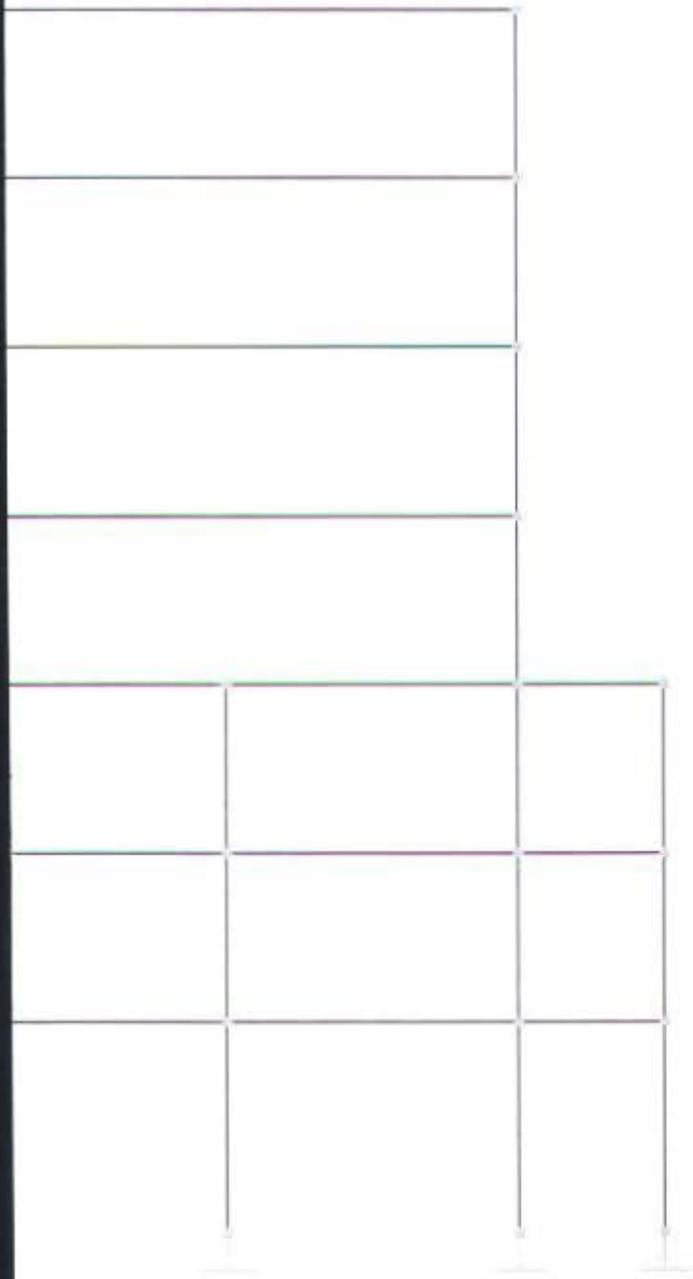
$$K = 1.0 \rightarrow \text{portal daktail beton bertulang}$$

Gaya geser dasar gempa :

$$\begin{aligned} V &= C I K W_t \\ &= 0.05 \times 1.0 \times 1.0 \times 3005567 = 150278.35 \text{ kg} \end{aligned}$$









File: PELNI N-mm Units PAGE 1  
02:38

## LOAD CASES

CASE TYPE	SELF WT FACTOR
DEAD	1.0000
LIVE	0.0000
OTHER	0.0000

## SE SPECTRUM CASES

EXCITATION ANGLE	MODAL COMBO	DIRECTION COMBO
0.0000	CQC	SRSS

File: PELNI N-mm Units PAGE 2  
02:38

## DATA

GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
0.00000	0.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	0.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14000.00000	0.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	0.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
0.00000	3500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	3500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14000.00000	3500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	3500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	7000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
21500.00000	7000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
27000.00000	7000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
0.00000	10500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	10500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14000.00000	10500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	10500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
21500.00000	10500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
27000.00000	10500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
0.00000	18500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	18500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14000.00000	18500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	18500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
21500.00000	18500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
27000.00000	18500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	22000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
21500.00000	22000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
27000.00000	22000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
0.00000	25500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	25500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14000.00000	25500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	25500.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
0.00000	29000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	29000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14000.00000	29000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	29000.00000	5000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
0.00000	0.00000	9000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	0.00000	9000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14000.00000	0.00000	9000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17500.00000	0.00000	9000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
0.00000	3500.00000	9000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	3500.00000	9000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000









JAPH3  
 JAPH3  
 JAPH3  
 JAPH3  
 JAPH3  
 JAPH3

12 File: PRINT N-mm Units PAGE 5  
 01:30

## ELEMENT DATA

JNT-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	2	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
2	3	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
3	4	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
5	6	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
6	7	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
7	8	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
9	10	B30X50	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
10	11	B30X50	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	5500.000
12	13	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
13	14	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
14	15	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
15	16	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
16	192	B30X50	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
18	19	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
19	20	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
20	21	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
21	22	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
192	17	B30X50	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
24	25	B30X50	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
25	26	B30X50	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	5500.000
27	28	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
28	29	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
29	30	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
31	32	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
32	33	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
33	34	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
1	5	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
2	12	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
12	18	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	8000.000
18	27	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
27	31	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
2	6	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
6	13	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
13	19	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	8000.000
19	28	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
28	32	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
3	7	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
7	14	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
14	20	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	8000.000
20	29	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000
29	33	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
4	8	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
8	9	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
9	15	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
15	21	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	8000.000
21	24	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
24	30	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
30	34	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
10	16	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
16	22	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	8000.000
22	25	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
11	17	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
17	23	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	8000.000
23	26	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
35	36	B40X70	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	7000.000







149	161	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	4000.000
161	173	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	4000.000
199	21	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
21	55	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
55	84	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
199	22	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
22	56	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
56	67	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
200	201	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
201	60	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
202	23	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
23	57	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
203	24	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
24	59	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
204	26	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
26	60	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
205	27	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
27	61	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
61	89	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
89	120	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
120	150	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
150	162	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
162	174	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
206	28	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
28	62	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
62	90	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
207	29	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
29	63	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
63	91	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
91	140	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
140	152	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
152	164	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
164	176	K70X70	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
208	30	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
30	64	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
64	92	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
209	31	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
31	65	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
65	93	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
210	32	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
32	66	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
66	94	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
211	33	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
33	67	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
67	95	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
212	34	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
34	68	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000
68	96	K50X50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5000.000

2 File: PELNI N-mm Units PAGE 6  
L:38

F O R C E S Load Case DL

GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-ZZ
0.000	0.000	-17593.130	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-17593.130	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-59192.941	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-59192.941	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-17593.130	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	17593.130	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-59192.941	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-59192.941	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-40271.009	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-40271.009	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-40271.009	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	-40271.009	0.000	0.000	0.000

2 File: PELNI N-mm Units PAGE 7









SPAN	POINT	LOADS	Load Case	UL
TYPE	DIRECTION	DISTANCE	VALUE	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-21620.7217	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	21620.7217	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-21620.7217	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-21620.7217	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-83045.6559	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-83045.6559	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-83045.6559	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-83045.6559	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-83045.6559	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-83045.6559	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-20135.0142	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-20135.0142	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62583.0996	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62583.0996	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-44225.0504	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-44225.0504	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37103.4610	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-59781.3396	
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-22677.8786	



0:38

## S P A N   D I S T R I B U T E D   L O A D S   Load Case 11

TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.1950	1.0000	-3.1950
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.1950	1.0000	-3.1950
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.1950	1.0000	-3.1950
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.1950	1.0000	-3.1950
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-1.6858	1.0000	-1.6858
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-1.6858	1.0000	-1.6858
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-1.6858	1.0000	-1.6858
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.8596	1.0000	-2.8596
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.2686	1.0000	-3.2686
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.2686	1.0000	-3.2686
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.1950	1.0000	-3.1950
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	3.1950	1.0000	-3.1950
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.2477	1.0000	-2.2477
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.1447	1.0000	-2.1447

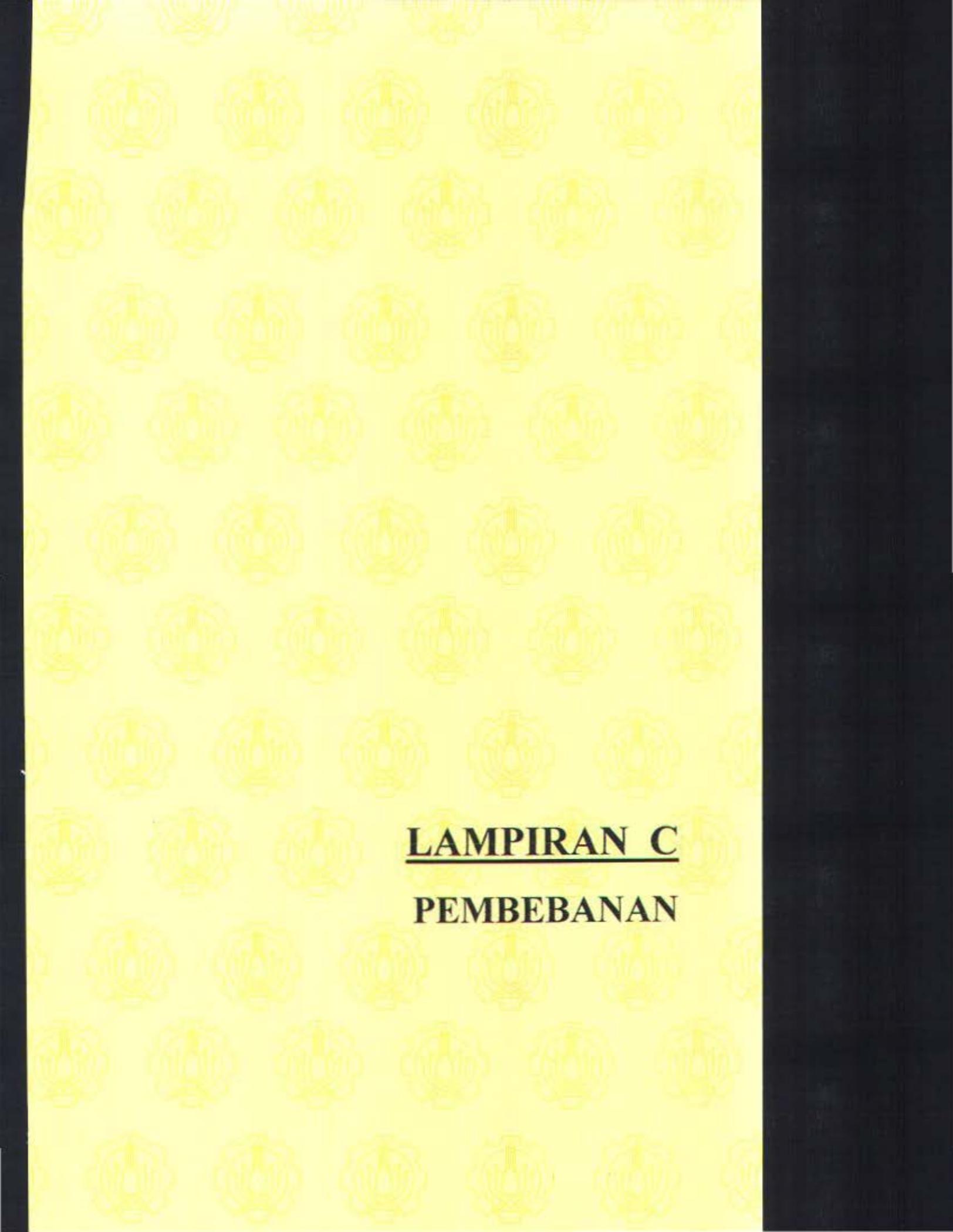








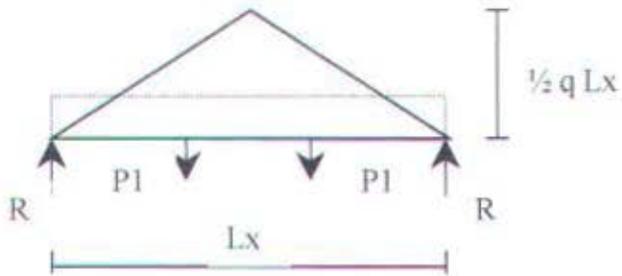
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-7207.8879
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-7207.8879
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-7207.8879
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-X	0.2500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-30018.1563
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-X	0.7500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-X	0.5000	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	3.7500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-X	0.2500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-57172.7707
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	12013.1465
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-12013.1465
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-12013.1465
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-12013.1465
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	12013.1465
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-12013.1465
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-26075.8829
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-26075.8829
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-26075.8829
FORCE	GLOBAL-Z	0.2500	-26075.8829
FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-26075.8829
FORCE	GLOBAL-Z	0.7500	-26075.8829



**LAMPIRAN C**  
**PEMBEBANAN**

Variasi pembebanan dan beban ekuivalen yang terjadi pada perhitungan beban struktur utama antara lain adalah :

Beban ekuivalen satu segitiga.



$$W = \frac{1}{2} q L_x$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} q L_x \right) \frac{1}{2} L_x = \frac{1}{8} q L_x^2$$

$$R = \frac{1}{8} q L_x^2$$

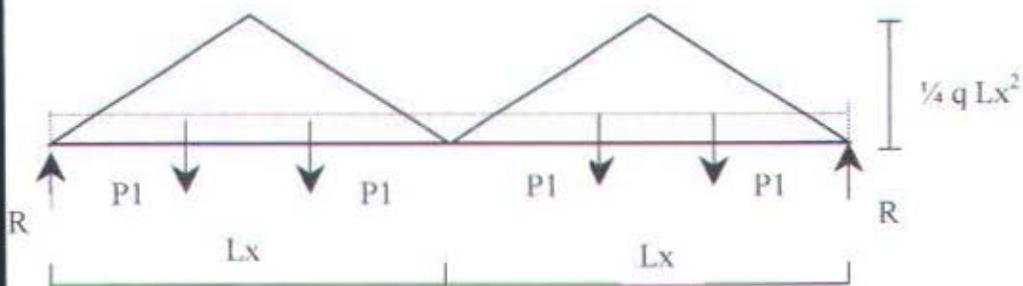
$$M_{\max} = R \left( \frac{1}{2} L_x \right) - P_1 \left( \frac{1}{6} L_x \right) = \frac{1}{8} q L_x^2 \times \frac{1}{2} L_x - \frac{1}{8} q L_x^2 \times \frac{1}{6} L_x$$

$$M_{\max} = \frac{1}{16} q L_x^3 - \frac{1}{48} q L_x^3 = \frac{1}{24} q L_x^3$$

$$\text{engah bentang} \rightarrow \frac{1}{8} q_{ek} L_x^2 = \frac{1}{24} q L_x^3$$

$$q_{ek} = \frac{1}{3} q L_x$$

Beban ekuivalen dua segitiga.



$$W = \frac{1}{2} q L_x$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} q L_x \right) \frac{1}{2} L_x = \frac{1}{8} q L_x^2$$

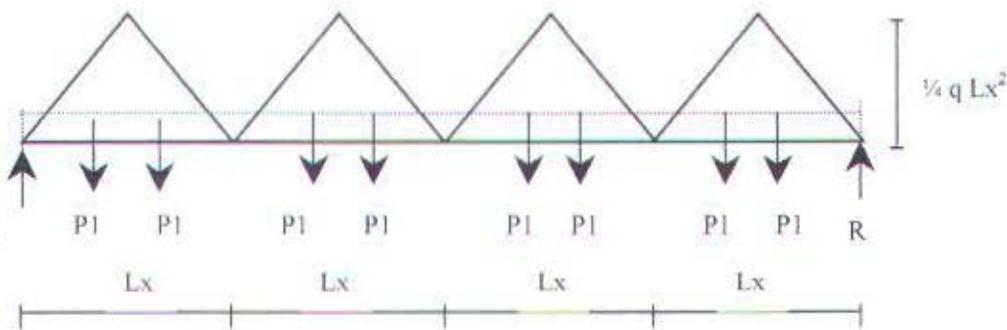
$$R = \frac{1}{4} q L_x^2$$

$$M_{xx} = RL_x - P_1\left(\frac{2}{3}L_x\right) - P_1\left(\frac{1}{3}L_x\right) = \frac{1}{4}qL_x^2 xL_x - \frac{1}{8}qL_x^2 x\frac{2}{3}L_x - \frac{1}{8}qL_x^2 x\frac{1}{3}L_x$$

$$M_{xx} = \frac{1}{4}qL_x^3 - \frac{1}{12}qL_x^3 - \frac{1}{24}qL_x^3 = \frac{1}{8}qL_x^3$$

panjang bentang  $\rightarrow \frac{1}{8}q_{ek}(2L_x)^2 = \frac{1}{8}qL_x^3$   
 $q_{ek} = \frac{1}{4}qL_x$

Beban ekuivalen empat segitiga.



$$W = \frac{1}{2}qL_x$$

$$P_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}qL_x\right)\frac{1}{2}L_x = \frac{1}{8}qL_x^2$$

$$R = \frac{1}{2}qL_x^2$$

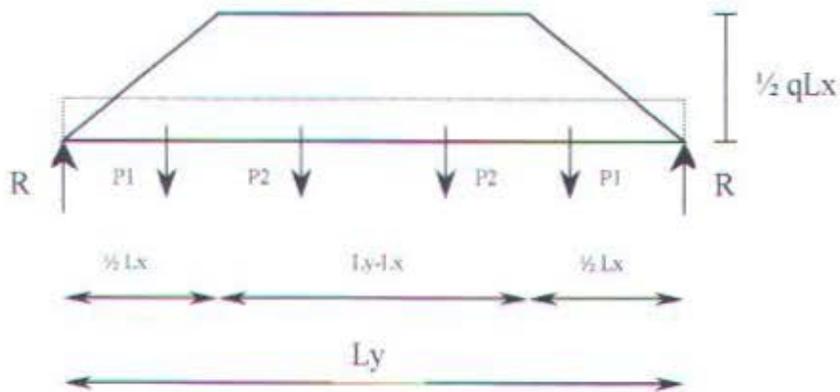
$$M_{xx} = Rx2L_x - P_1\left(\frac{2}{3}L_x\right) - P_1\left(\frac{4}{3}L_x\right) - P_1\left(\frac{2}{3}L_x\right) - P_1\left(\frac{1}{3}L_x\right)$$

$$M_{xx} = \frac{1}{2}qL_x^2 x2L_x - \frac{1}{8}qL_x^2 x\frac{2}{3}L_x - \frac{1}{8}qL_x^2 x\frac{4}{3}L_x - \frac{1}{8}qL_x^2 x\frac{2}{3}L_x - \frac{1}{8}qL_x^2 x\frac{1}{3}L_x$$

$$M_{xx} = qL_x^3 - \frac{5}{24}qL_x^3 - \frac{1}{6}qL_x^3 - \frac{1}{12}qL_x^3 - \frac{1}{24}qL_x^3 = \frac{1}{2}qL_x^3$$

panjang bentang  $\rightarrow \frac{1}{8}q_{ek}(4L_x)^2 = \frac{1}{2}qL_x^3$   
 $q_{ek} = \frac{1}{4}qL_x$

## Beban ekuivalen satu trapesium



$$W = \frac{1}{2} q L_x$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} q L_x \right) \frac{1}{2} L_x = \frac{1}{8} q L_x^2$$

$$P_2 = \left( \frac{1}{2} q L_x \right) \times \left[ \frac{1}{2} (L_y - L_x) \right] = \frac{1}{4} q L_x (L_y - L_x)$$

$$R = P_1 + P_2 = \frac{1}{8} q L_x (2L_y - L_x)$$

$$M_{\max} = R \left( \frac{1}{2} L_y \right) - P_1 \left[ \frac{1}{2} (L_y - L_x) + \frac{1}{3} \left( \frac{1}{2} L_x \right) \right] - P_2 \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} (L_y - L_x) \right) \right]$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} q L_x (2L_y - L_x) \left( \frac{1}{2} L_y \right) - \frac{1}{8} q L_x^2 \left[ \frac{1}{2} (L_y - L_x) + \frac{1}{3} \left( \frac{1}{2} L_x \right) \right]$$

$$\dots = -\frac{1}{4} q L_x (L_y - L_x) \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} (L_y - L_x) \right) \right]$$

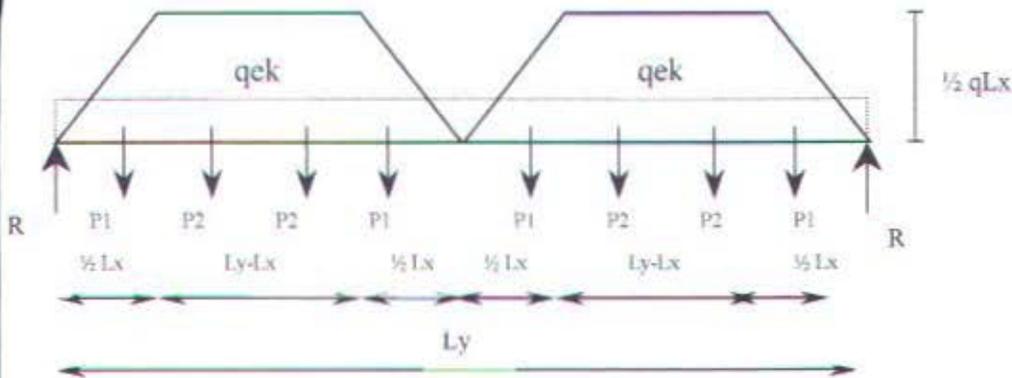
$$M_{\max} = \frac{1}{48} q L_x (3L_y^2 - L_x^2)$$

$$\frac{1}{8} q_{ek} L_y^2 = \frac{1}{48} q L_x (3L_y^2 - L_x^2)$$

engah bentang →

$$q_{ek} = \frac{1}{2} q L_x \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right]$$

## Beban ekuivalen dua trapesium



$$W = \frac{1}{2} qL_x$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} qL_x \right) \frac{1}{2} L_x = \frac{1}{8} qL_x^2$$

$$P_2 = \left( \frac{1}{2} qL_x \right) \times \left[ \frac{1}{2} (L_y - L_x) \right] = \frac{1}{4} qL_x (L_y - L_x)$$

$$R = 2P_1 + 2P_2 = \frac{1}{4} qL_x (2L_y - L_x)$$

$$M_{max} = R \times L_y - P_1 \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{1}{2} L_x \right) + L_y - L_x + \frac{1}{2} L_x \right] - P_2 \left[ \frac{1}{2} L_y + \frac{1}{4} (L_y - L_x) \right]$$

$$\dots = -P_2 \left[ \frac{1}{2} L_y - \frac{1}{4} (L_y - L_x) \right] - P_1 \left[ \frac{2}{3} \left( \frac{1}{2} L_x \right) \right]$$

$$M_{max} = \frac{1}{4} qL_x (2L_y - L_x) L_y - \frac{1}{8} qL_x^2 \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{1}{2} L_x \right) + L_y - L_x + \frac{1}{2} L_x \right] - \frac{1}{4} qL_x (L_y - L_x) \left[ \frac{1}{2} L_y + \frac{1}{4} (L_y - L_x) \right]$$

$$\dots = -\frac{1}{4} qL_x (L_y - L_x) \left[ \frac{1}{2} L_y - \frac{1}{4} (L_y - L_x) \right] - \frac{1}{8} qL_x^2 \left[ \frac{2}{3} \left( \frac{1}{2} L_x \right) \right]$$

$$M_{max} = \frac{1}{4} qL_x L_y^2 - \frac{1}{8} qL_x^2 L_y$$

$$\frac{1}{8} q_{ek} L_y^2 = \frac{1}{4} qL_x L_y^2 - \frac{1}{8} qL_x^2 L_y$$

engah bentang  $\rightarrow \frac{1}{8} q_{ek} L_y^2 = \frac{1}{4} qL_x L_y (L_y - \frac{1}{2} L_x)$

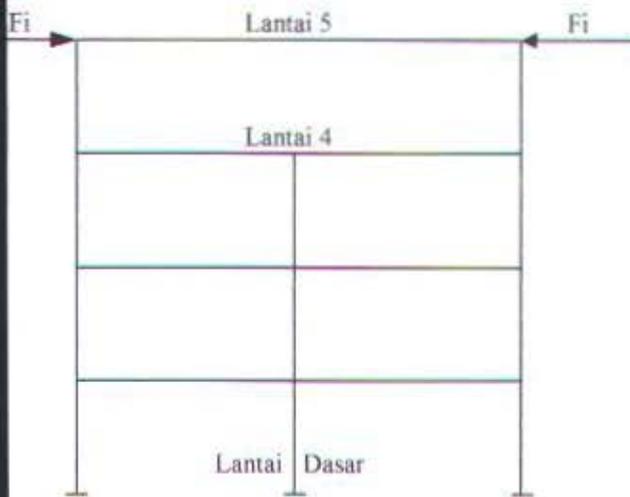
$$q_{ek} = \frac{1}{2} qL_x \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{L_x}{L_y} \right) \right]$$

**LAMPIRAN D**

**PERENCANAAN BALOK PRATEKAN**

## OPTIMASI UMUR BETON DAN PRATEGANGAN

### PRATEGANGAN LANTAI 5



Umur beton :

Lantai 5 = 14 hari

Umur Prategangan :

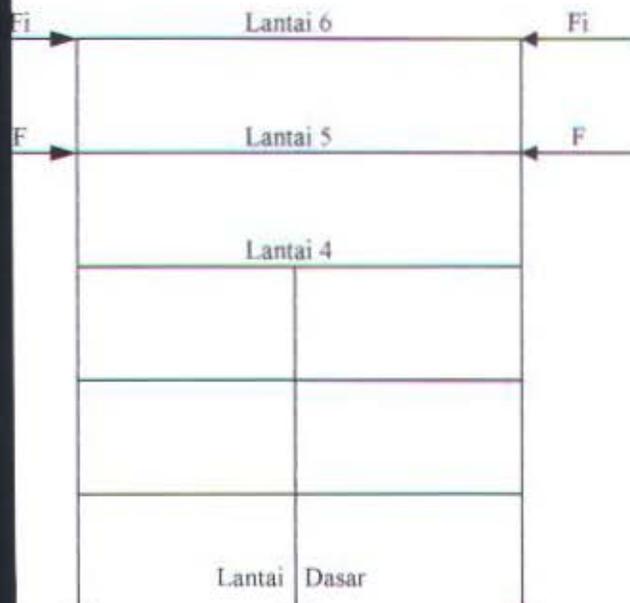
Lantai 5 = 0 hari

Gaya Prategang :

Lantai 5 =  $F_i$

Beban statis : 1.2 DL

### PRATEGANGAN LANTAI 6



Umur beton :

Lantai 5 = 42 hari

Lantai 6 = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 5 = 28 hari

Lantai 6 = 0 hari

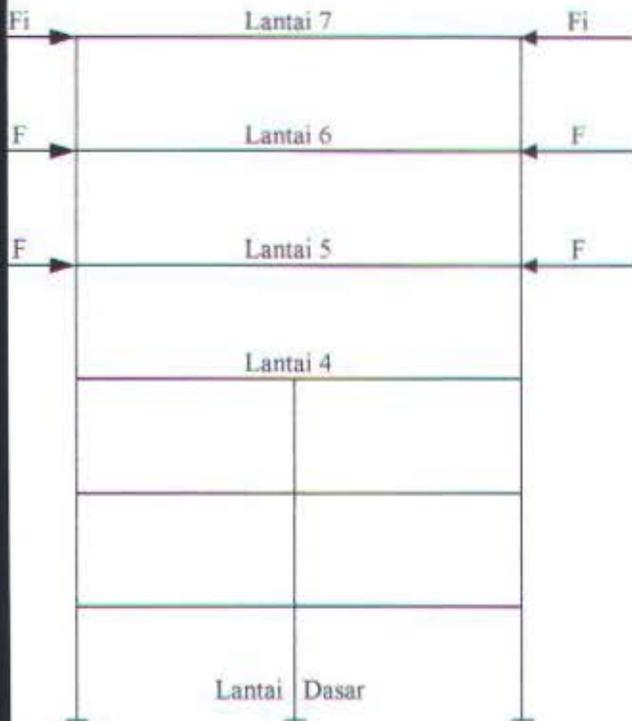
Gaya Prategang :

Lantai 5 =  $F$  (28 hari)

Lantai 6 =  $F_i$

Beban statis : 1.2 DL

## TEGANGAN LANTAI 7



Umur beton :

Lantai 5 = 70 hari

Lantai 6 = 42 hari

Lantai 7 = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 5 = 56 hari

Lantai 6 = 28 hari

Lantai 7 = 0 hari

Gaya Prategang :

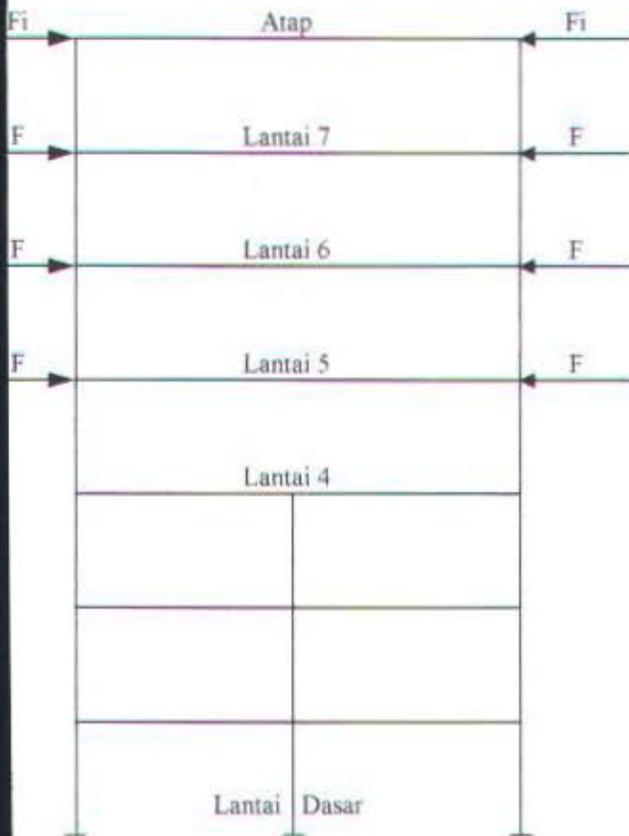
Lantai 5 =  $F$  (56 hari)

Lantai 6 =  $F$  (28 hari)

Lantai 7 =  $F_i$

Beban statis : 1.2 DL

## TEGANGAN ATAP



Umur beton :

Lantai 5 = 98 hari

Lantai 6 = 70 hari

Lantai 7 = 42 hari

Atap = 14 hari

Umur Prategangan :

Lantai 5 = 84 hari

Lantai 6 = 56 hari

Lantai 7 = 28 hari

Atap = 0 hari

Gaya Prategang :

Lantai 5 = F (84 hari)

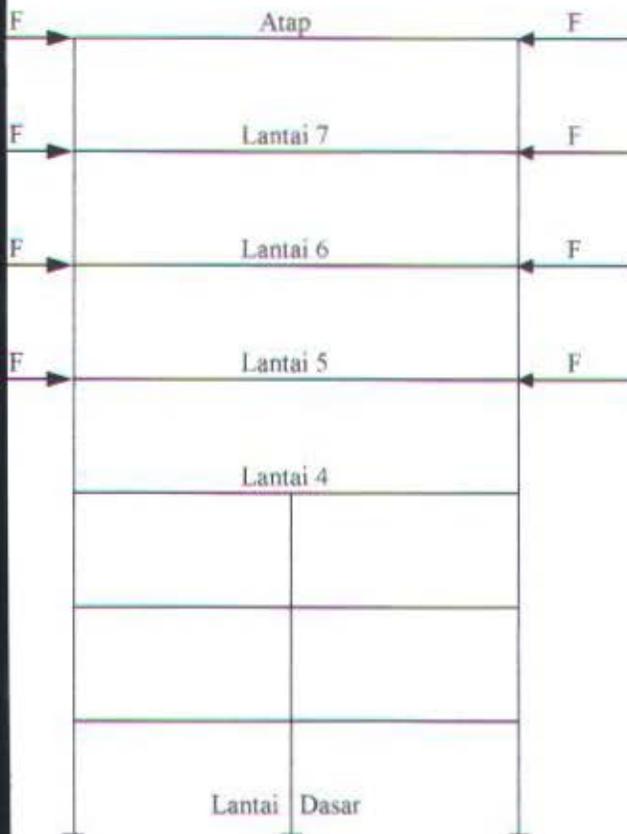
Lantai 6 = F (56 hari)

Lantai 7 = F (28 hari)

Atap =  $F_i$

Beban statis : 1.2 DL

## TEGANGAN AKHIR



Umur beton :

Lantai 5 = 372 hari

Lantai 6 = 351 hari

Lantai 7 = 330 hari

Atap = 309 hari

Umur Prategangan :

Lantai 5 = 365 hari

Lantai 6 = 344 hari

Lantai 7 = 323 hari

Atap = 302 hari

Gaya Prategang :

Lantai 5 = F (365 hari)

Lantai 6 = F (344 hari)

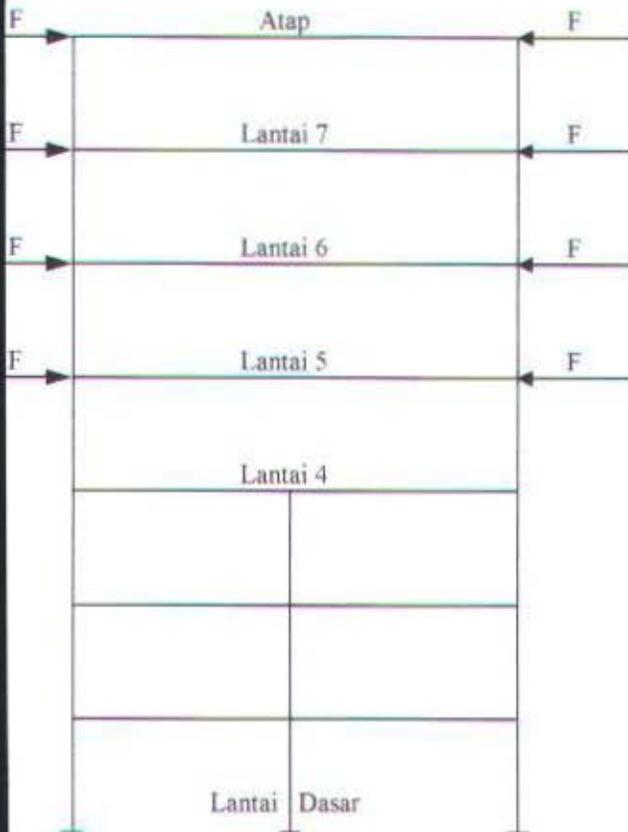
Lantai 7 = F (323 hari)

Atap = F (302 hari)

Beban statis :

1.2 DL + 1.6 LL

ANNING STATIS DAN DINAMIS AKHIR STRUKTUR



Umur beton :

Lantai 5 = 7307 hari

Lantai 6 = 7286 hari

Lantai 7 = 7265 hari

Atap = 7244 hari

Umur Prategangan :

Lantai 5 = 7300 hari

Lantai 6 = 7279 hari

Lantai 7 = 7258 hari

Atap = 7237 hari

Gaya Prategang :

Lantai 5 = F (7300 hari)

Lantai 6 = F (7279 hari)

Lantai 7 = F (7258 hari)

Atap = F (7237 hari)

Beban Statis & Dinamis :

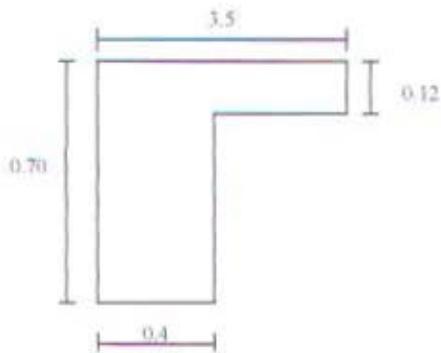
1.2 DL + 1.6 LL

1.05(DL+LR+2E)

1.05(DL+LR-2E)

Hitungan beban perancah :

*Balok eksterior :*



$$A = (3.5 \times 0.12) + [(0.70 - 0.12) \times 0.4]$$

$$= 0.652 \text{ m}^2$$

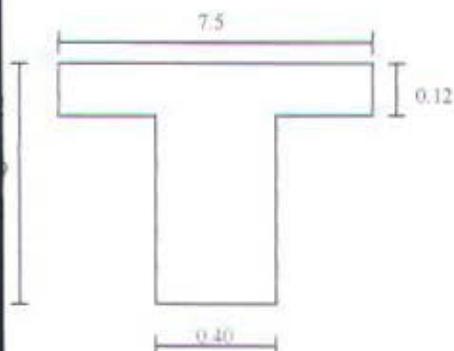
$$W_{\text{perancah}} = 2.4 \text{ t/m}^3 \times 0.652$$

$$= 1.565 \text{ t/m}^3$$

$$M_{\text{perancah}} = \frac{1}{10} \times 1.565 \times 14^2$$

$$= 30.7 \text{ tm} = 307 \text{ kNm}$$

*Balok interior :*



$$A = (7.5 \times 0.12) + [(0.70 - 0.12) \times 0.4]$$

$$= 1.132 \text{ m}^2$$

$$W_{\text{perancah}} = 2.4 \text{ t/m}^3 \times 1.132$$

$$= 2.72 \text{ t/m}^3$$

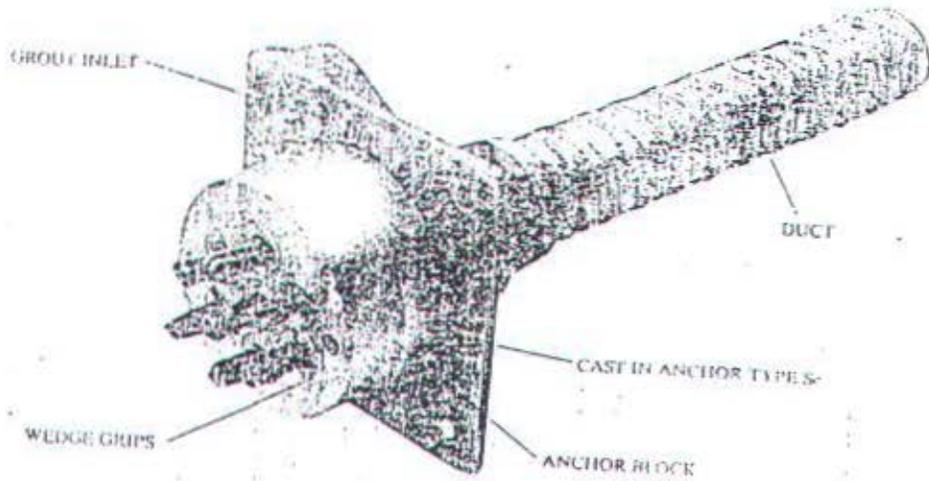
$$M_{\text{perancah}} = \frac{1}{10} \times 2.72 \times 14^2$$

$$= 53.2 \text{ tm} = 532 \text{ kNm}$$

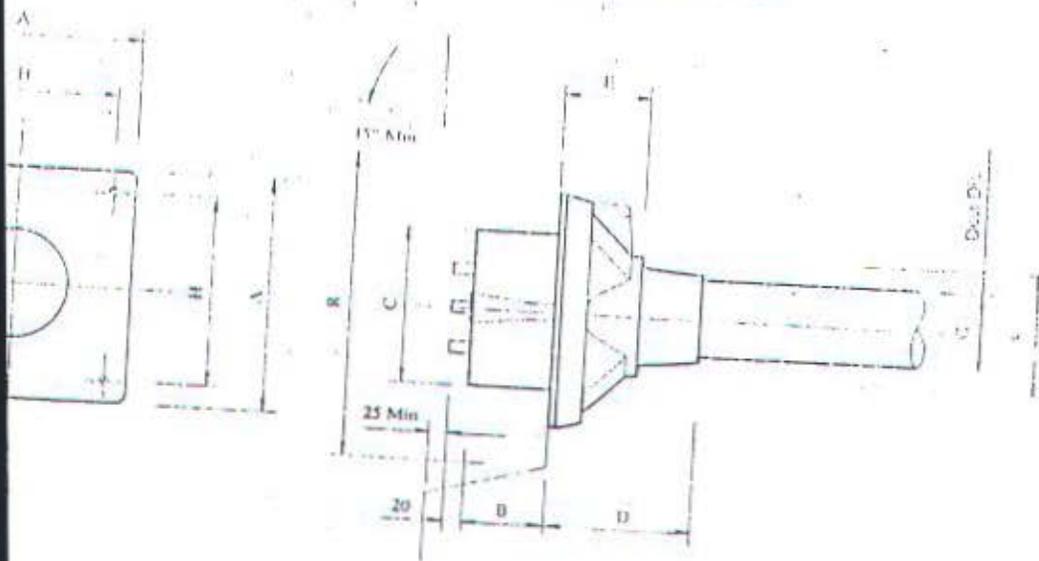
*Perangan :*

Beban perancah akan diperhitungkan dalam pelaksanaan pratekan pada tiap-tiap lantai.

# STRESSING ANCHORAGE



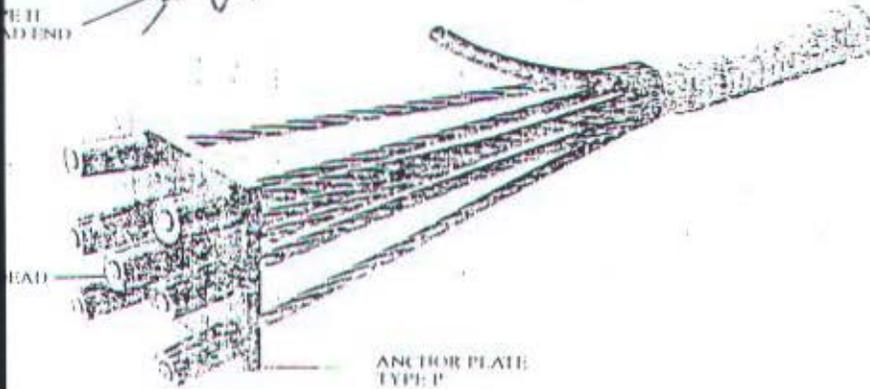
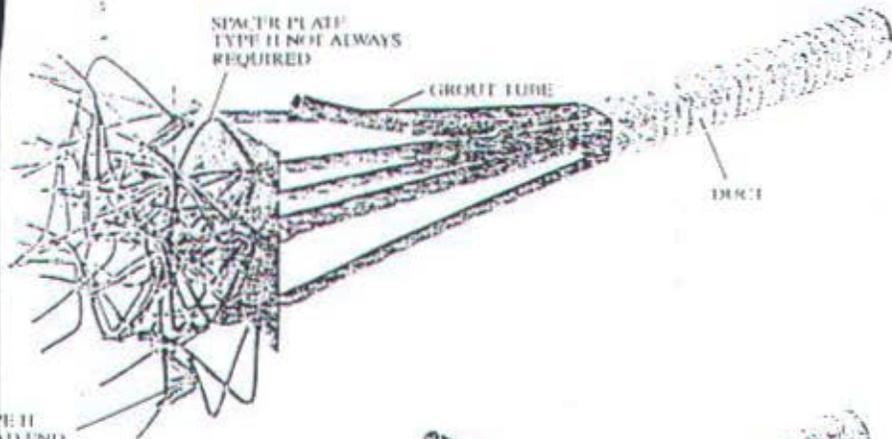
VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc



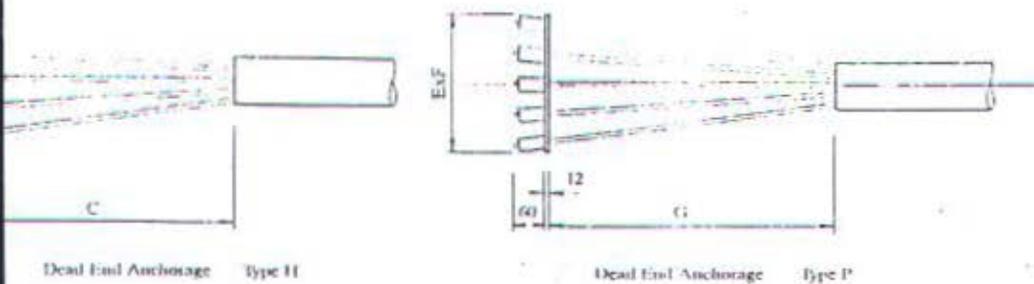
A	B	C	Dimensions (mm)					R	Characteristic Load (kN)
			D	E	F	G	H		
135	54	90	106	16	56	39	116	250	457
150	54	90	150	16	64	50	125	250	556
165	54	120	100	60	85	50	125	250	1270
215	54	160	160	85	120	69	150	360	2210
265	66	180	210	110	145	84	200	360	3700
290	77	200	215	140	150	90	230	360	4050
315	92	220	250	160	175	96	250	500	4970
315	92	230	250	160	175	105	250	500	5760
370	107	250	320	160	200	115	305	900	6810
390	112	290	340	160	217	115	325	900	7730
430	122	300	340	160	215	135	365	900	8030
465	142	320	340	160	250	135	400	900	10120

Dimension R does not allow for lift off force check. Smaller recesses can be provided for special cases. Refer VSL office for details. Plate type anchorages (Type Sp) also available on request.

# DEAD END ANCHORAGE

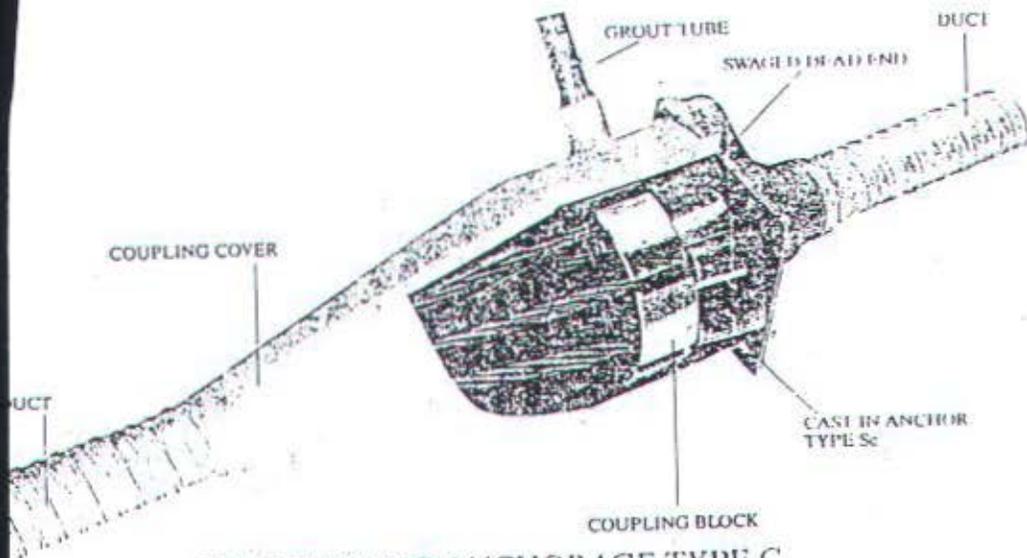


## VSL DEAD END ANCHORAGES TYPE II-TYPE P

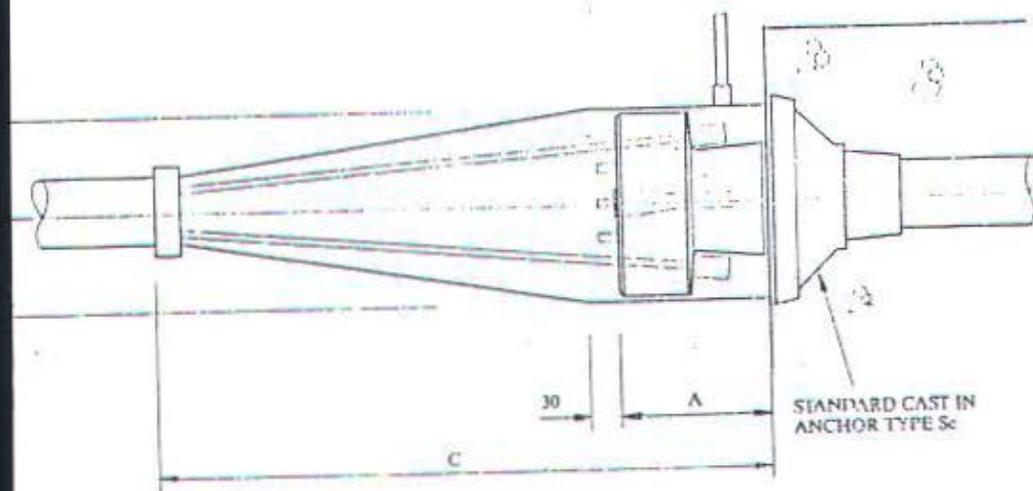


I	Dimensions (mm)			
	A	B	C	D
	125	125	600	-
	125	125	600	-
	175	150	600	-
	300	250	1000	150
	375	300	1000	150
	400	300	1000	150
	450	400	1000	150
	450	425	1000	150
	525	450	1100	150
	600	450	1100	150
	645	450	1200	150
	700	500	1200	150

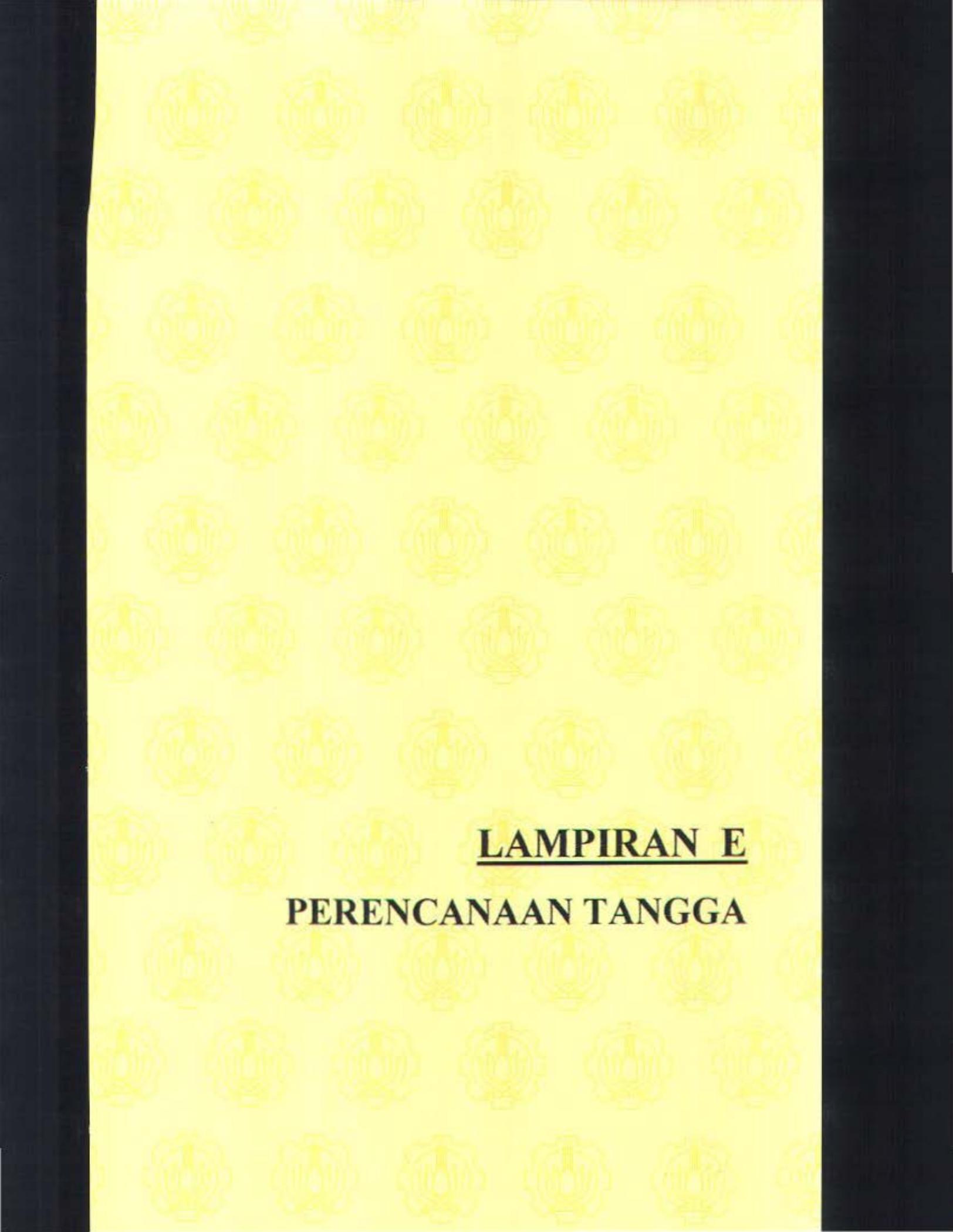
VSL TYPE P 12.7mm	Dimensions (mm)		
	E	F	G
3P	100	100	100
4P	120	120	150
7P	150	150	250
17P	200	200	350
19P	250	250	500
27P	300	250	500
27P	300	300	650
31P	350	300	650
37P	375	350	850
42P	375	375	850
48P	400	400	1000
55P	425	425	1000



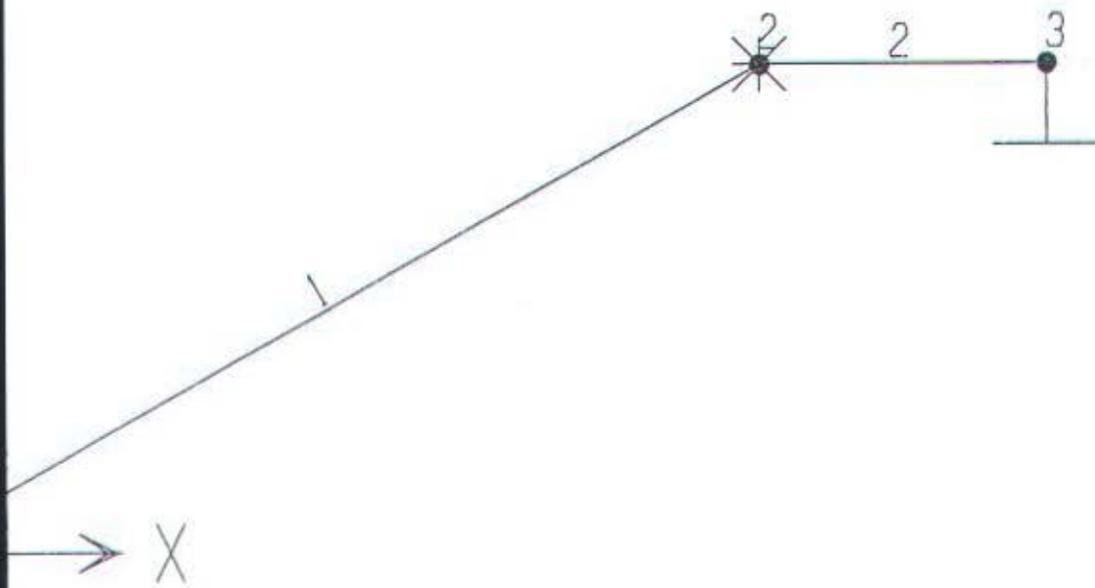
VSL COUPLING ANCHORAGE TYPE C



VSL TYPE	Dimensions (mm)			Characteristic Load (kN)
	A	B	C	
3c	110	140	330	552
4c	110	160	330	736
7c	110	180	410	1290
12c	110	210	470	2210
19c	110	240	550	3500
22c	110	260	620	4050
27c	110	310	960	4970
31c	110	350	960	5700
37c	150	390	1000	6810
42c	150	395	1000	7730
48c	150	420	1000	8830
55c	170	490	1140	10120



**LAMPIRAN E**  
**PERENCANAAN TANGGA**



LOAD CASES

CASE TYPE	SELF WT FACTOR
DEAD	1.0000
LIVE	0.0000

A T R

GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
4500.00000	0.00000	2500.00000	0 1 0 1 0 1	0.000	0.000	0.000
6000.00000	0.00000	2500.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000

E L E M E N T D A T A

T-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	2	FSEC1	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	5147.815
2	3	FSEC1	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000

P A N D I S T R I B U T E D L O A D S Load Case DL

TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.1975	1.0000	-5.1975
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.3343	1.0000	-3.3343

P A N D I S T R I B U T E D L O A D S Load Case LL

TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.9420	1.0000	-2.9420
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.9420	1.0000	-2.9420

## COMBINATION MULTIPLIERS

TYPE	CASE	FACTOR	TYPE	TITLE
ADD				COMB1
	DL	1.2000	STATIC(DEAD)	
	LL	1.6000	STATIC(LIVE)	

42 File: TANGGA N-mm Units PAGE 2

## REACTIONS

OAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
OMB1	112773.3610	0.0000	108255.1825	0.0000	-37251110.	0.0000
OMB1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
OMB1	-112773.361	0.0000	-3141.5112	0.0000	468091.7378	0.0000

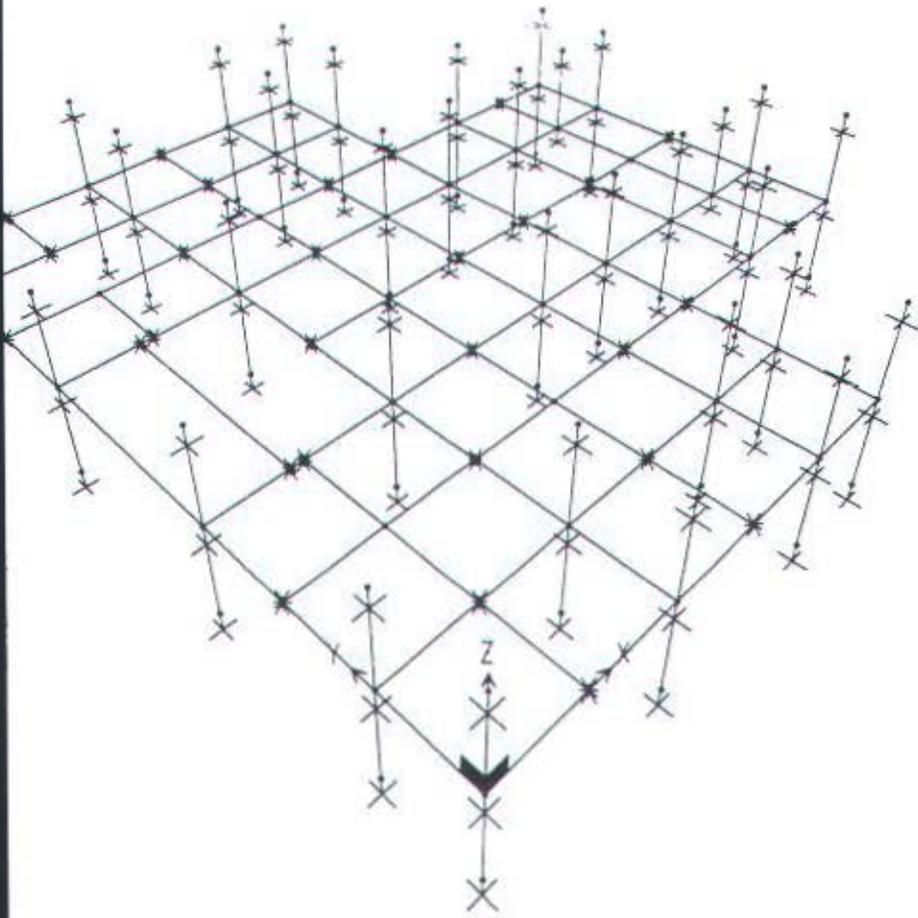
42 File: TANGGA N-mm Units PAGE 3

## ELEMENT FORCES

OAD	LOC	P	VZ	V3	T	M2	M3
OMB1							
	0.00	-151155.01	-39864.47	0.00	0.00	0.00	-37251110.
	2573.91	-130759.68	-3152.86	0.00	0.00	0.00	18110208.12
	5147.82	-110364.34	33558.74	0.00	0.00	0.00	-21020756.8
OMB1							
	0.00	-112773.36	-24262.04	0.00	0.00	0.00	-21020756.8
	375.00	-112773.36	-18981.91	0.00	0.00	0.00	-12912515.4
	750.00	-112773.36	-13701.78	0.00	0.00	0.00	-6784324.52
	1125.00	-112773.36	-8421.64	0.00	0.00	0.00	-2636183.20
	1500.00	-112773.36	-3141.51	0.00	0.00	0.00	-468091.74



**LAMPIRAN F**  
**PERENCANAAN BALOK ANAK**



File: LANTAI3 N-mm Units PAGE 1  
:16

## LOAD CASES

CASE TYPE	SELF WT FACTOR
DEAD	1.0000
LIVE	0.0000

File: LANTAI3 N-mm Units PAGE 2  
:16

## A T A

GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
0.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
3500.00000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
7000.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0500.00000	0.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
4000.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
7500.00000	0.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0.00000	3500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
3500.00000	3500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
7000.00000	3500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0500.00000	3500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
4000.00000	3500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
7500.00000	3500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0.00000	7000.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
3500.00000	7000.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	7000.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
0500.00000	7000.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4000.00000	7000.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
7500.00000	7000.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
1500.00000	7000.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
4250.00000	7000.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
7000.00000	7000.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0.00000	10500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
3000.00000	10500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
3500.00000	10500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
7000.00000	10500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0500.00000	10500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
4000.00000	10500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
7500.00000	10500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
1500.00000	10500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
4250.00000	10500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
7000.00000	10500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
7000.00000	14500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
0500.00000	14500.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4000.00000	14500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
7500.00000	14500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
1500.00000	14500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
4250.00000	14500.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	14500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
0.00000	18500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
3000.00000	18500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
3500.00000	18500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
7000.00000	18500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0500.00000	18500.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
4000.00000	18500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
7500.00000	18500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
1500.00000	18500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
4250.00000	18500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
7000.00000	18500.00000	0.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0.00000	22000.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000
3500.00000	22000.00000	0.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7000.00000	22000.00000	0.00000	1 1 0 0 0 1	0.000	0.000	0.000



500.00000	25000.00000	3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0.00000	29000.00000	-3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
0.00000	29000.00000	3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
000.00000	29000.00000	-3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
000.00000	29000.00000	3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
000.00000	29000.00000	-3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
000.00000	29000.00000	3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
500.00000	29000.00000	-3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
500.00000	29000.00000	3750.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000

File: LANTAIL N-mm Units PAGE 3  
17

ELEMENT DATA

E-1	JNT-2	SECTION	ANGLE	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	2	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
2	3	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
3	4	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
4	5	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
5	6	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
7	8	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
8	9	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
9	10	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
10	11	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
11	12	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
13	14	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
14	15	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
15	16	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
16	17	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
17	18	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
18	19	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
19	20	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
20	21	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
22	23	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3000.000
23	24	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	500.000
24	25	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
25	26	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
26	27	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
27	28	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
28	29	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
29	30	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
30	31	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
32	33	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
33	34	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
34	35	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
35	36	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
36	37	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
37	38	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
39	40	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3000.000
40	41	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	500.000
41	42	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
42	43	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
43	44	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
44	45	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
45	46	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
46	47	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
47	48	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
49	50	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
50	51	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
51	52	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
52	53	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
53	54	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
54	55	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
55	56	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
56	57	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	2750.000
58	59	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
59	60	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
60	61	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
61	62	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
62	63	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000

64	65	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
65	66	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
66	67	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
67	68	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
68	69	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
1	7	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
7	13	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
13	22	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
22	39	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	8000.000
39	49	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
49	58	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
58	64	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
2	8	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
8	14	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
14	24	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
23	40	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	8000.000
41	50	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
59	65	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
3	9	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
9	15	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
15	25	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
25	32	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
32	42	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
42	51	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
51	60	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
60	66	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
4	10	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
10	16	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
16	26	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
26	33	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
33	43	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
43	52	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
52	61	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
61	67	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
5	11	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
11	17	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
17	27	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
27	34	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
34	44	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
44	53	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
53	62	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
62	68	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
6	12	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
12	18	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
18	28	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
28	35	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
35	45	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
45	54	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
54	63	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
63	69	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
19	29	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
29	36	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
36	46	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
46	55	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
20	30	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
30	37	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
37	47	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
47	56	BALOK30	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
21	31	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
31	38	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
38	48	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	4000.000
48	57	BALOK40	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	3500.000
70	1	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
1	71	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
72	3	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
3	73	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
74	5	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
5	75	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
76	6	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
6	77	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
78	7	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
7	79	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
80	9	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
9	81	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
82	11	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000

11	83	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
84	12	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
12	85	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
86	19	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
19	87	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
88	21	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
21	89	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
90	22	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
22	91	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
92	25	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
25	93	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
94	27	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
27	95	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
96	28	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
28	97	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
98	29	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
29	99	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
30	100	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
101	31	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
31	102	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
103	39	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
39	104	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
105	42	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
42	106	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
107	44	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
44	108	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
109	45	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
45	110	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
111	46	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
46	112	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
47	113	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
114	48	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
48	115	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
116	55	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
55	117	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
118	57	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
57	119	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
120	58	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
58	121	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
124	60	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
60	125	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
126	62	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
62	127	KOLOM80	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
128	63	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
63	129	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
130	64	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
64	131	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
132	66	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
66	133	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
134	68	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
68	135	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
136	69	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000
69	137	KOLOM50	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	3750.000

File: LANTAI3 N-mm Units PAGE 4

17

P A N D I S T R I B U T E D L O A D S Load Case MATI					
TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-8.3278	1.0000	-8.3278
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-8.3278	1.0000	-8.3278
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-8.3278	1.0000	-8.3278
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-8.3278	1.0000	-8.3278
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-8.3278	1.0000	-8.3278
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-8.3278	1.0000	-8.3278
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-8.3278	1.0000	-8.3278
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468

FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.2468	1.0000	-6.2468
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.0274	1.0000	-7.0274
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.0274	1.0000	-7.0274
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.5183	1.0000	-9.5183
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.6523	1.0000	-4.6523
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.6523	1.0000	-4.6523
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.7963	1.0000	-7.7963
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.7963	1.0000	-7.7963
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.9082	1.0000	-4.9082
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.9082	1.0000	-4.9082
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.7943	1.0000	-7.7943
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.7943	1.0000	-7.7943

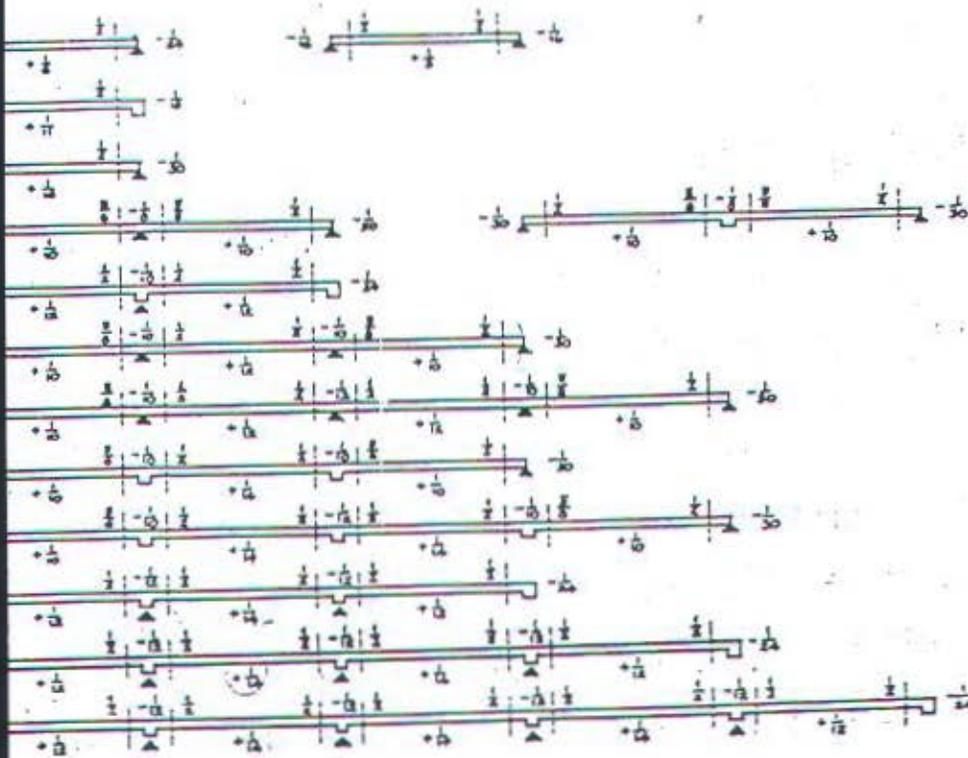
File: LANTAI3 N-mm Units PAGE 5

:17

P A N D I S T R I B U T E D L O A D S Load Case: HIDUP					
TYPE	DIRECTION	DISTANCE-A	VALUE-A	DISTANCE-B	VALUE-B
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.7192	1.0000	-5.7192
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.7192	1.0000	-5.7192
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.7192	1.0000	-5.7192
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.7192	1.0000	-5.7192
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.7192	1.0000	-5.7192
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.7192	1.0000	-5.7192
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.7192	1.0000	-5.7192
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.2904	1.0000	-4.2904
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.8268	1.0000	-4.8268
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.8268	1.0000	-4.8268
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.5381	1.0000	-6.5381
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.1950	1.0000	-3.1950
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.1950	1.0000	-3.1950
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.3544	1.0000	-5.3544
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.3544	1.0000	-5.3544
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.3705	1.0000	-3.3705
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.3705	1.0000	-3.3705
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.3525	1.0000	-5.3525
FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-5.3525	1.0000	-5.3525

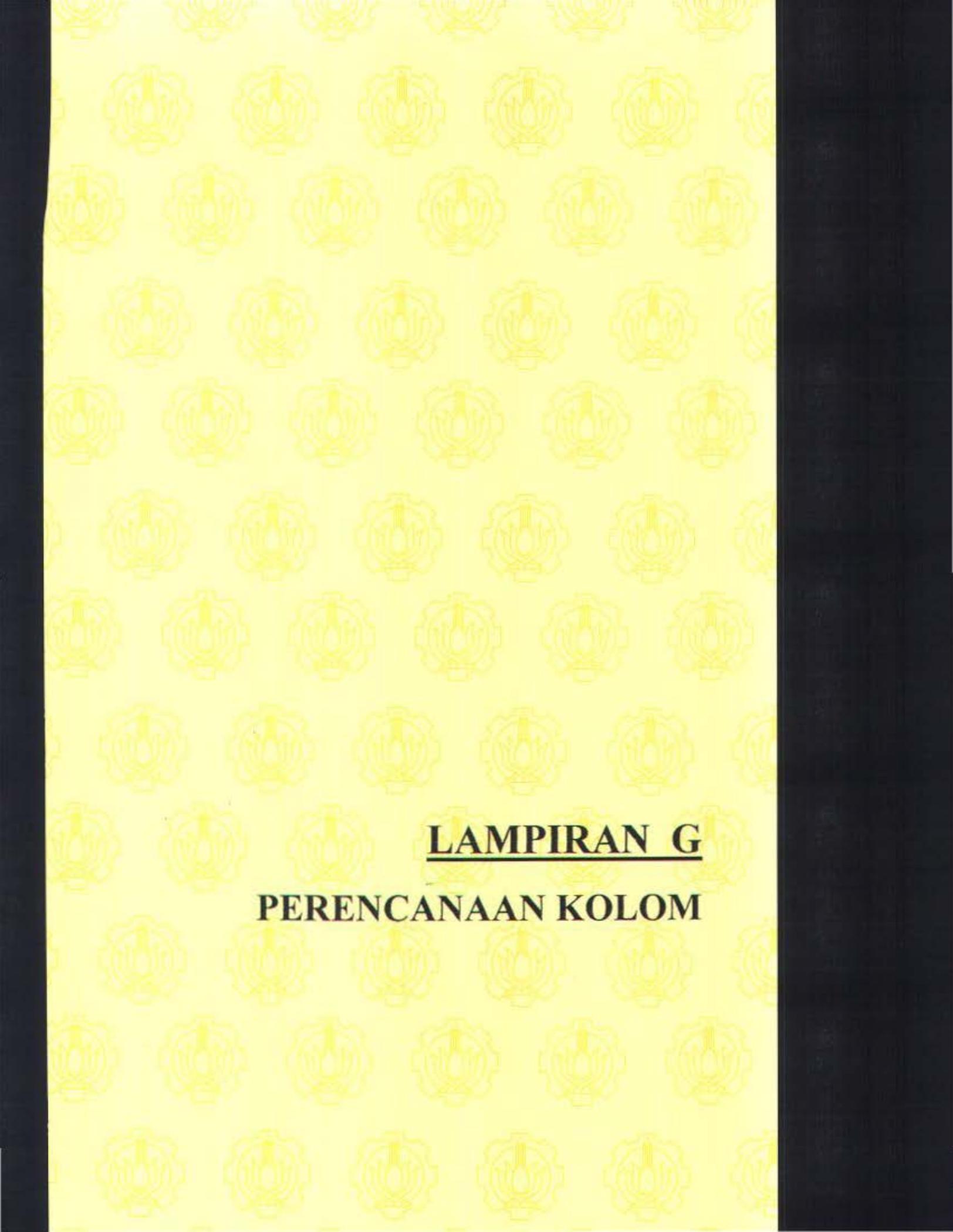
Ikhtisar momen-momen dan gaya-gaya melintang menurut Pasal 13.2 akibat beban terbagi rata

Momen = Koefisien  $\times ql^2$   
 Gaya melintang = Koefisien  $\times ql$



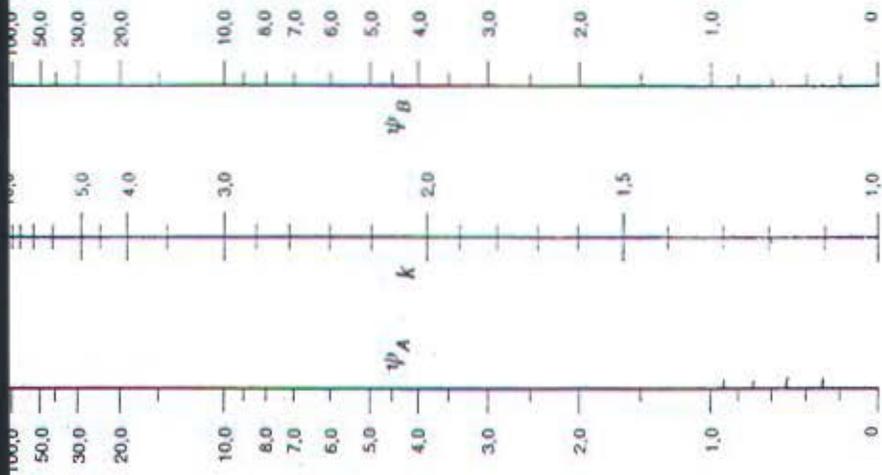
### LUAS PENAMPANG TULANGAN BAJA

meter Batang  (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )								
	Jumlah Batang								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6)	28,3	56,6	84,9	113,1	141,4	169,6	197,9	226,2	254,5
8)	50,3	100,6	150,9	201,1	251,4	301,6	351,9	402,2	452,4
9)	63,6	127,2	190,8	254,5	318,1	381,6	445,2	509,0	572,6
0)	78,5	157,0	235,6	314,2	392,7	471,2	549,8	628,3	706,9
2)	113,1	226,2	339,3	452,4	565,5	678,6	791,7	904,8	1017,9
3)	132,7	265,4	398,2	530,9	663,7	796,4	929,1	1061,8	1194,6
4)	154,0	308,0	462,0	616,0	770,0	924,0	1078,0	1232,0	1386,0
6)	201,1	402,2	603,2	804,2	1005,3	1206,4	1407,4	1608,5	1809,5
8)	254,5	509,0	763,4	1017,9	1272,4	1526,8	1781,3	2035,8	2290,2
9)	283,5	567,0	850,5	1134,0	1417,5	1701,0	1984,5	2268,0	2551,5
0)	314,2	628,4	942,5	1256,6	1570,8	1885,0	2199,1	2513,3	2827,4
2)	380,1	760,2	1140,4	1520,5	1900,7	2280,8	2660,9	3041,0	3421,2
5)	490,9	981,8	1472,6	1963,5	2454,8	2945,2	3436,1	3927,0	4418,1
8)	615,7	1231,5	1847,3	2463,0	3078,7	3694,6	4310,3	4926,0	5541,7
9)	660,5	1321,0	1981,6	2642,1	3302,6	3963,2	4623,7	5284,0	5944,5
0)	804,3	1608,6	2412,8	3217,0	4021,3	4825,5	5629,8	6434,0	7238,3
6)	1017,9	2035,8	3053,6	4071,5	5089,4	6107,2	7125,1	8143,0	9160,9
8)	1256,6	2513,3	3769,9	5026,6	6283,2	7539,8	8796,6	10053	11309
0)	1963,5	3927,0	5890,5	7854,0	9817,5	11781	13745	15708	17672



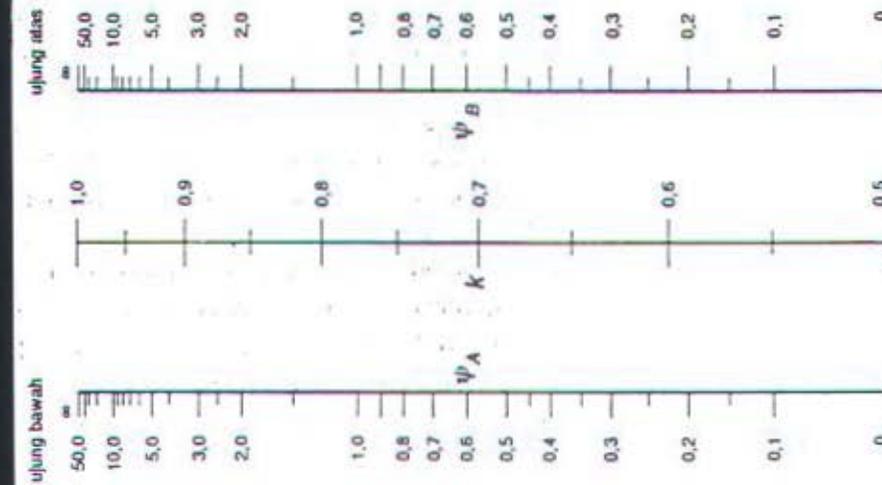
**LAMPIRAN G**

**PERENCANAAN KOLOM**



(b) kolom tanpa pengaku

$$\psi = \frac{\sum \left[ \frac{EI}{l_k} \right]_{kolom}}{\sum \left[ \frac{EI}{l_b} \right]_{balok}}$$



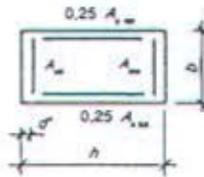
(a) kolom dengan pengaku

15\_20\_25\_30\_35 / 400  $d'/h = 0,15$

penampang kolom persegi dengan beban eksentris dan tulangan sengkang

$A_{st} = A_{sc} = 0,25$

$A_{sc} = \rho \cdot A_g$



$\rho = r \cdot \beta$

r	$\beta$
15	0,6
20	0,8
25	1,0
30	1,2
35	1,33

- I pada  $A_{st}$  tekan ( $f_c'$ )  
pada  $A_{sc}$  tekan ( $f_c'$ )

---

- II pada  $A_{st}$  tekan ( $f_c'$ )  
pada  $A_{sc}$  tekan ( $f_c'$ )

---

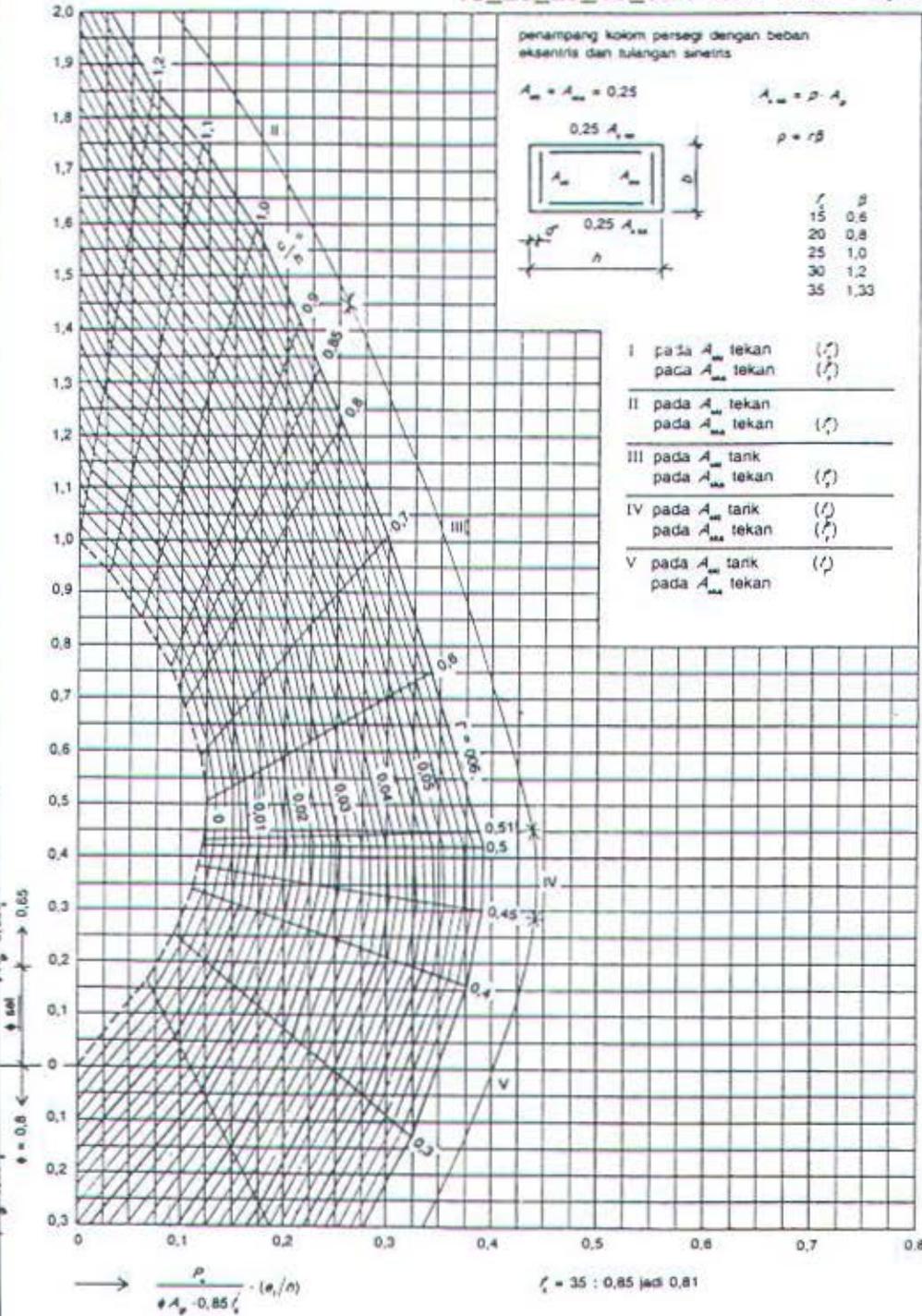
- III pada  $A_{st}$  tarik ( $f_t$ )  
pada  $A_{sc}$  tekan ( $f_c'$ )

---

- IV pada  $A_{st}$  tarik ( $f_t$ )  
pada  $A_{sc}$  tekan ( $f_c'$ )

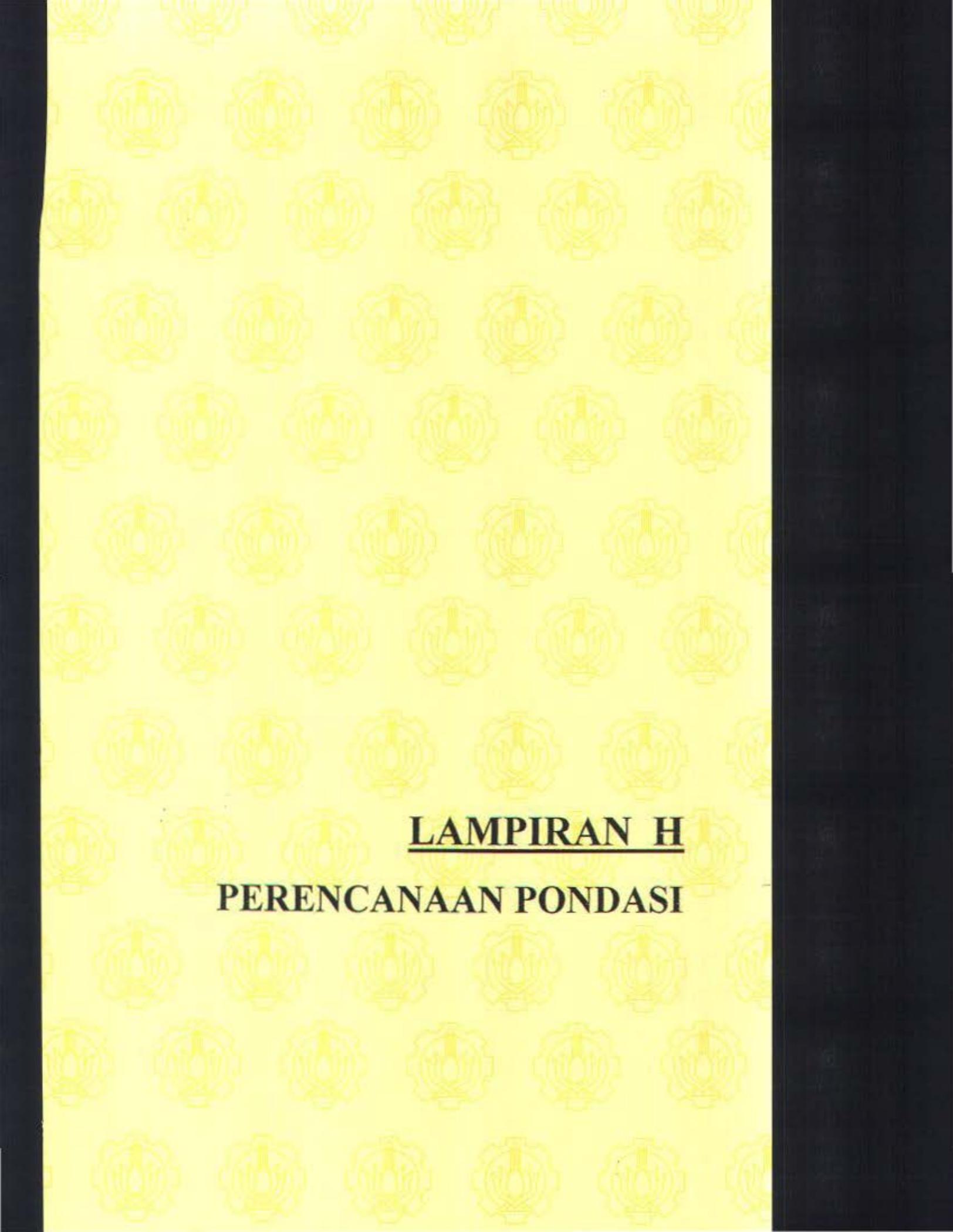
---

- V pada  $A_{st}$  tarik ( $f_t$ )  
pada  $A_{sc}$  tekan ( $f_c'$ )



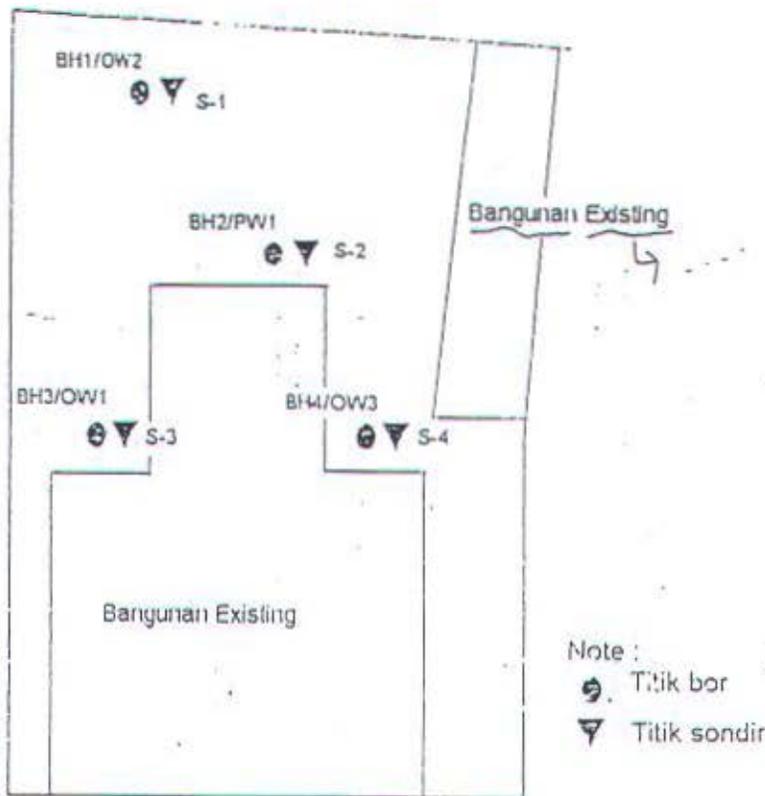
$\frac{P}{\phi A_g \cdot 0,85 f_c'} \cdot (e/h)$

$\phi = 0,85$  jadi  $0,81$



**LAMPIRAN H**

**PERENCANAAN PONDASI**



Jl. Pahlawan

. LETAK TITIK-TITIK UJI PENYELIDIKAN TANAH

PELNI 10 Lantaf.  
wari, Surabaya.

COORDINATE -  
DEPTH - 30 m

GROUND WATER LEVEL - 1.21 m  
GROUND SURFACE LEVEL 267 ± 0.00 m.

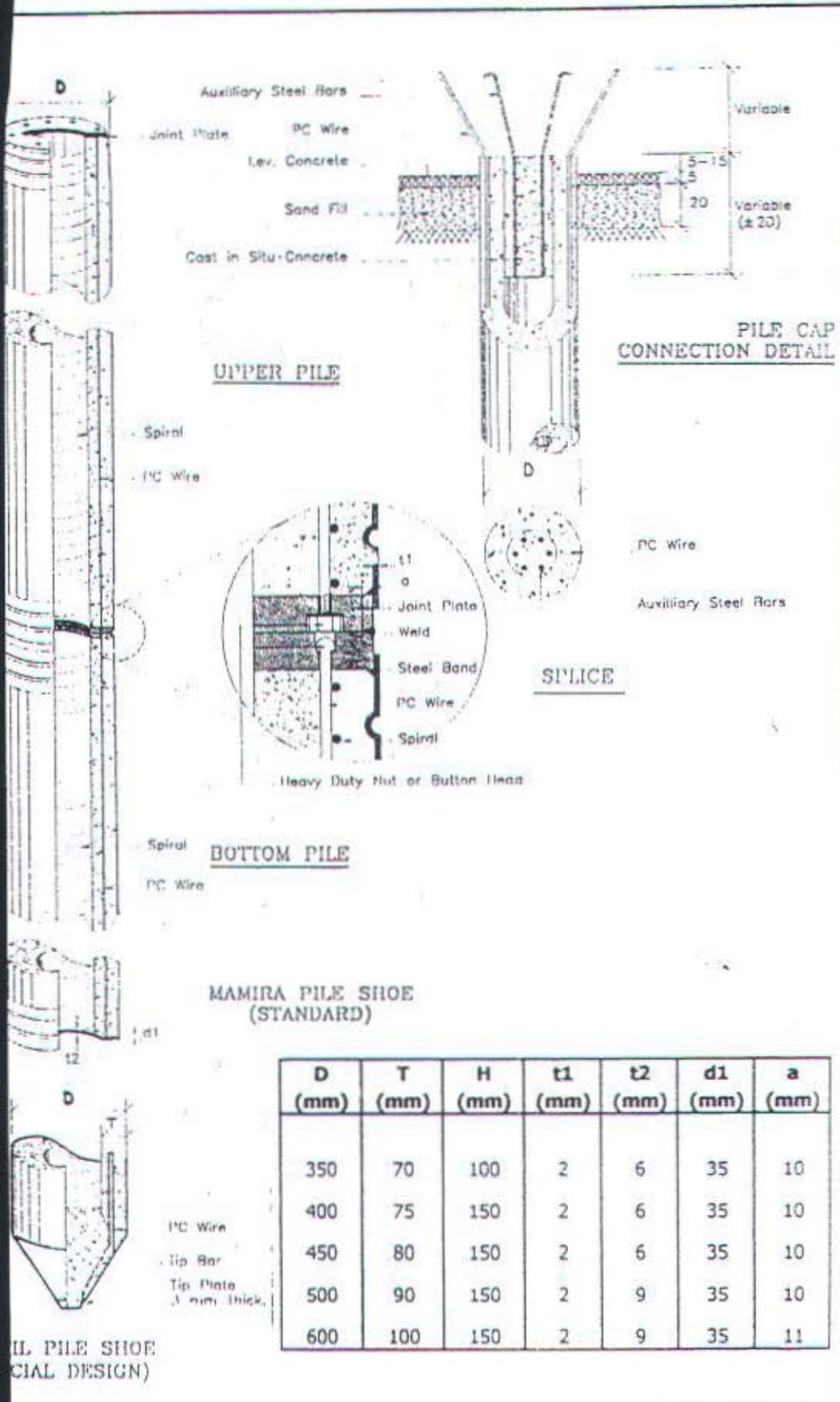
SOIL DESCRIPTION	STANDARD PENETRATION TEST					STRENGTH TEST				ATTERBERG LIMITS					γ	
	q	f <sub>s</sub>	f <sub>v</sub>	f <sub>h</sub>	f <sub>v</sub>	TYPE	c	φ	qu	su	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	w <sub>L</sub>	γ		G <sub>s</sub>
1																
1/15																
1/55																
1/50																
1/50																
1/50																
14																
25																
32																
37																
40																
47																
24																
21																

Trace  
Little  
Some  
Arid

= Thin Walled  
 = SPT  
 C = Cohesion intercept, kg/cm<sup>2</sup>  
 φ = Internal friction angle, deg

UU = Unconsolidated undrained  
 CU = Consolidated undrained  
 CD = Consolidated drained  
 SPT = Standard penetration test (blows / ft)  
 qu = Unconfined compression strength, kg/cm<sup>2</sup>

ω = W<sub>n</sub> = Moisture  
 φ = W<sub>p</sub> = Plastic limit  
 Δ = W<sub>L</sub> = Liquid limit  
 γ = Bulk density  
 G<sub>s</sub> = Specific gravity  
 e<sub>0</sub> = Void ratio



## PILE CLASSIFICATION

Pile Diameter (mm)	Thick (mm)	Class	PC Wire		Area of Steel (cm <sup>2</sup> )	Area of Concrete (cm <sup>2</sup> )	Section Modulus (cm <sup>3</sup> )	Effective Prestress (Kg/cm <sup>2</sup> )	Allowable Axial (Tf)	Bending Moment	
			D(mm)	Numb						Crack (Tfm)	Ult (Tfm)
50	70	A1	7	8	3.08	615.75	3711.17	46.74	92.15	3.50	5.25
		A3	7	12	4.62	615.75	3734.91	66.67	88.89	4.20	6.30
		B	7	16	6.16	615.75	3758.65	84.46	85.97	5.00	9.00
		C	9	12	7.63	615.75	3781.43	100.95	83.26	6.00	12.00
60	75	A2	7	12	4.62	765.77	5405.79	55.25	112.87	5.50	8.25
		A3	7	16	6.16	765.77	5432.93	70.73	109.71	6.50	9.75
		B	9	12	7.63	765.77	5458.95	80.16	107.79	7.50	13.50
			7	20	7.70	765.77	5460.06	84.84	106.83	7.50	13.50
		C	9	16	10.18	765.77	5503.81	105.53	102.62	9.00	18.00
50	80	A1	7	12	4.62	929.91	7499.79	46.49	139.23	7.50	11.25
		A2	7	16	6.16	929.91	7532.03	59.97	135.90	8.50	12.75
		A3	9	12	7.63	929.91	7562.96	67.46	134.04	10.00	15.00
			7	20	7.70	929.91	7564.27	72.49	132.79	10.00	15.00
		B	7	24	9.24	929.91	7596.51	84.08	129.92	11.00	19.80
		C	9	20	12.72	929.91	7669.56	108.62	123.85	12.50	25.00
60	90	A1	7	16	6.16	1159.25	10362.44	49.45	172.66	10.50	15.75
		A2	7	20	7.70	1159.25	10399.83	60.19	169.34	12.50	18.75
			9	12	7.63	1159.25	10398.31	56.02	170.63	12.50	18.75
		A3	7	24	9.24	1159.25	10437.22	70.32	166.21	14.00	21.00
		B	7	28	10.78	1159.25	10474.61	80.48	163.08	15.00	27.00
		C	9	24	15.27	1159.25	10583.74	104.56	155.64	17.00	34.00
60	100	A1	7	20	7.70	1570.80	17255.62	46.00	235.40	17.00	25.50
		A2	7	24	9.24	1570.80	17303.38	54.13	232.00	19.00	28.50
		A3	9	20	12.72	1570.80	17411.58	66.82	226.69	22.00	33.00
			7	32	12.32	1570.80	17398.90	69.38	225.62	22.00	33.00
		B	9	24	15.27	1570.80	17490.53	80.13	221.12	25.00	45.00
		C	9	32	20.36	1570.80	17648.44	102.89	211.60	29.00	58.00

Generally comply to JIS A 5335 - 1987 and modified to suit ACI 543 - 1979 & P.B.I 71.  
 Concrete cube Compressive strength is 600 Kg/cm<sup>2</sup> at 28 days.  
 The axial load is applicable to pile acting as a short strut.



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

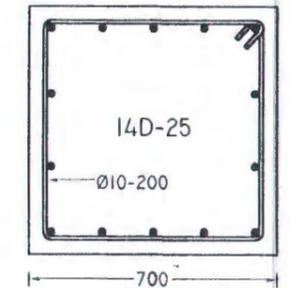
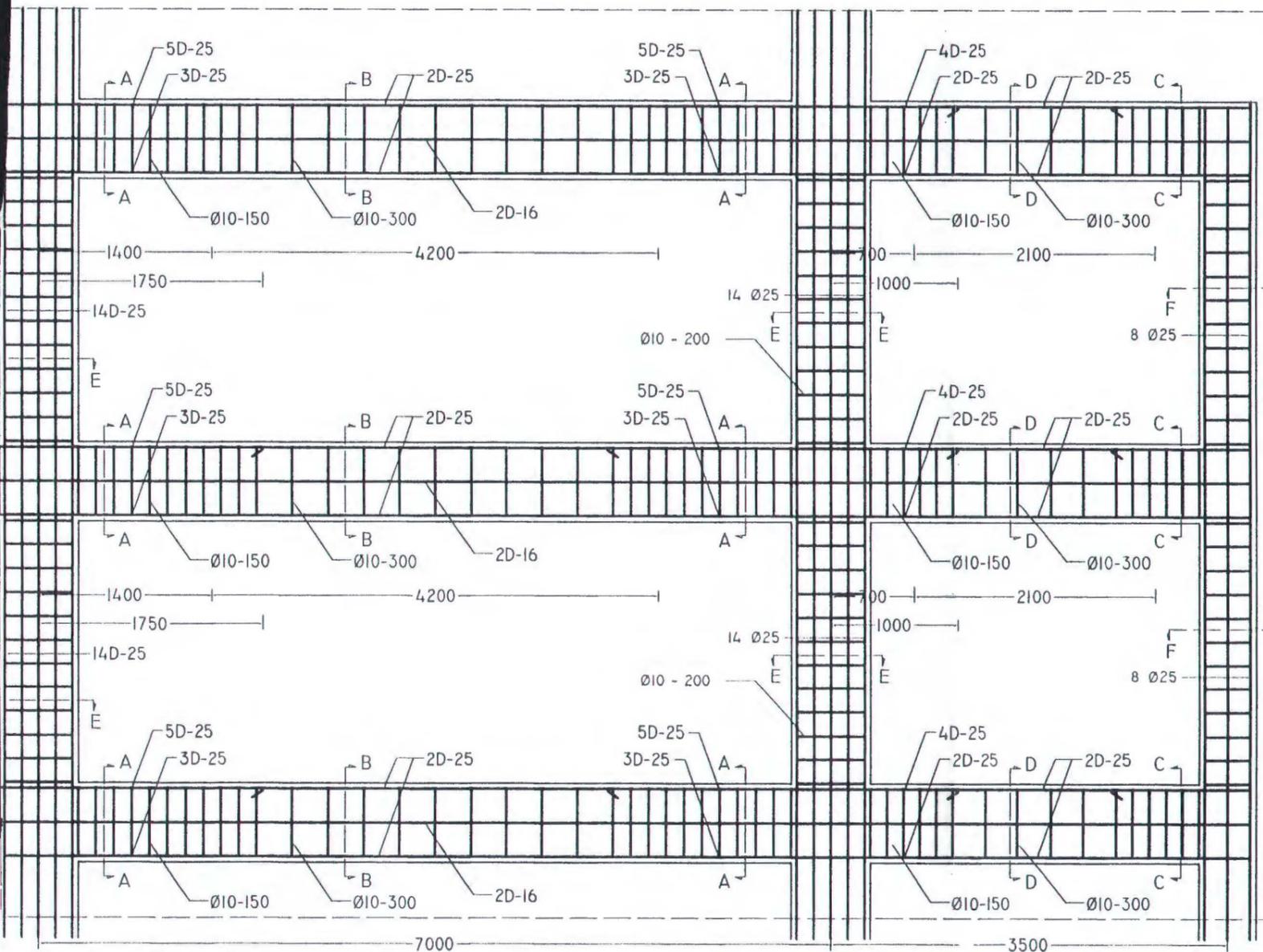
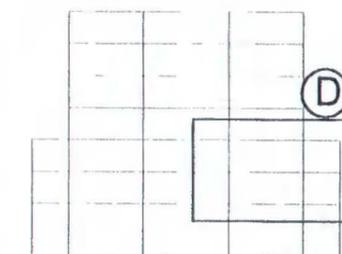
GAMBAR	SKALA
--------	-------

DETAIL PENULANGAN PORTAL D	1 : 50
----------------------------------	--------

**NO. GAMBAR**

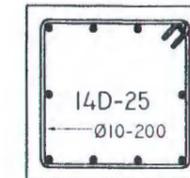
19 / 23

**KETERANGAN**



**POT E-E**  
 SKALA 1 : 20

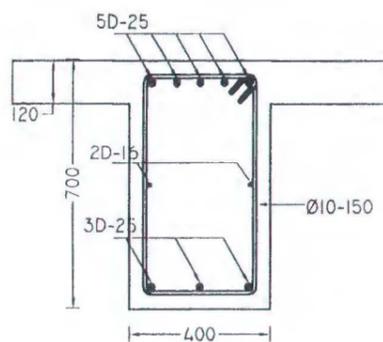
500



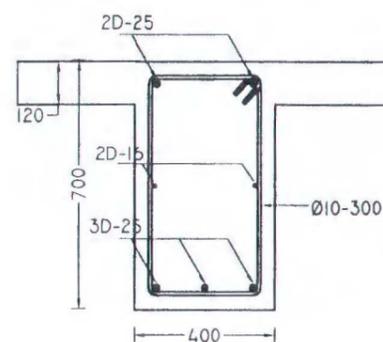
**POT F-F**  
 SKALA 1 : 20

**DETAIL PENULANGAN D PORTAL D**

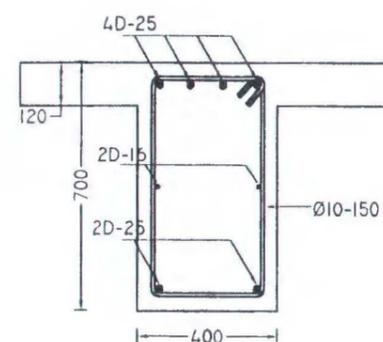
SKALA 1 : 50



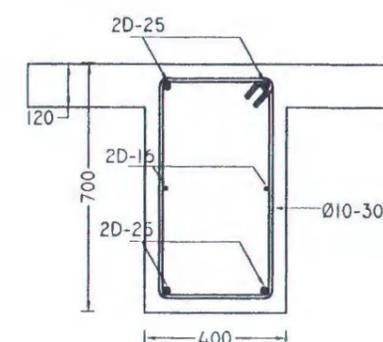
**POT A-A**  
 SKALA 1 : 20



**POT B-B**  
 SKALA 1 : 20



**POT C-C**  
 SKALA 1 : 20



**POT D-D**  
 SKALA 1 : 20



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

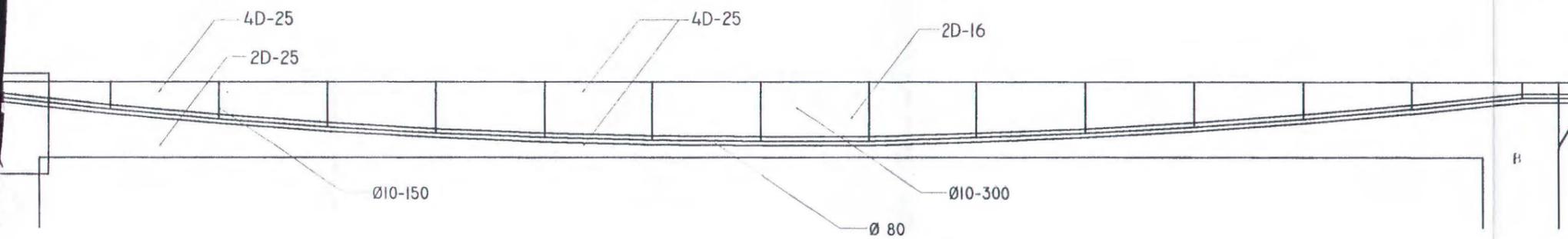
DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

GAMBAR	SKALA
PEMBESIAN BALOK PRATEKAN	1 : 10
	1 : 50

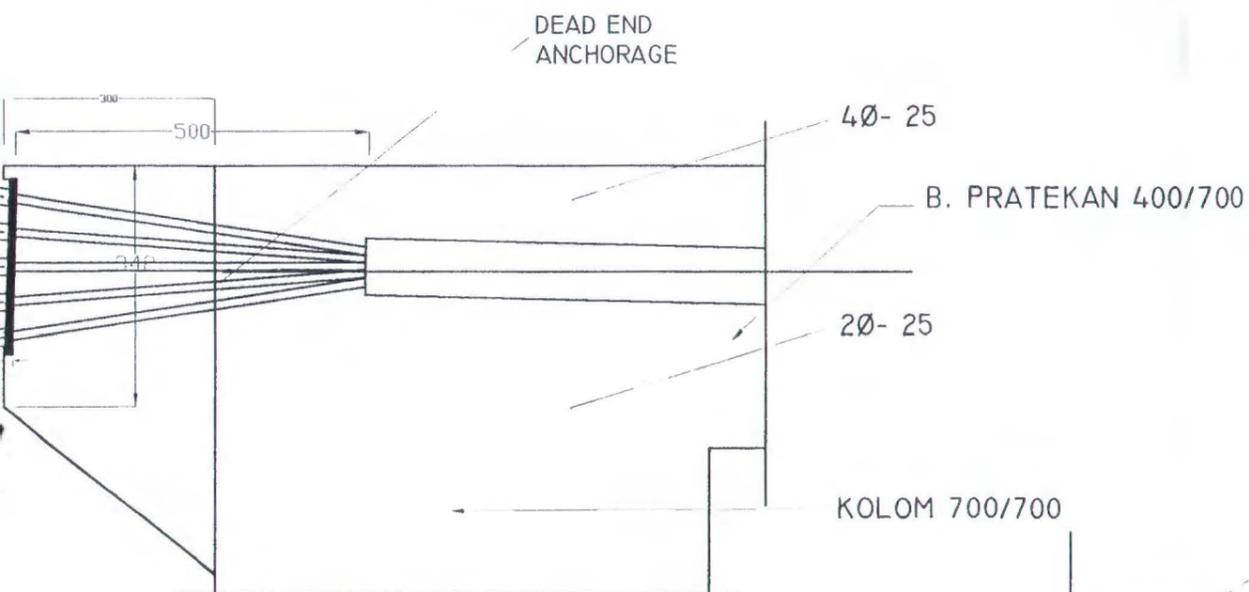
**NO. GAMBAR**

20 / 23

**KETERANGAN**



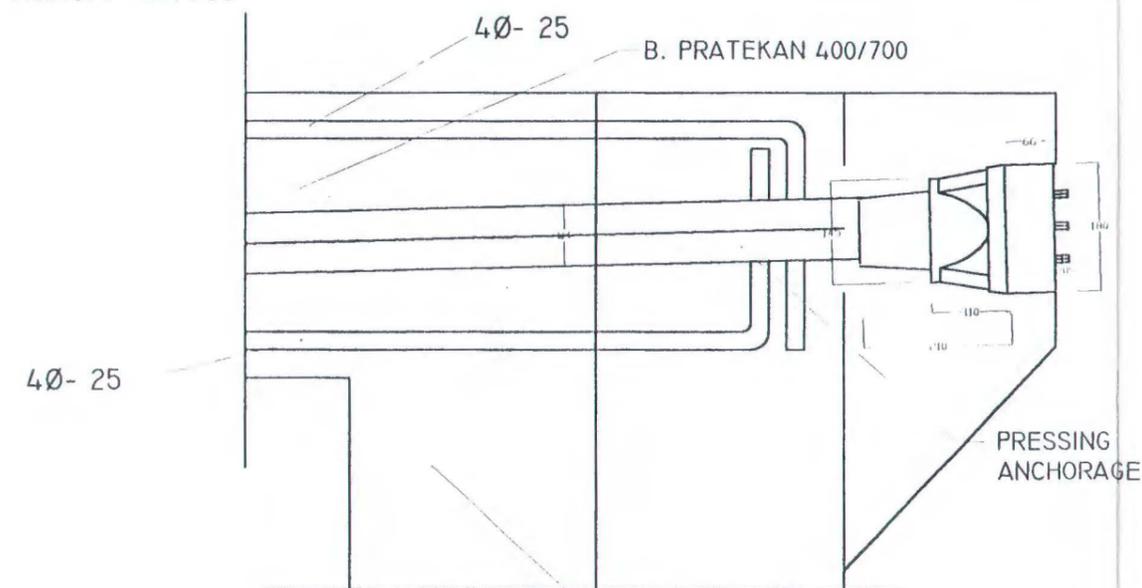
**DETAIL PEMBESIAN B. PRATEKAN 4**  
 SKALA 1 : 50



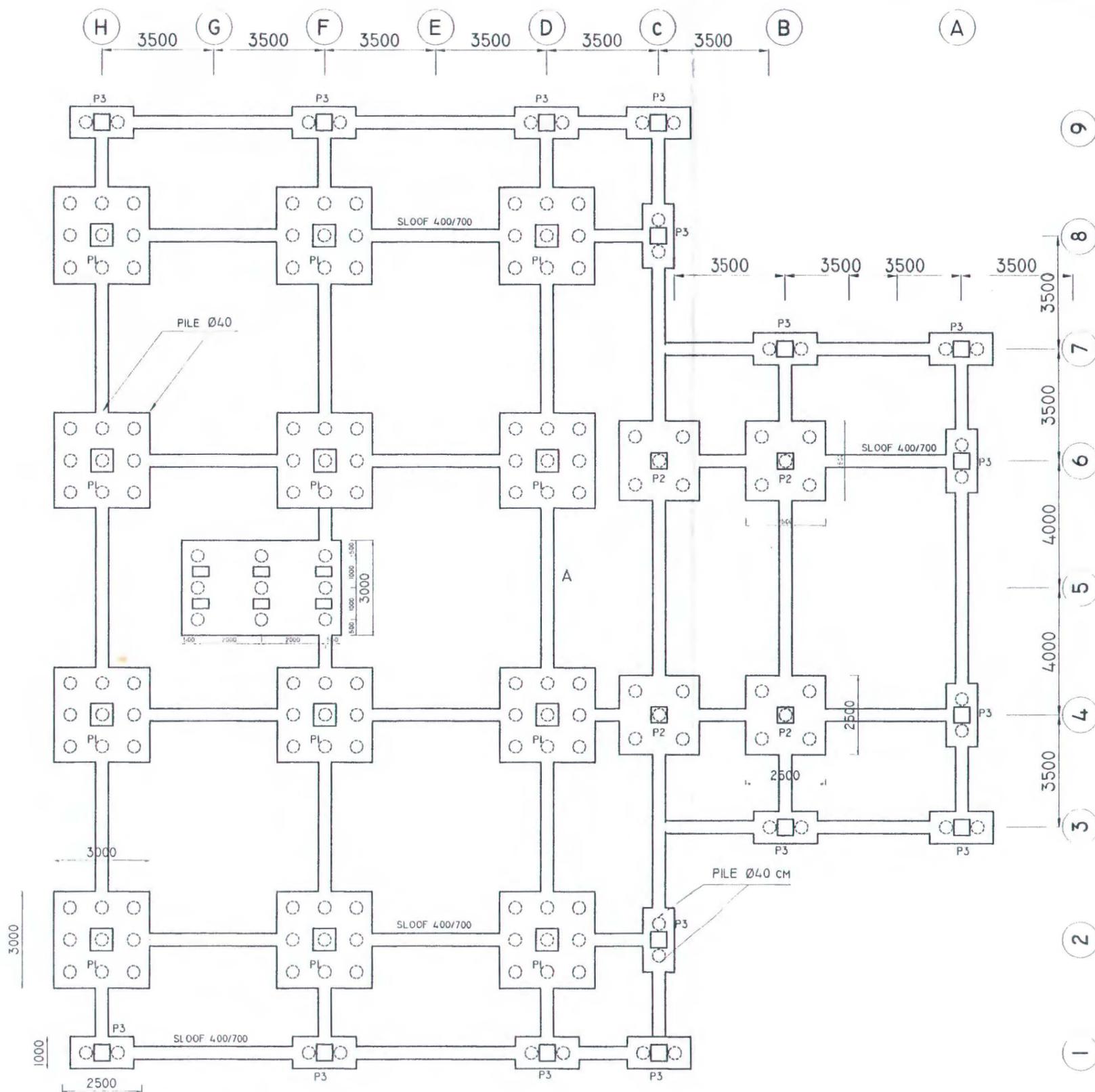
**DETAIL A - A**  
 SKALA 1 : 10

**KOORDINAT TENDON ( Dlm mm )**

X	Y dari serat atas	THD CG
0	150	-80
1000	250	+ 26
2000	346	+ 116
3000	419	+ 189
4000	477	+ 247
5000	517	+ 287
6000	542	+ 312
7000	550	+ 320



**DETAIL B - B**  
 SKALA 1 : 10



RENCANA DENAH PONDASI  
SKALA 1 : 150



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
DENGAN BALOK PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
BUDI SUSWANTO, ST, MT.

MAHASISWA

DONNY MEGA U.  
3197 100 049

GAMBAR SKALA

DENAH RENCANA  
PONDASI 1 : 150

NO. GAMBAR

21 / 23

KETERANGAN



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

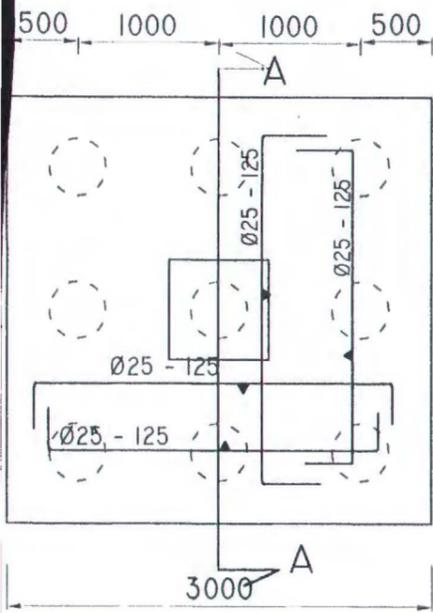
DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

GAMBAR	SKALA
DETAIL PENULANGAN POER	1 : 15

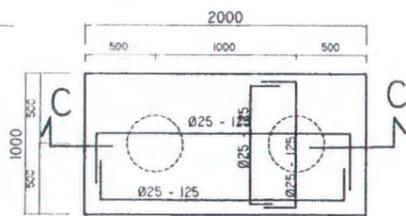
**NO. GAMBAR**

22 / 23

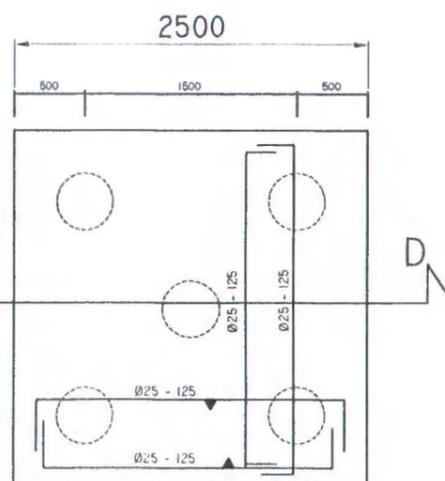
**KETERANGAN**



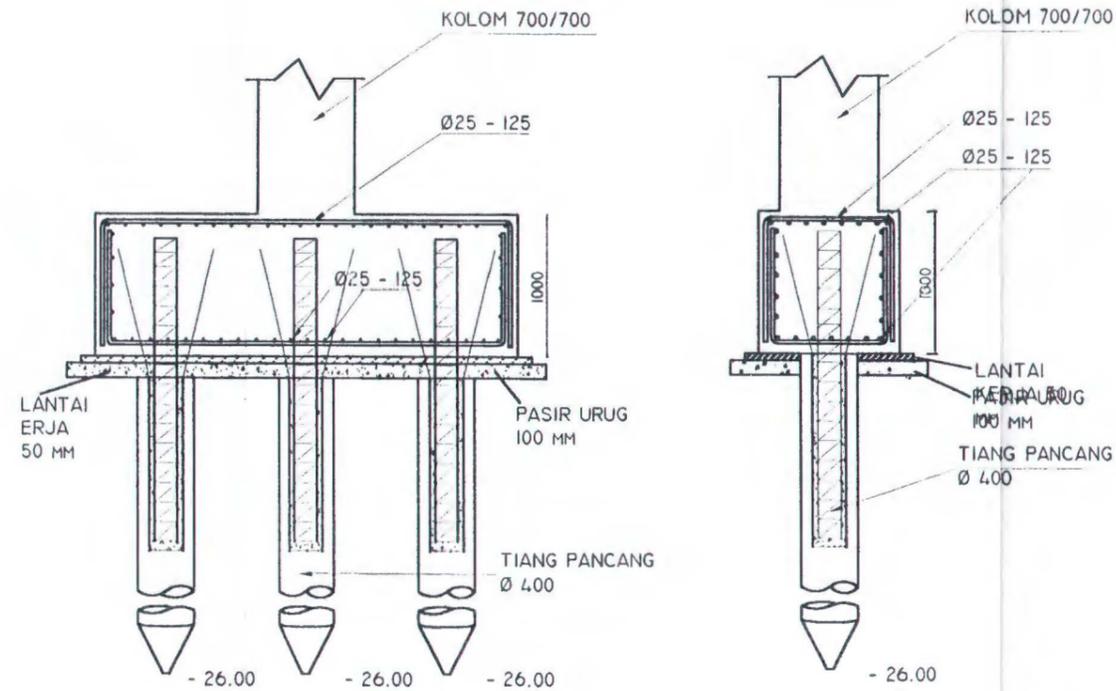
POER P1  
 SKALA 1 : 50



POER P3  
 SKALA 1 : 50

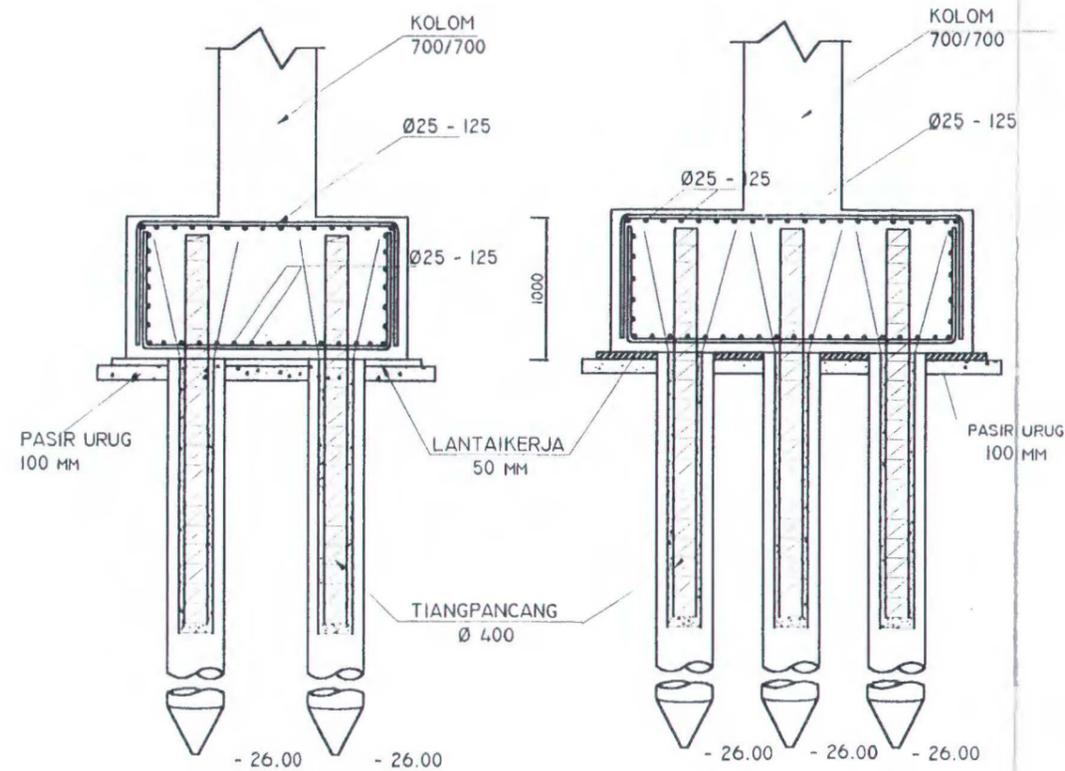


POER P2  
 SKALA 1 : 50



POTONGAN A-A  
 SKALA 1 : 50

POTONGAN B-B  
 SKALA 1 : 50



POTONGAN C-C  
 SKALA 1 : 50

POTONGAN D-D  
 SKALA 1 : 50



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

GAMBAR	SKALA
--------	-------

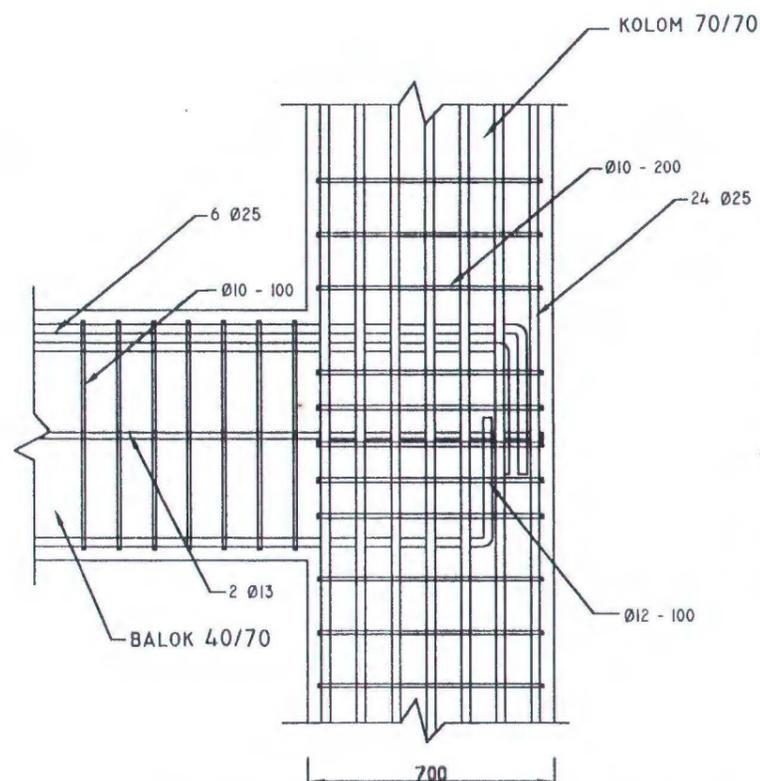
BALOK KOLOM JOINT	1 : 20
-------------------	--------

DETAIL SLOOF A	1 : 50
----------------	--------

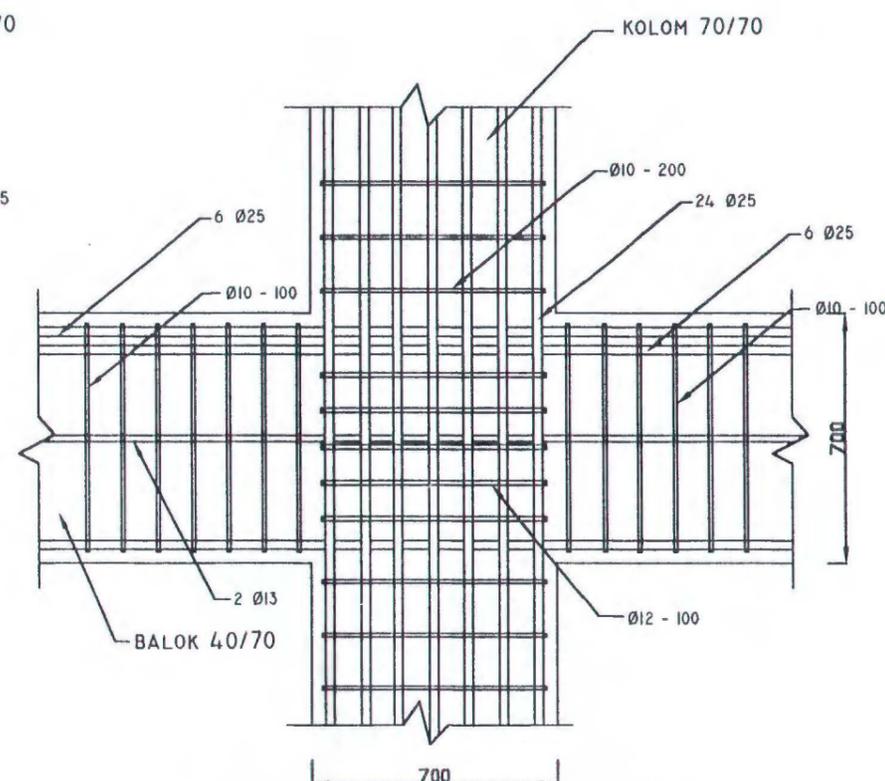
**NO. GAMBAR**

23 / 23

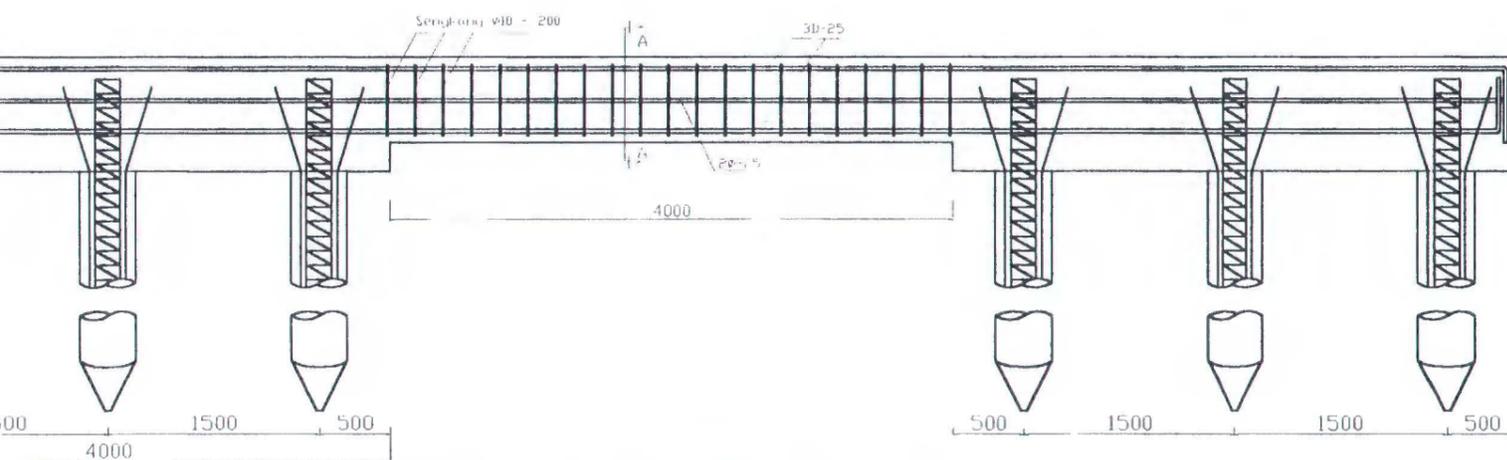
**KETERANGAN**



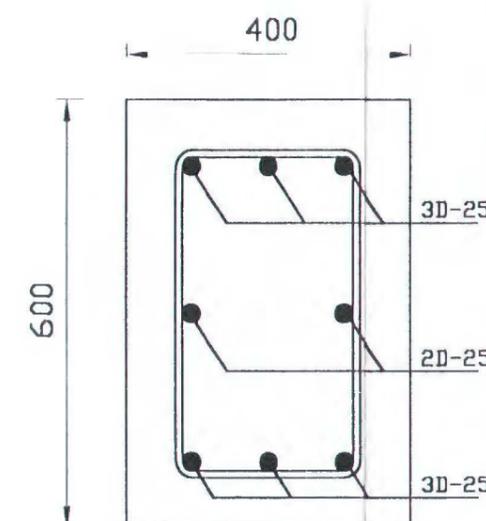
**PENULANGAN HUBUNGAN BALOK KOLOM**  
 SKALA 1 : 20



**PENULANGAN HUBUNGAN BALOK KOLOM**  
 SKALA 1 : 20



**DETAIL PENULANGAN SLOOF A**  
 SKALA 1 : 50



**POT A - A**  
 skala 1 : 10



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

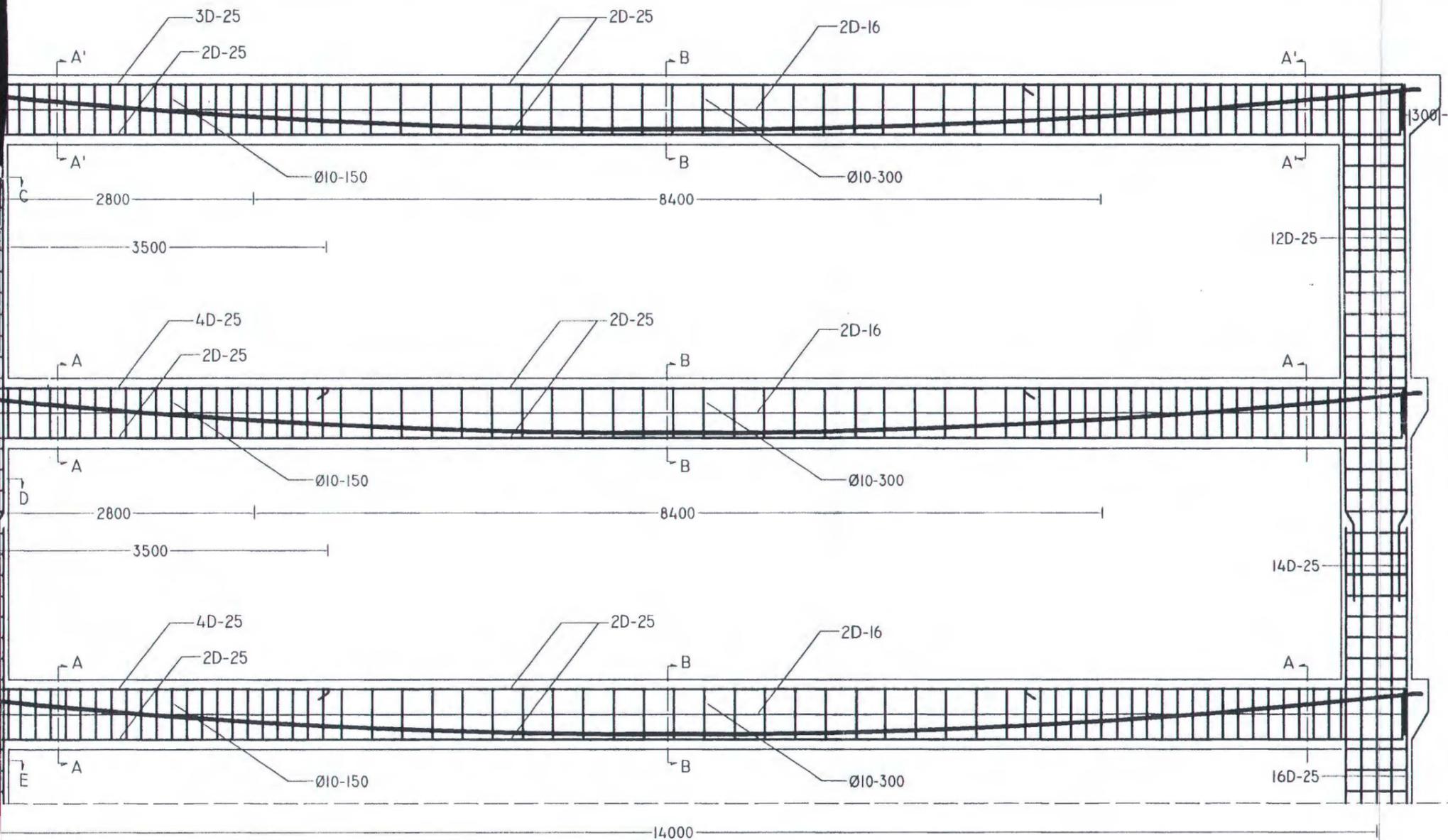
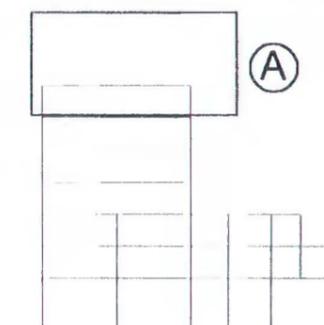
**GAMBAR**      **SKALA**

DETAIL  
 PENULANGAN  
 PORTAL 4      1 : 50

**NO. GAMBAR**

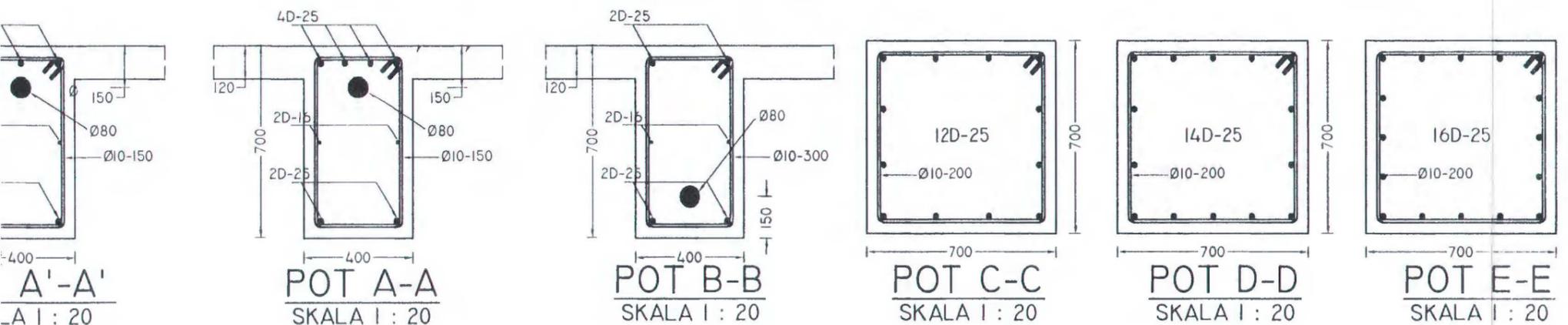
16 / 23

**KETERANGAN**



**DETAIL PENULANGAN A PORTAL 4**

SKALA 1 : 50





JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

MAHASISWA

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

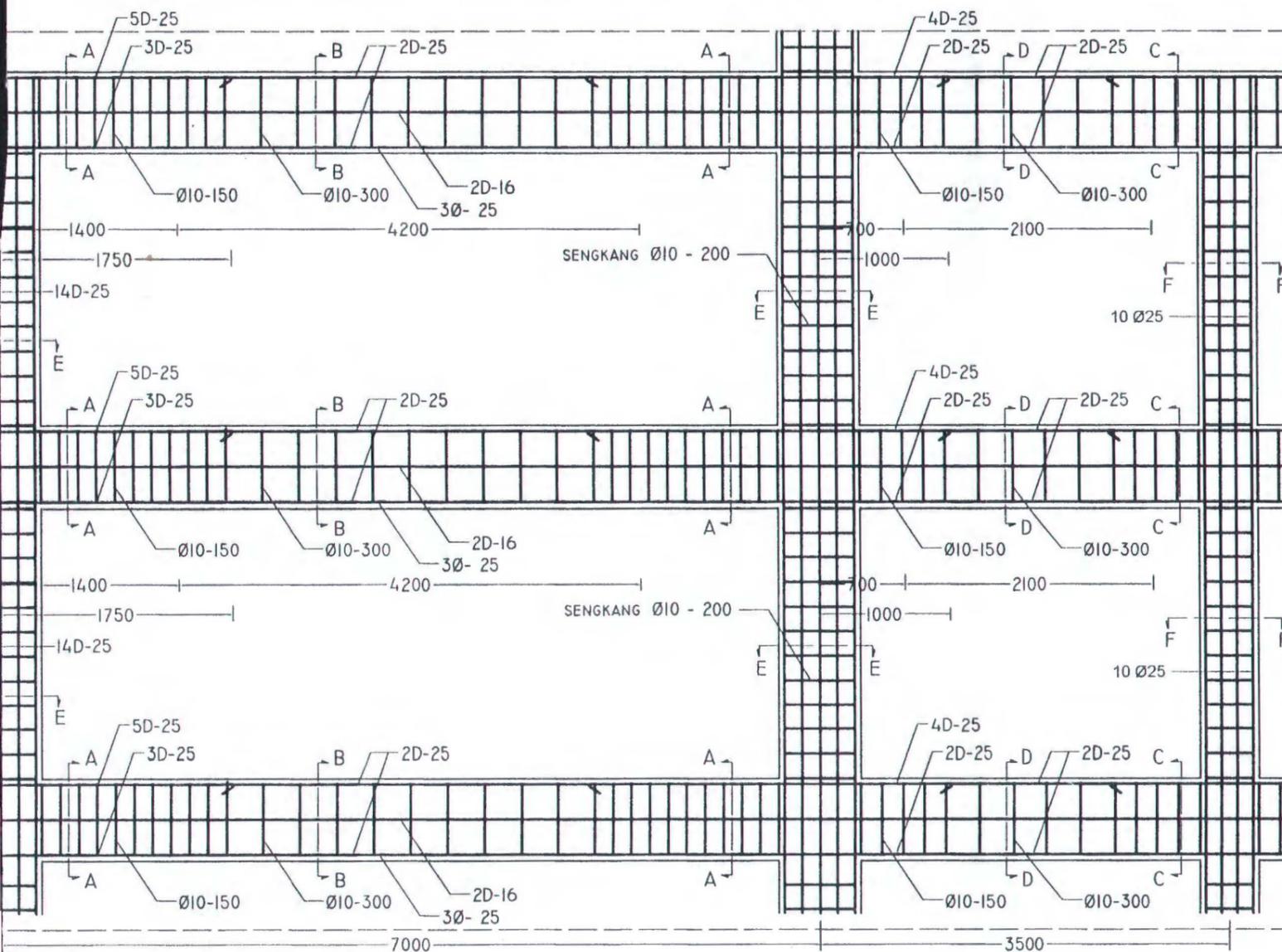
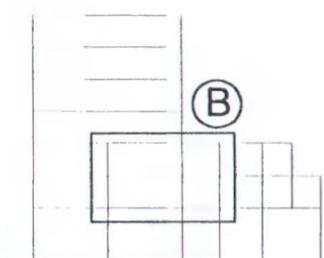
GAMBAR	SKALA
--------	-------

DETAIL PENULANGAN PORTAL 4	1 : 50
----------------------------------	--------

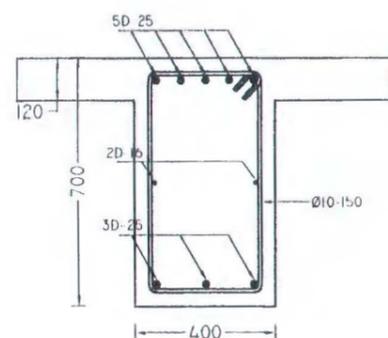
NO. GAMBAR

17 / 23

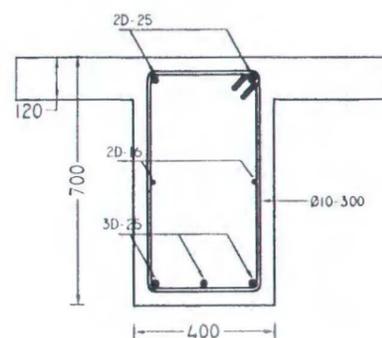
KETERANGAN



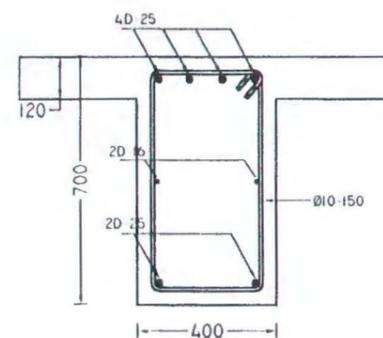
DETAIL PENULANGAN B PORTAL 4  
 SKALA 1 : 50



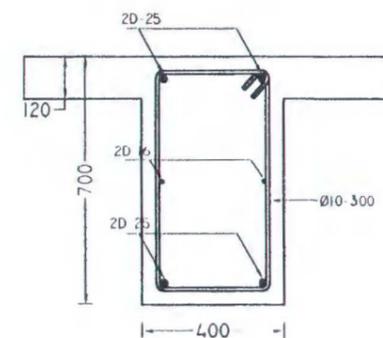
POT A-A  
 SKALA 1 : 20



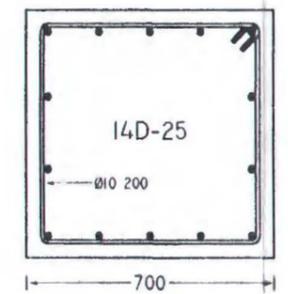
POT B-B  
 SKALA 1 : 20



POT C-C  
 SKALA 1 : 20

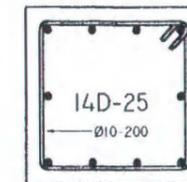


POT D-D  
 SKALA 1 : 20



POT E-E  
 SKALA 1 : 20

500



POT F-F  
 SKALA 1 : 20



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

**GAMBAR**

**SKALA**

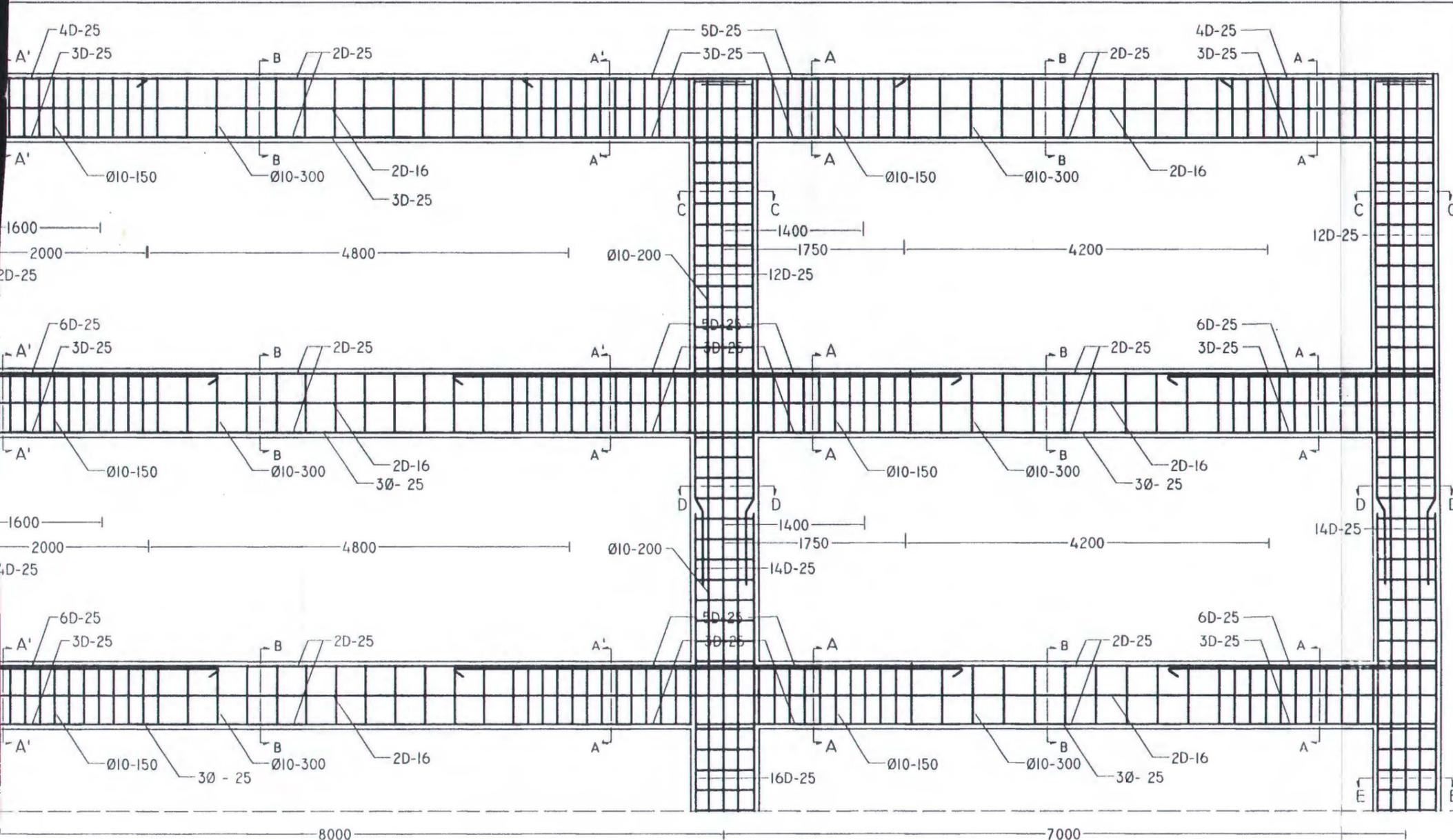
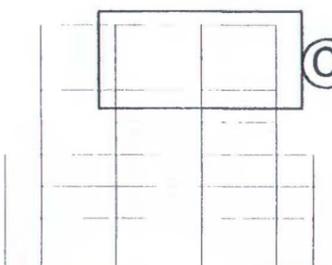
DETAIL  
 PENULANGAN  
 PORTAL D

1 : 50

**NO. GAMBAR**

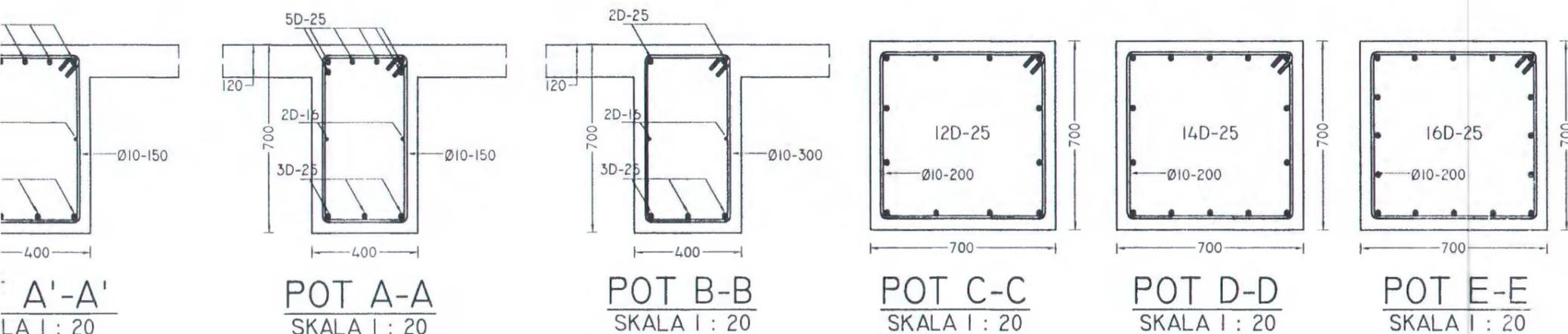
18 / 23

**KETERANGAN**



**DETAIL PENULANGAN C PORTAL D**

SKALA 1 : 50



A'-A'  
 SKALA 1 : 20

POT A-A  
 SKALA 1 : 20

POT B-B  
 SKALA 1 : 20

POT C-C  
 SKALA 1 : 20

POT D-D  
 SKALA 1 : 20

POT E-E  
 SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
DENGAN BALOK PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
BUDI SUSWANTO, ST, MT.

MAHASISWA

DONNY MEGA U.  
3197 100 049

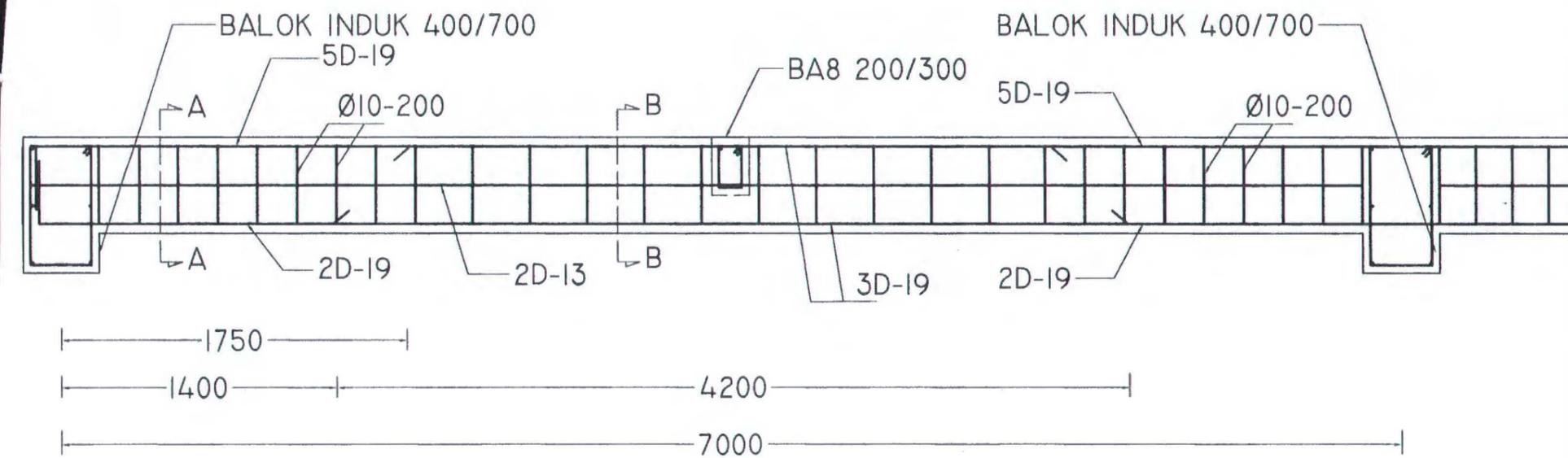
GAMBAR SKALA

PENULANGAN  
LT 5-7 1 : 30

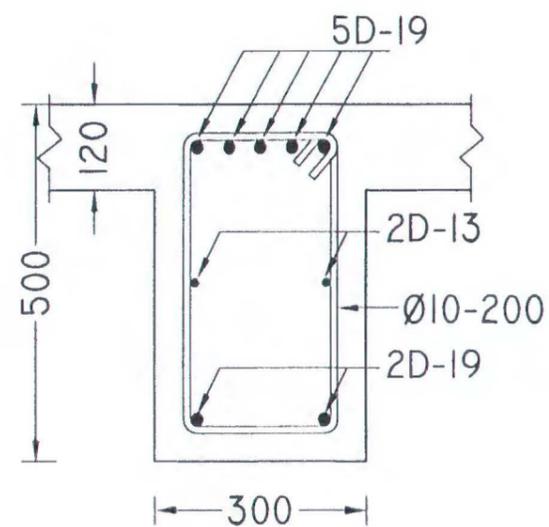
NO. GAMBAR

12 / 23

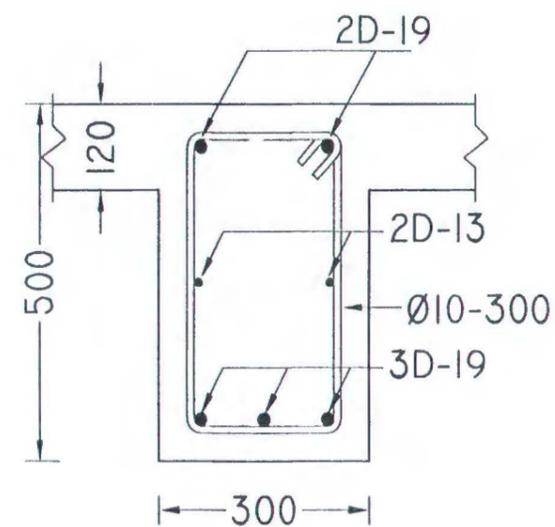
KETERANGAN



PENULANGAN BALOK ANAK BA7 LT 5-7  
SKALA 1 : 30



POT A-A  
SKALA 1 : 10



POT B-B  
SKALA 1 : 10



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

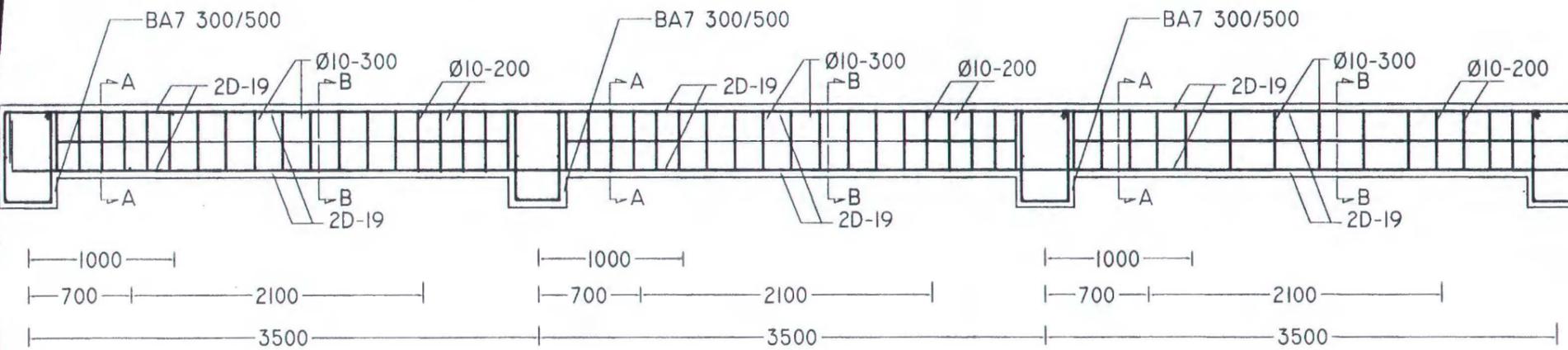
GAMBAR	SKALA
--------	-------

PENULANGAN BA8	1 : 40
-------------------	--------

**NO. GAMBAR**

13 / 23

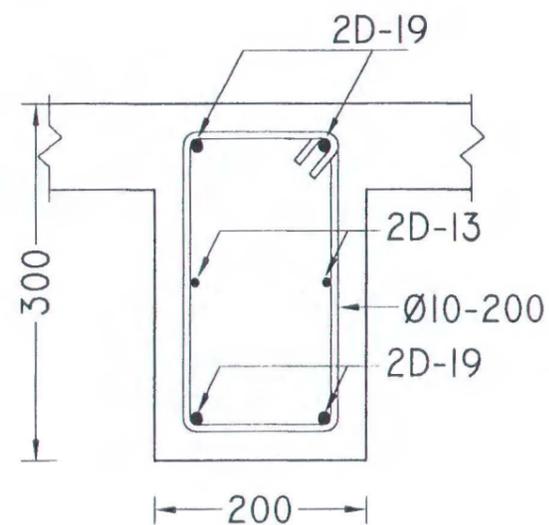
**KETERANGAN**



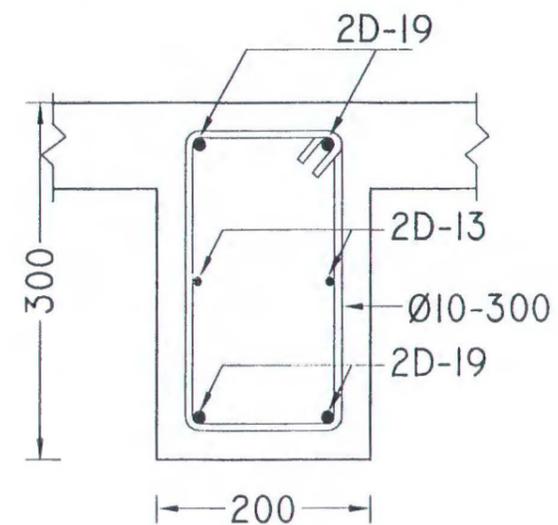
**PENULANGAN BALOK ANAK BA8**  
 SKALA 1 : 40

BALOK INDUK 400/700  
 50-10

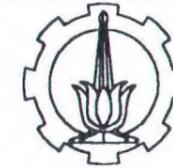
BALOK INDUK 400/700



**POT A-A**  
 SKALA 1 : 10



**POT B-B**  
 SKALA 1 : 10



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
DENGAN BALOK PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
BUDI SUSWANTO, ST, MT.

MAHASISWA

DONNY MEGA U.  
3197 100 049

GAMBAR

SKALA

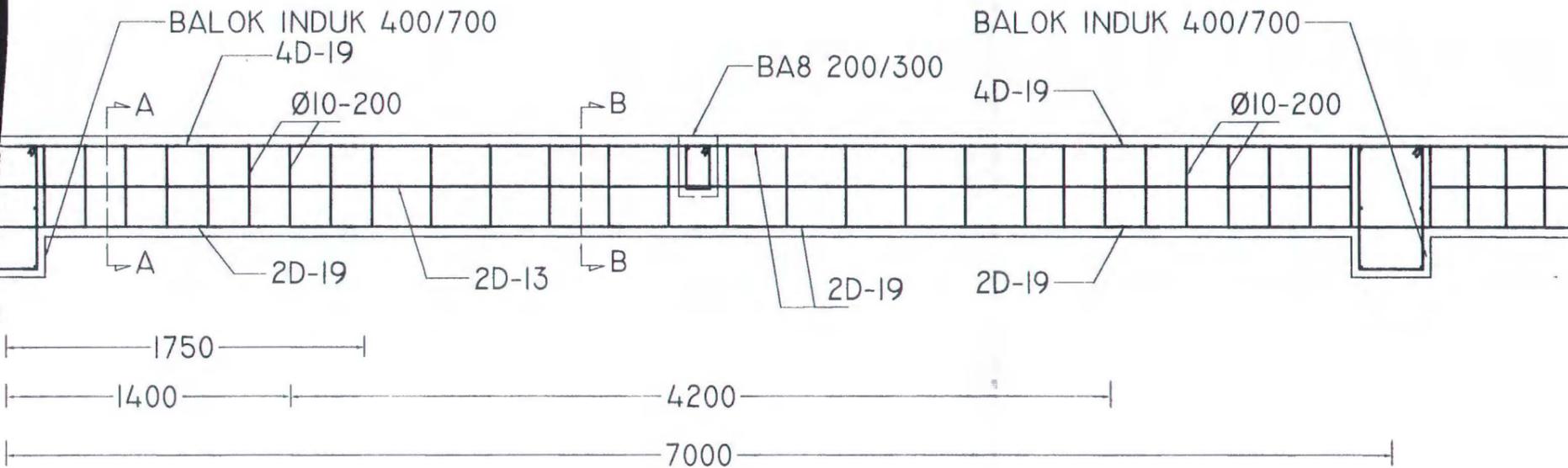
PENULANGAN  
BA7

1 : 30

NO. GAMBAR

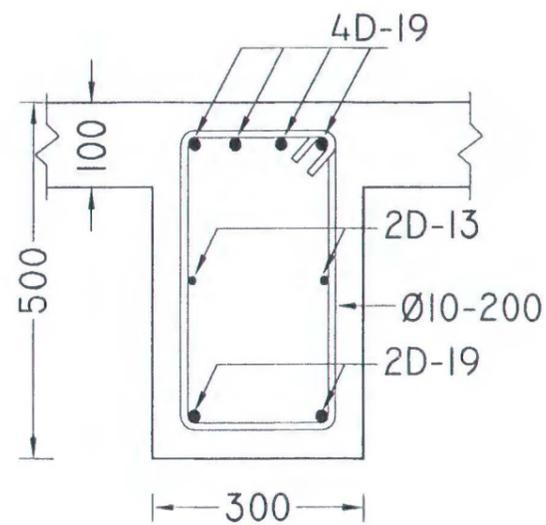
14 / 23

KETERANGAN

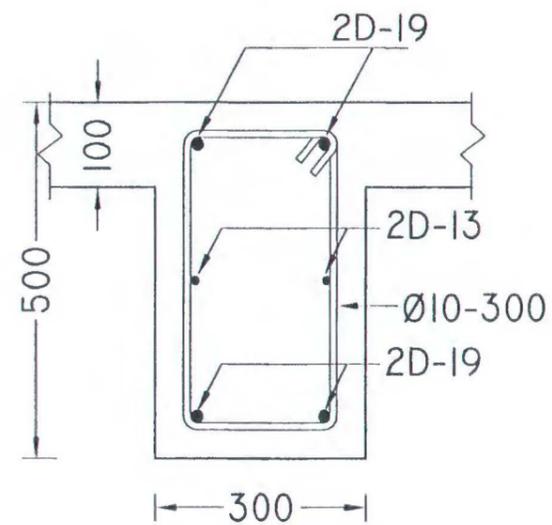


### PENULANGAN BALOK ANAK BA7 ATAP

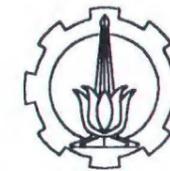
SKALA 1 : 30



POT A-A  
SKALA 1 : 10



POT B-B  
SKALA 1 : 10



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

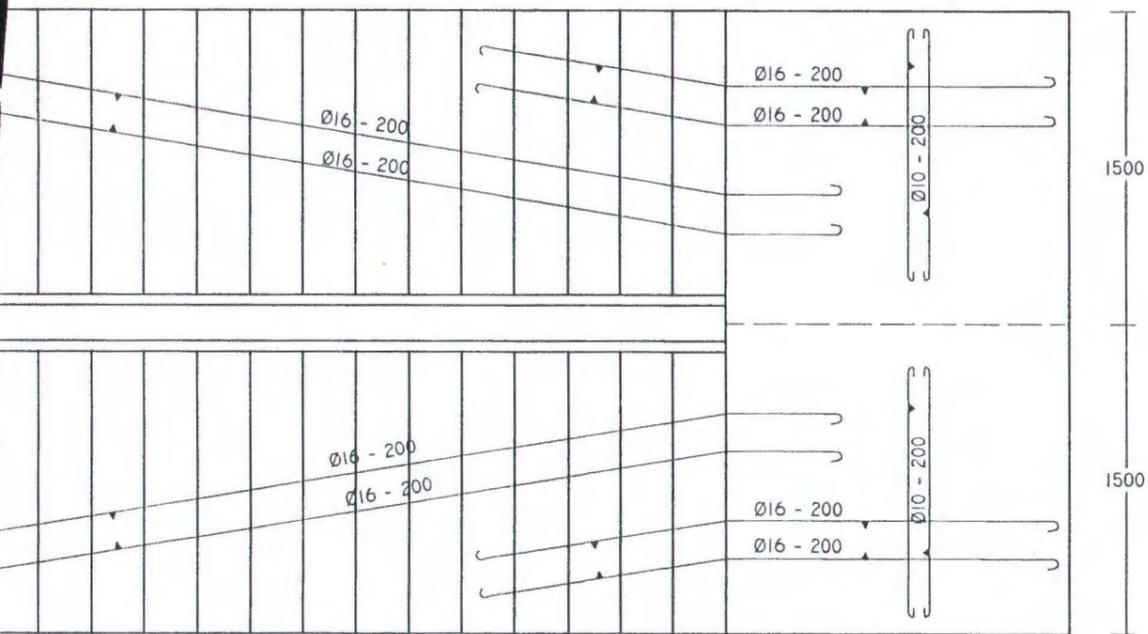
GAMBAR	SKALA
--------	-------

PENULANGAN TANGGA	1 : 40
	1 : 15

**NO. GAMBAR**

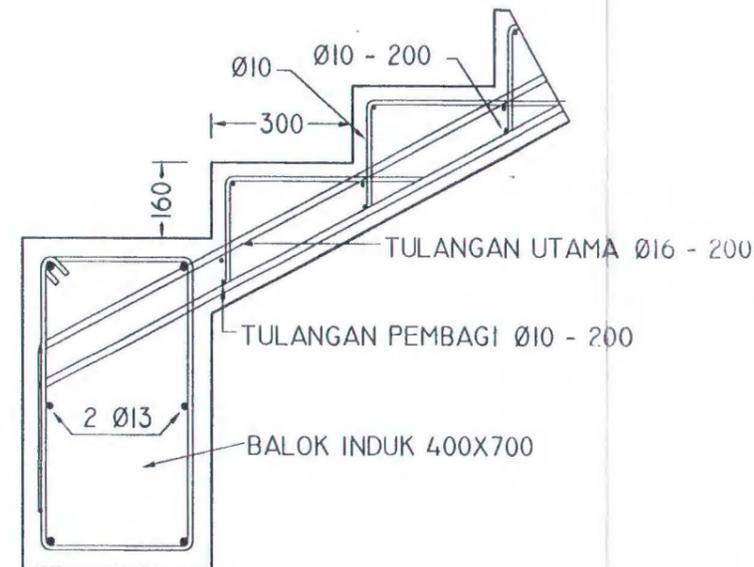
15 / 23

**KETERANGAN**



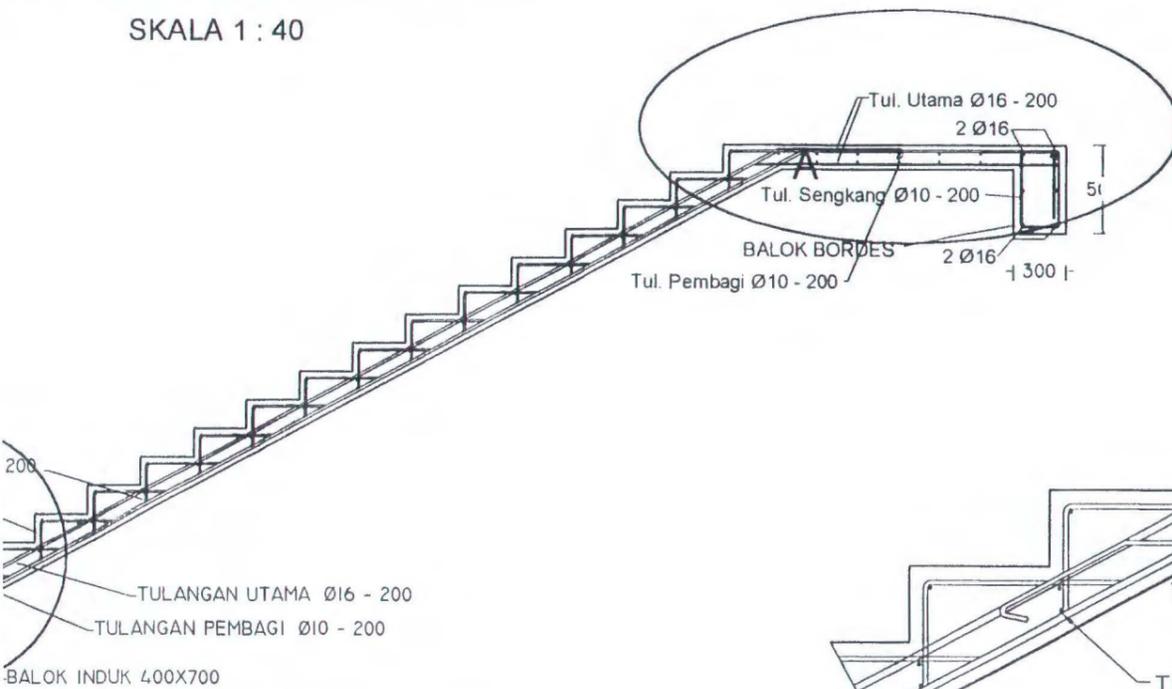
**RENCANA PENULANGAN TANGGA**

SKALA 1 : 40



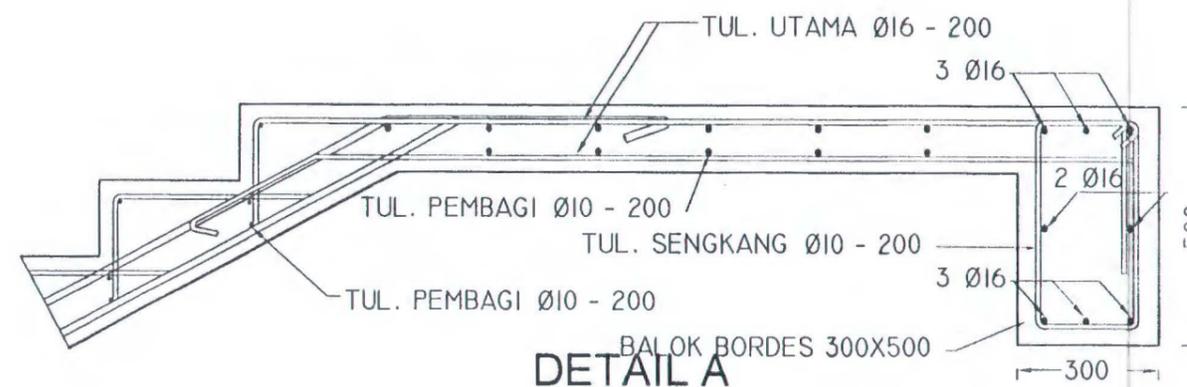
**DETAIL A**

SKALA 1 : 15



**RENCANA TONGKANG MEMANJANG**

SKALA 1 : 40



**DETAIL A**

SKALA 1 : 15



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

MAHASISWA

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

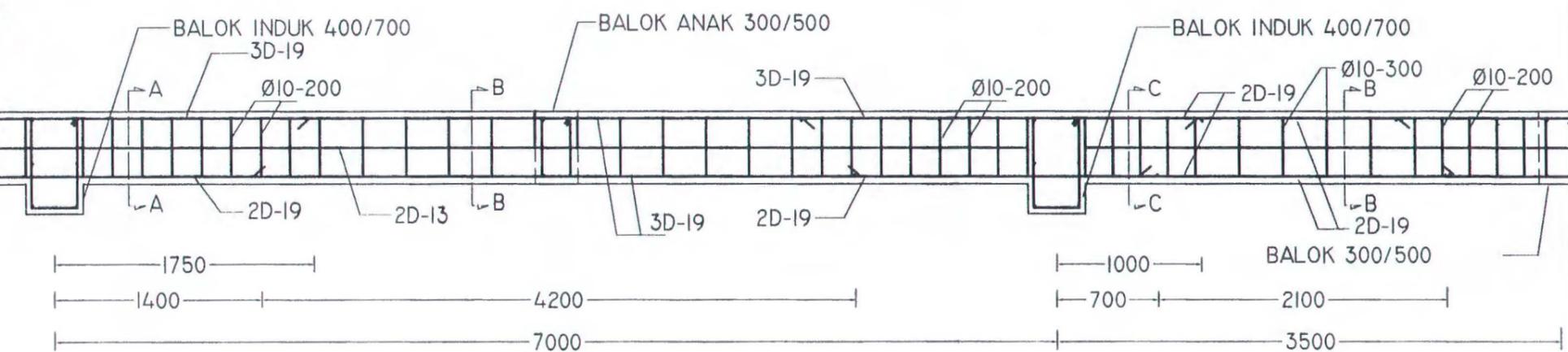
GAMBAR SKALA

PENULANGAN  
 LT 2-4 1 : 40

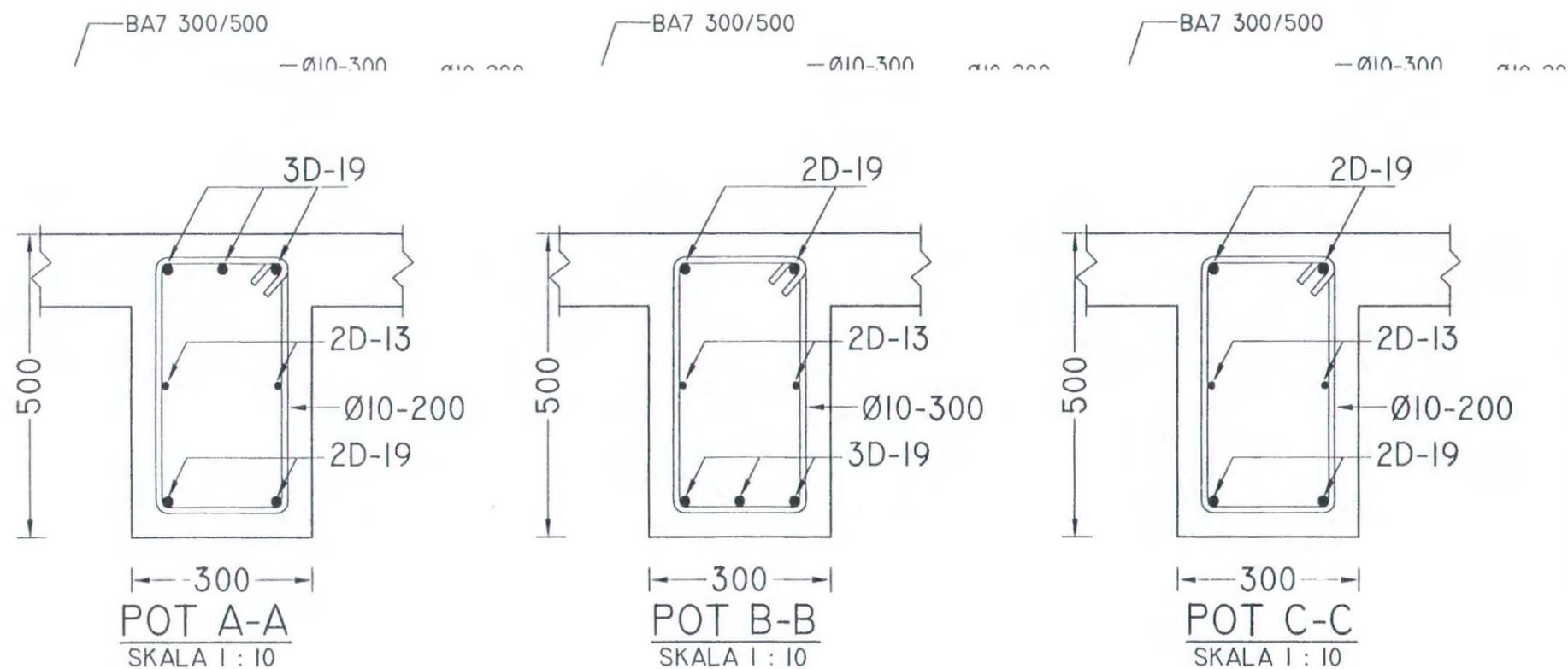
NO. GAMBAR

11 / 23

KETERANGAN



PENULANGAN BALOK ANAK LT 2-4  
 SKALA 1 : 40



POT A-A  
 SKALA 1 : 10

POT B-B  
 SKALA 1 : 10

POT C-C  
 SKALA 1 : 10



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

IR. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

MAHASISWA

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

GAMBAR

SKALA

RENCANA  
 BALOK-KOLOM  
 LANTAI 2

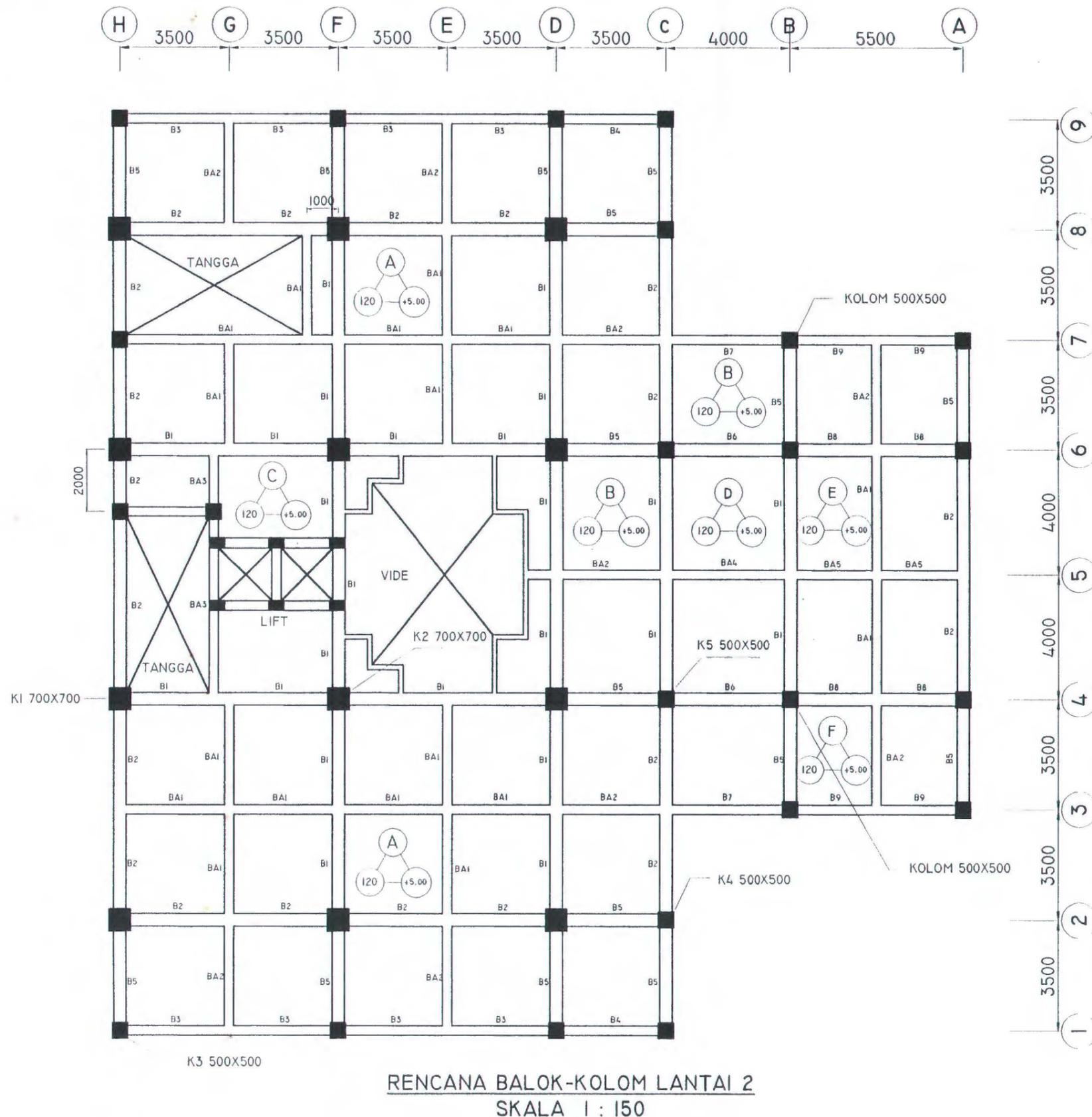
1 : 150

NOMOR GAMBAR

1 / 23

KETERANGAN

ELEVASI LT.2  
 : +5.00



RENCANA BALOK-KOLOM LANTAI 2  
 SKALA 1 : 150



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

MAHASISWA

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

GAMBAR SKALA

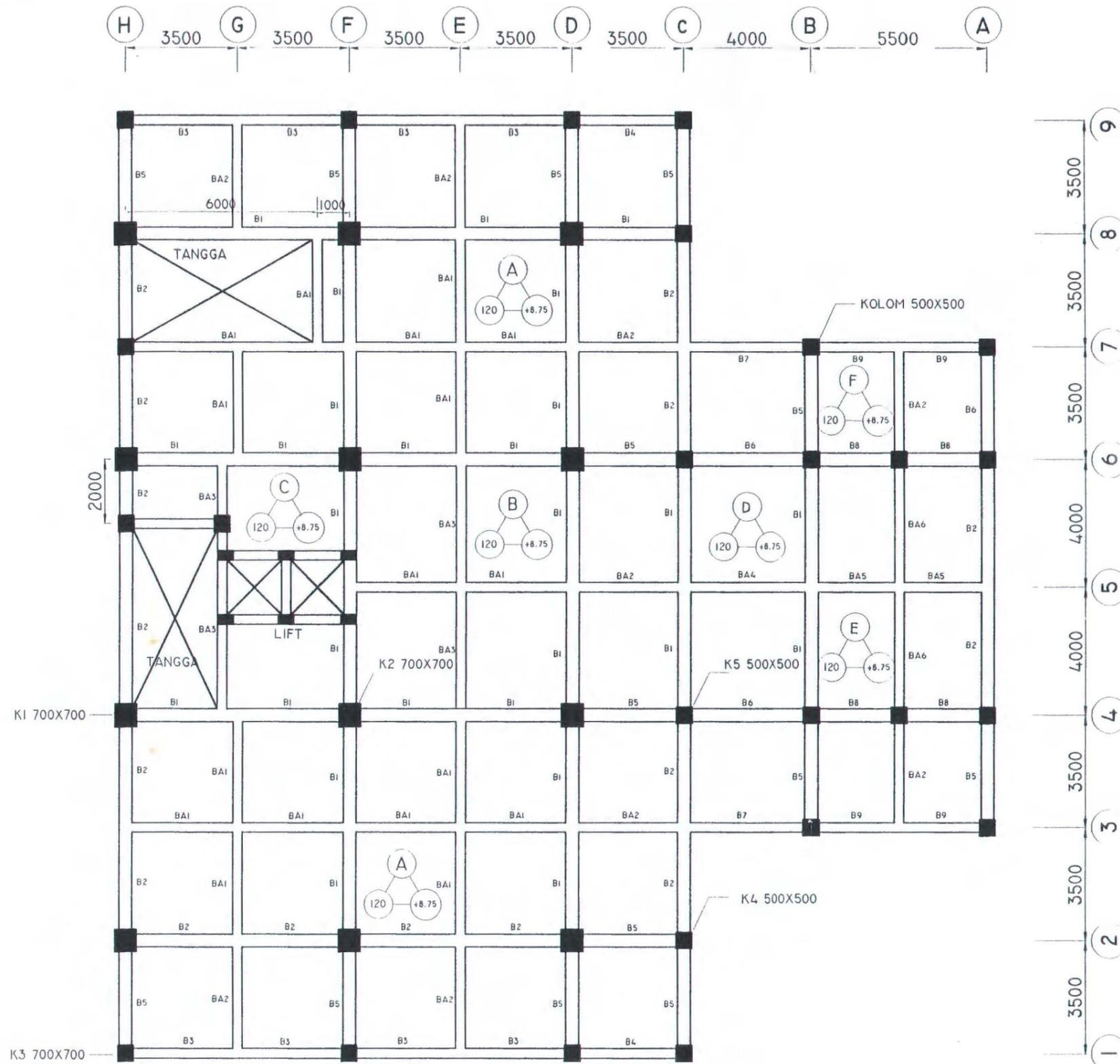
RENCANA BALOK  
 KOLOM LANTAI 3 1 : 150

NO. GAMBAR

2 / 23

KETERANGAN

ELEVASI LT. 3 +9.00



**RENCANA BALOK-KOLOM LANTAI 3**  
 SKALA 1 : 150



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

**GAMBAR**      **SKALA**

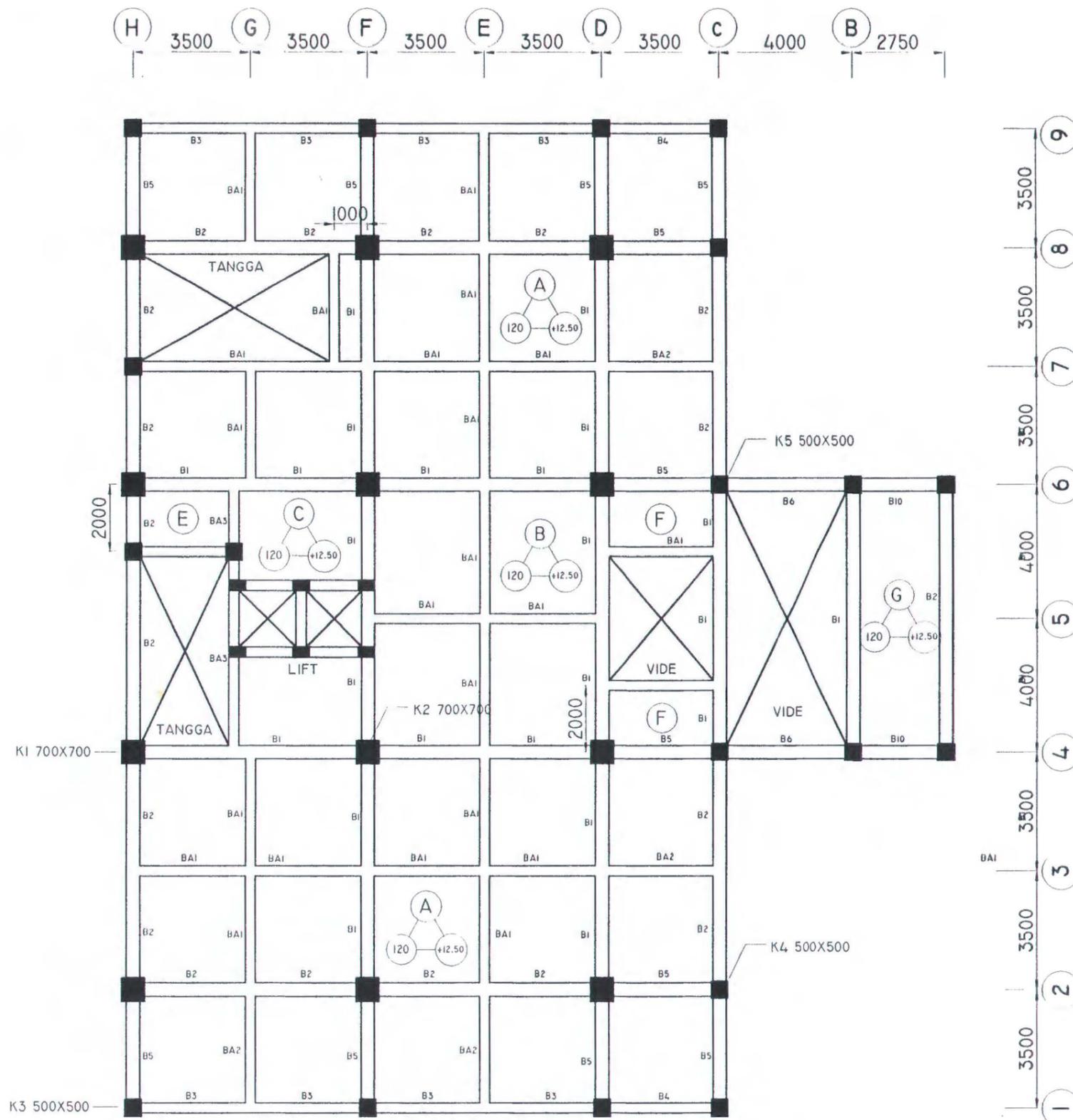
RENCANA BALOK  
 KOLOM LANTAI 4      1 : 150

**NO. GAMBAR**

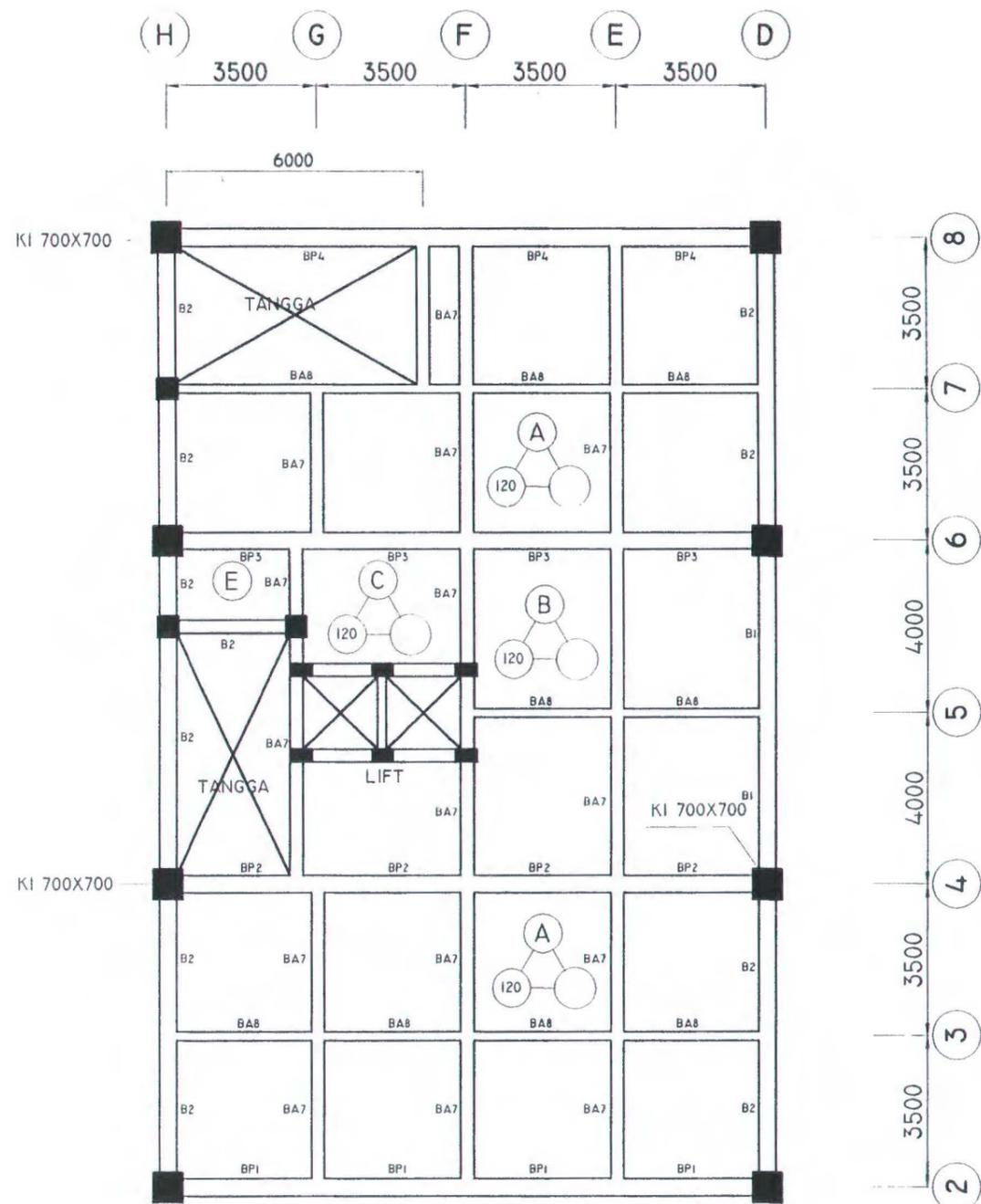
3 / 23

**KETERANGAN**

ELEVASI LT.4  
 : +13.00



**RENCANA BALOK-KOLOM LANTAI 4**  
 SKALA 1 : 100



**RENCANA BALOK-KOLOM LANTAI 5-7**  
 SKALA 1 : 150



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

**GAMBAR SKALA**

RENCANA BALOK  
 KOLOM LANTAI 5-7 1 : 150

**NO. GAMBAR**

4 / 23

**KETERANGAN**

ELEVASI LT.5 : +17.00  
 6 : +21.00  
 7 : +25.00



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

**GAMBAR**      **SKALA**

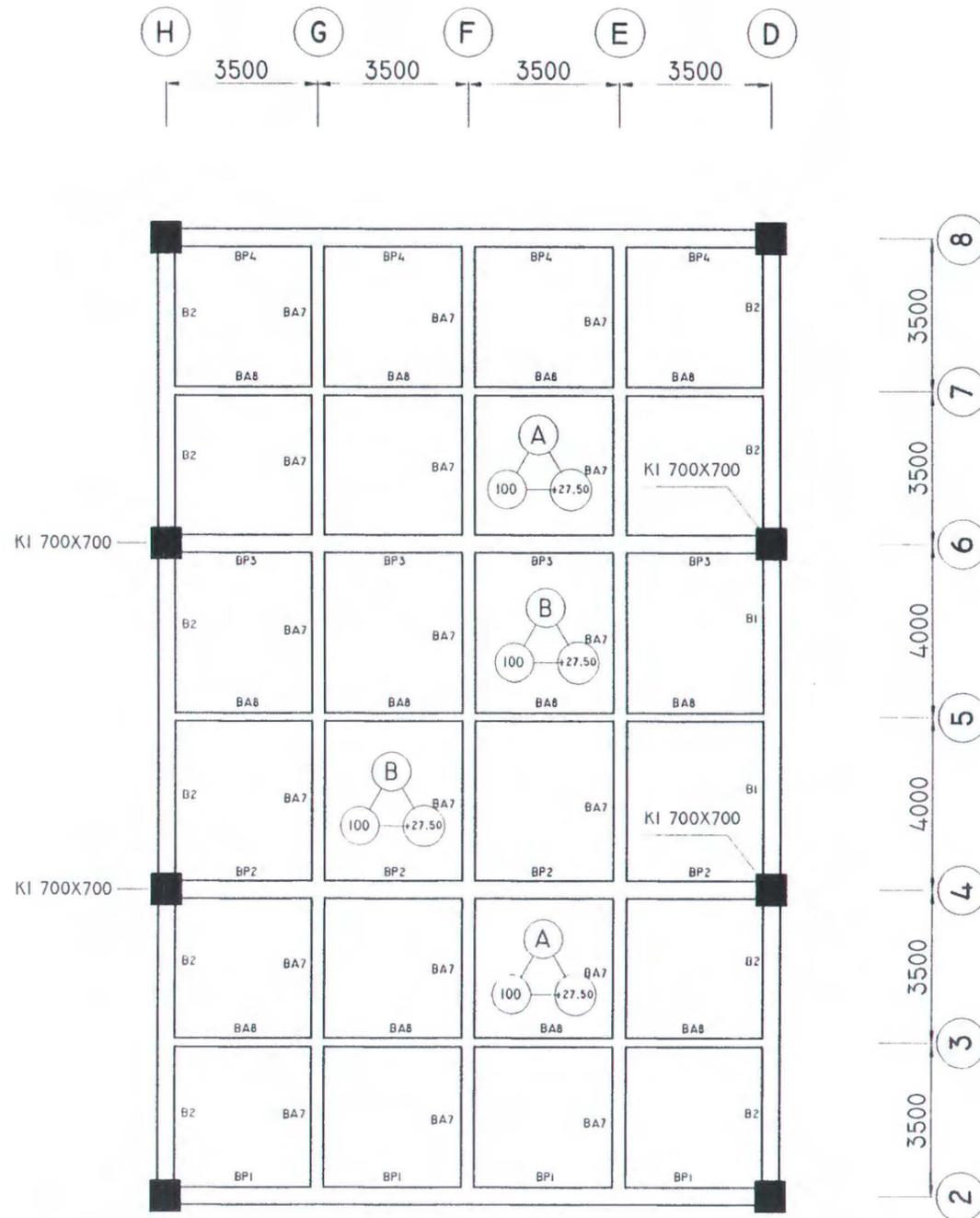
RENCANA BALOK  
 ATAP                      1 : 150

**NO. GAMBAR**

5 / 23

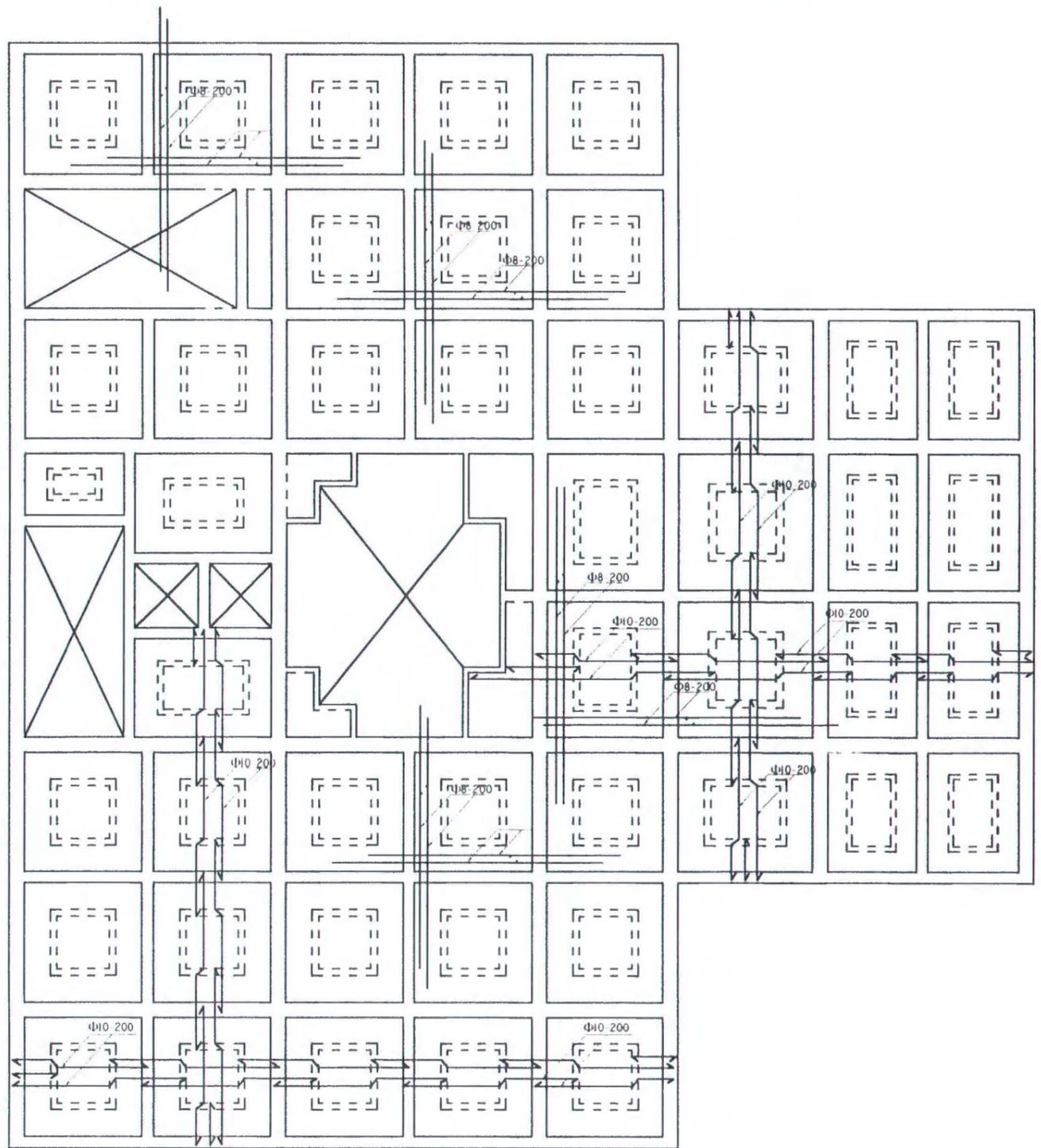
**KETERANGAN**

ELEVASI ATAP  
 : +29.00



**RENCANA BALOK ATAP**  
**SKALA 1 : 150**

H 3500 G 3500 F 3500 E 3500 D 3500 C 4000 B 5500 A



9 3500  
8 3500  
7 3500  
6 3500  
5 4000  
4 4000  
3 3500  
2 3500  
1 3500

**RENCANA PEMBESIAN PELAT LANTAI 2**  
SKALA 1 : 150



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

IR. DJOKO IRAWAN, MS.  
BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
3197 100 049

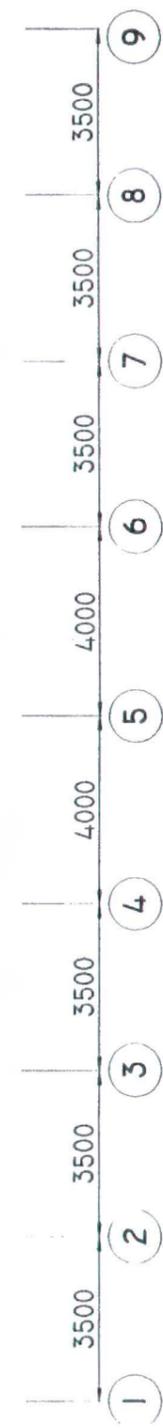
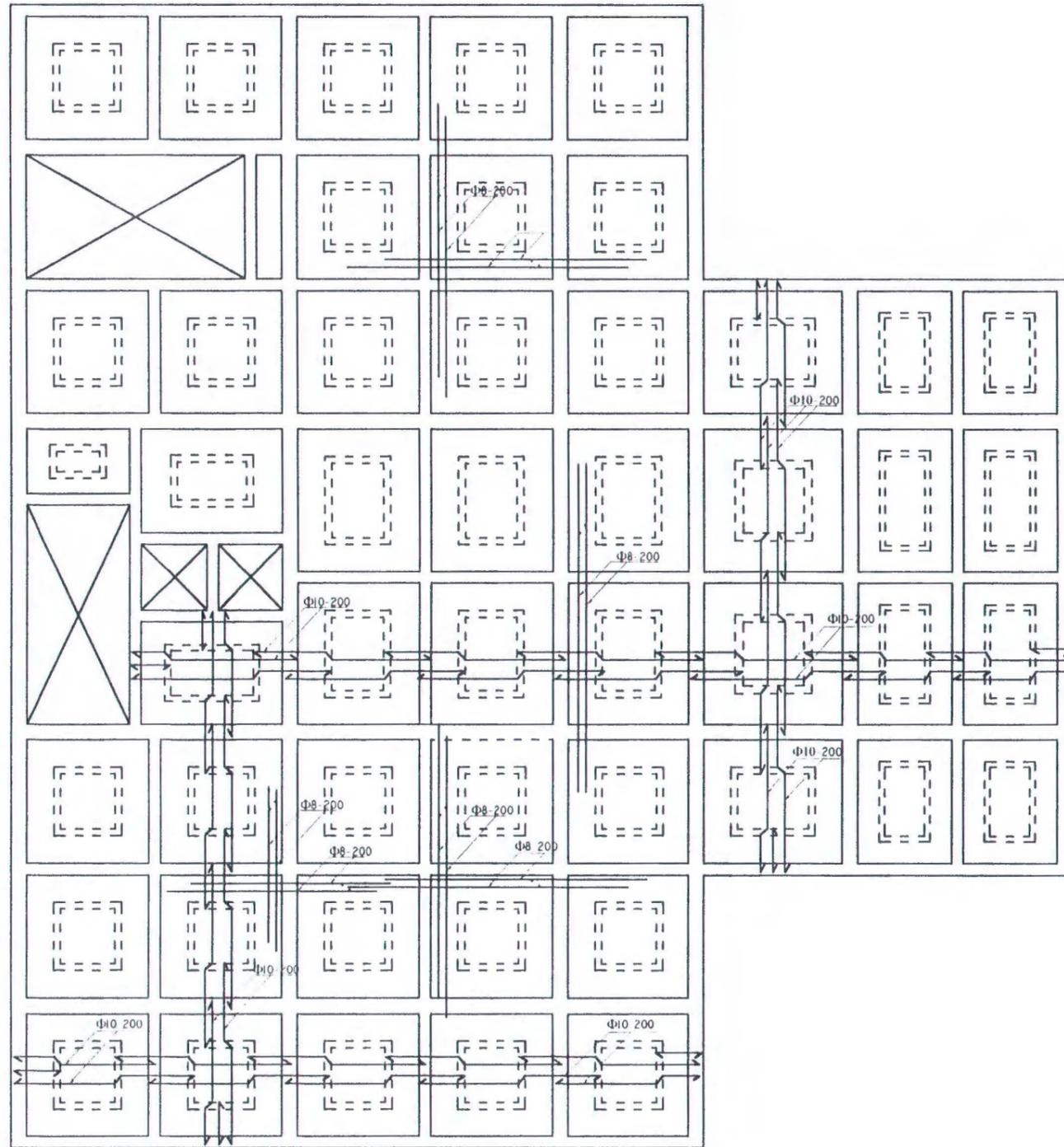
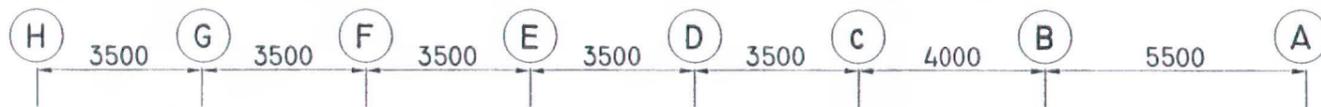
**GAMBAR**      **SKALA**

RENCANA PEMBESIAN  
PELAT LANTAI 2      1 : 150

**NOMOR GAMBAR**

6 / 23

**KETERANGAN**



**RENCANA PEMBESIAN PELAT LANTAI 3**  
 SKALA 1 : 150



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
 GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
 DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
 BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
 3197 100 049

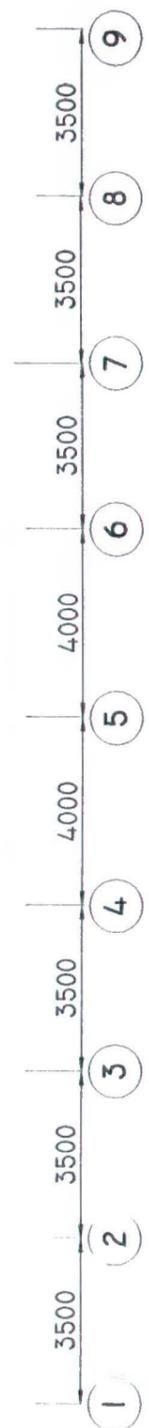
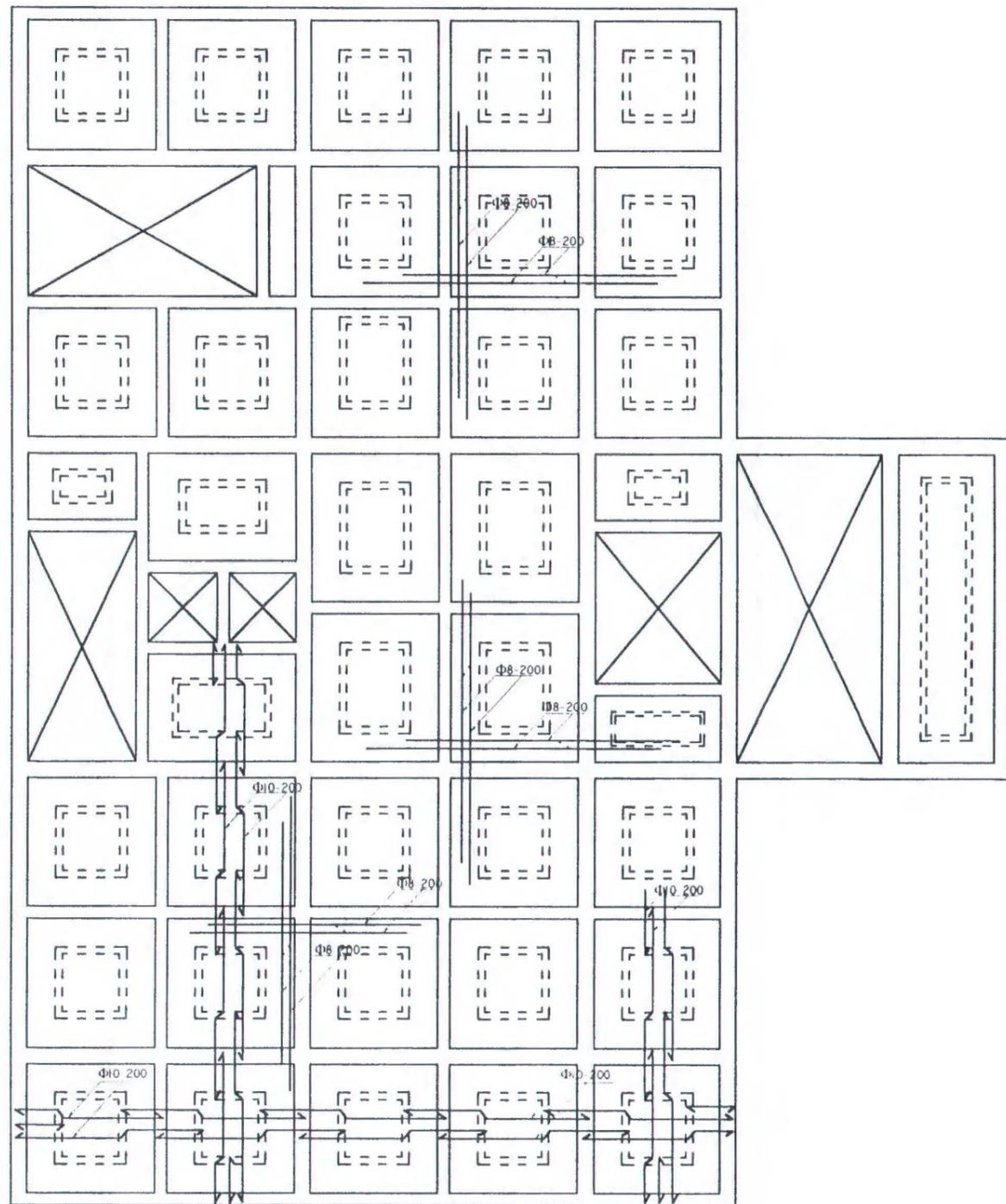
<b>GAMBAR</b>	<b>SKALA</b>
---------------	--------------

RENCANA PEMBESIAN LANTAI 3	1 : 150
-------------------------------	---------

**NO. GAMBAR**

7 / 23

**KETERANGAN**



**RENCANA PEMBESIAN PELAT LANTAI 4**  
SKALA 1 : 100



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
3197 100 049

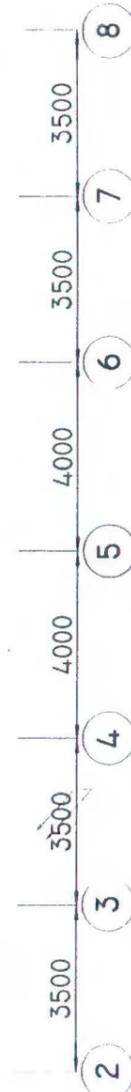
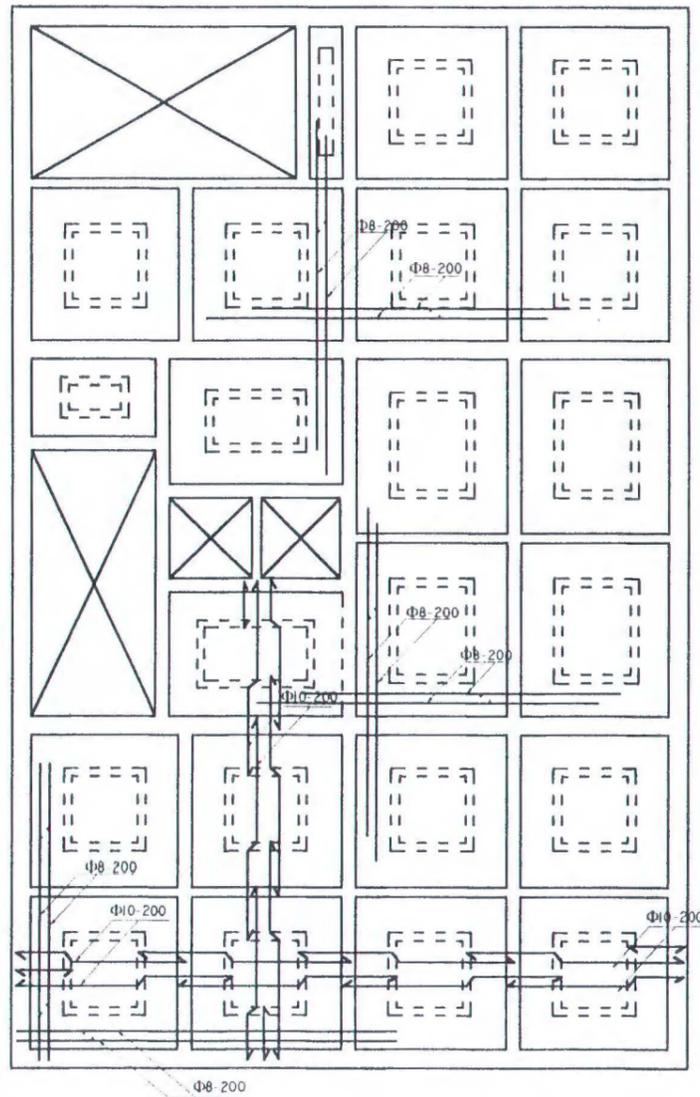
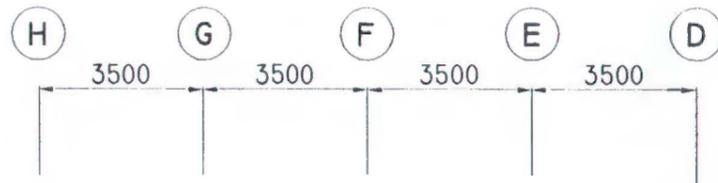
**GAMBAR**      **SKALA**

RENCANA  
PEMBESIAN PELAT  
LANTAI 4      1 : 150

**NO. GAMBAR**

8 / 23

**KETERANGAN**



RENCANA PEMBESIAN PELAT LANTAI 5-7  
SKALA 1 : 150



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
DENGAN BALOK PRATEKAN

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
BUDI SUSWANTO, ST, MT.

MAHASISWA

DONNY MEGA U.  
3197 100 049

GAMBAR SKALA

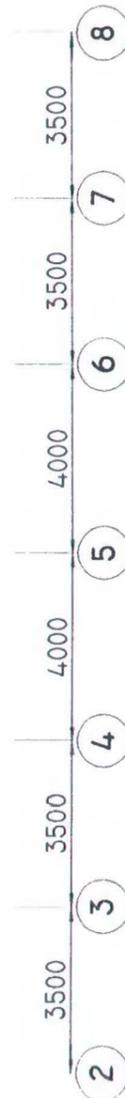
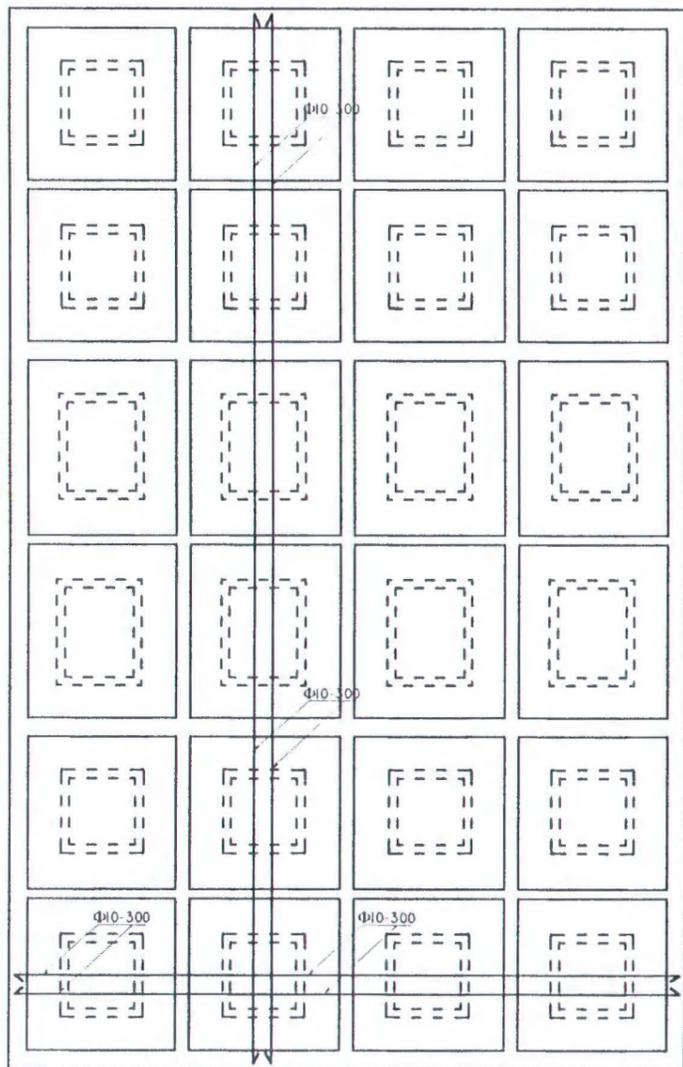
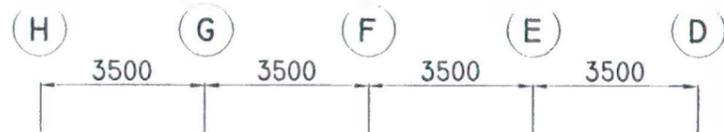
RENCANA  
PEMBESIAN PELAT  
LANTAI 5-7 1 : 150

NO. GAMBAR

9 / 23

KETERANGAN





RENCANA PEMBESIAN ATAP  
SKALA 1 : 150



**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

**JUDUL TUGAS AKHIR**

MODIFIKASI PERENCANAAN  
GEDUNG PT. PELNI SURABAYA  
DENGAN BALOK PRATEKAN

**DOSEN PEMBIMBING**

Ir. DJOKO IRAWAN, MS.  
BUDI SUSWANTO, ST, MT.

**MAHASISWA**

DONNY MEGA U.  
3197 100 049

**GAMBAR**

**SKALA**

RENCANA  
PEMBESIAN ATAP

1 : 150

**NO. GAMBAR**

10 / 23

**KETERANGAN**