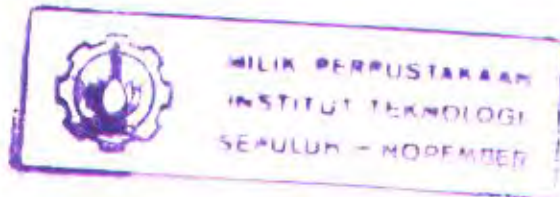


24-127/ITS/H/09



TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DAN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS KEHUTANAN UNIVERSITAS GAJAH MADA DENGAN SISTEM BALOK PRATEKAN

Oleh :

RONY RIYANTO

3198.100.073



RSS
690.73
Riy
P-1
2004

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	24-2-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	219609

PROGRAM SARJANA (S-1)

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2004

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN DAN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS KEHUTANAN UNIVERSITAS GAJAH MADA DENGAN SISTEM BALOK PRATEKAN

Surabaya, Januari 2004

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. DJOKO IRAWAN, MS.

NIP. 131 651 440

PROGRAM SARJANA (S-1)

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2004

PERENCANAAN DAN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS KEHUTANAN UNIVERSITAS GAJAH MADA DENGAN SISTEM BALOK PRATEKAN

Oleh:

RONY RIYANTO

NRP: 3198100073

Dosen Pembimbing:

Ir. DJOKO IRAWAN, MS

ABSTRAK

Gedung Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada telah dibangun dengan konstruksi beton bertulang biasa. Gedung ini memiliki 6 lantai ditambah basement dan atap. Jarak kolom bervariasi dengan bentang terpendek 7,2 m.

Dalam perencanaan ini, lantai 6 dan atap akan dimodifikasi dengan sistem balok pratekan. Sedangkan lantai yang lain tetap dengan konstruksi beton bertulang. Modifikasi pada lantai 6 dan atap menggunakan balok pratekan dilatarbelakangi oleh perubahan fungsi dari ruang kuliah menjadi ruang perpustakaan dan ruang konferensi. Sehingga dengan adanya fungsi baru pada gedung ini dibutuhkan ruangan yang luas tanpa adanya gangguan kolom ditengah ruangan.

Perencanaan yang dilakukan meliputi perencanaan struktur sekunder dan struktur utama berdasarkan persyaratan Tingkat daktilitas tingkat dua. Adapun perencanaan struktur sekunder tersebut meliputi perencanaan pelat, tangga, balok anak dan basement. Sedangkan perencanaan struktur utama meliputi perencanaan balok induk pratekan, balok induk beton bertulang, kolom dan pondasi. Modifikasi perencanaan struktur hanya ditinjau dari segi teknis struktur, tanpa mempertimbangkan segi ekonomi dan estetika. Analisa struktur gedung mengacu pada peraturan yang berlaku di Indonesia dan peraturan penunjang lainnya.

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, sebab dapat mengurangi kekuatan balok pratekan dan struktur secara keseluruhan.

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir dengan judul *Perencanaan dan Modifikasi Struktur Gedung Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada Dengan Sistem 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 terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Djoko Irawan, MS. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Anak Agung Gde Kartika, ST dan Ir. Budi Suswanto, ST, MT. selaku dosen wali penyusun.
3. Ir. Indrasurya B. Mochtar, 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 Teknk Sipil pada khususnya serta kemajuan Teknik Sipil di tanah air pada umumnya.

Surabaya, Januari 2004

Penulis

KUPERSEMBAHKAN TUGAS AKHIR INI KEPADA:

- ❖ Bapak dan ibuku yang telah menyekolahkan aku sampai tamat kuliah biarpun harus bekerja banting-tulang untuk menyekolahkan aku. Tidak akan pernah kulupakan jasa dan kasih sayang kalian sampai akhir hayatku. Janjiku kepada kalian aku akan jadi orang yang sukses yang bisa mengangkat nama keluarga kita menjadi terpuja di Bondowoso.
- ❖ Kedua kakakku Fredy dan Rio yang sudah memberikan dorongan moral dari mulai kuliah di ITS sampai lulus kuliah.
- ❖ Ika yang telah memberikan dorongan dan semangat agar aku cepat lulus kuliah. Mungkin pertemuan kita memang takdir yang tidak bisa dielakkan. Hampir 2 tahun ini kamu telah mengisi hati dan hari-hariku melewati penatnya kuliah di ITS. Semoga aku cepat mendapat kerja dan segera melamarmu ke pelaminan. I love you, Ika!
- ❖ Ririk; mantan cewekku yang telah mendorong aku untuk kuliah di ITS dari pada kuliah di STT Telkom Bandung. Cinta memang bego! Tapi ini takdirku. Selamat menempuh hidup baru ya, Rik! Maaf aku gak bisa mengawinimu sesuai janji kita dulu. Tapi aku sekarang udah nemu penggantinya yang lebih hot dari kamu! Bye!!!
- ❖ Pak Dhe Pi'i yang telah wafat sebelum aku lulus. Aku lulus Pak Dhe!!! Bu Dhe Tut yang telah menyupport dengan masakan yang enak-enak. Bu Dhe Sul dan semua keluarga besarku yang ada di Surabaya, terimakasih atas doanya.
- ❖ Pak Asdin dan Mak Na; mantan pembantuku yang paling setia, terima kasih atas doa kalian. Bu Mat Yasin; tukang pijitku yang setia, terima kasih atas pijitanmu di saat penat mengerjakan TA.
- ❖ Saiful "ITB", makasih atas perjuangan kita mencari tempat kuliah yang beken. Rahmad yang telah mensupport dengan ocehan sok seriusmu. Teman-temenku alumni SMU 2 Bondowoso yang tidak bisa aku sebutkan satu per satu, kalian telah mendorong aku agar cepat lulus kuliah.
- ❖ Pak Djoko Irawan yang telah menjadi dosen pembimbing TA-ku. Terimakasih bantuannya di Seminar dan Sidang TA, Pak! Makasih juga buat pressing mental selama asistensi sehingga aku jadi berusaha untuk belajar lebih keras lagi.
- ❖ Papra, makasih pinjaman flash disknya. Mas Romy, makasih buat nasehat dan petunjukmu. Munir "Mon-mon", makasih buat bantuan film-film hotmu. Andre "mesum", makasih banyak buat bahan TA untuk aku. Idham, makasih atas kerja sama kita waktu TA. Faiz "Capone", makasih jagung tahun barunya. Iqbal "Celeng", makasih buat tumpangan nginap di Malang. Pras "Vietkong" makasih buat kerja samanya waktu KP (sorry yo, aku sitik kerjo ne). Sumaidi, makasih buat pelajaran nge-SAP-nya. Didik "Slamet", makasih udah mau nolong nggarap Power Pointku dan ngajari tentang beton. Raditya "Kirun", makasih wejangan betonnya. Rozy, doakan aku dapat kerja yang mapan yo! Andi "Solo" (oyo pacaran tok). Donny, makasih baceman TA mu.
- ❖ Buat arek-arek S-41; Deni "Monyong", Roni, Kusnari, Ricky, Mozes, Aan, Eko, Hanif, Pay, Tumo, Ustman, Dwi Ratna, Eka, Teguh, William, Yudha, Poppy, Siti, Karnadi, Wisnu, Agung, Adi, Dwi Putro, Tyok, Karno dan semua yang belum disebutkan di atas.
- ❖ Pak Tiyyok, makasih doa khususnya. Pak Damiri, Pak So, Mbak Rukmini, Mbak Endang, Mas Haryanto, Pak Mo dan semua insan Tenik Sipil ITS. Terima kasih!

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Perencanaan Tulangan Lentur	4
2.1.1. Perencanaan Lentur dengan Tulangan Tunggal	5
2.1.2. Perencanaan Lentur dengan Tulangan Rangkap	5
2.1.3. Perencanaan Lentur Balok T	6
2.1.4. Rasio Tulangan Minimum dan Maksimum	7
2.1.5. Lendutan	8
2.1.6. Retak	9
2.1.7. Panjang Penyaluran	10
2.2 Perencanaan Tulangan Geser	11
2.2.1. Kekuatan Geser oleh Beton	11
2.2.2. Kekuatan Geser oleh Tulangan Geser	12
2.3. Perencanaan Tulangan Torsi	13
2.3.1. Kuat Momen Torsi oleh Beton	13
2.3.2. Kuat Momen Torsi oleh Tulangan Torsi	13
2.4. Pelat	14
2.4.1. Pelat Satu Arah (Non Pratekan)	14

	2.4.2. Pelat Dua Arah (Non Pratekan)	14
2.5.	Balok Anak dan Balok Induk	15
2.6.	Balok Pratekan	17
	2.6.1. Sistem Pasca Tarik Beton Pratekan	17
	2.6.2. Penentuan Gaya Prategang Awal	17
	2.6.3. Kehilangan Gaya Prategang (Loss of Prestress)	19
	2.6.4. Gaya Prategang Efektif	30
	2.6.5. Momen Nominal Balok Pratekan Partial Prestress	31
	2.6.6. Perencanaan Geser	32
	2.6.7. Struktur Statis Tak Tentu	33
2.7.	Kolom	36
	2.7.1. Panjang Tekuk Kolom	37
	2.7.2. Pembatasan Tulangan Kolom	37
	2.7.3. Kolom Pendek	38
	2.7.4. Kolom Panjang	39
	2.7.5. Penulangan Lentur-Aksial Kolom	40
	2.7.6. Kontrol dengan Bresler Resiprocal Method	41
	2.7.7. Penulangan Geser dan Torsi Kolom	42
2.8.	Pertemuan Balok dan Kolom	43
2.9.	Pembebanan	45
	2.9.1. Pengertian Pembebanan	45
	2.9.2. Tipe-tipe Pembebanan	45
	2.9.3. Kekuatan tentang Kekuatan dan Layak Pakai	46
2.10.	Perencanaan Gempa	47
	2.10.1. Umum	47
	2.10.2. Daktalitas	47
2.11.	Perencanaan Pondasi	50
	2.11.1. Data Tanah	51
	2.11.2. Perencanaan Tiang Pancang	51
BAB III.	METODOLOGI	
3.1.	Tahap Perencanaan Gedung	55
3.2.	Tahap Perencanaan Balok Pratekan	55

3.3.	Data Teknis Gedung	60
3.3.1.	Data Bangunan	60
3.3.2.	Data Tanah	60
3.4.	Metode Analisa	60
3.5.	Asumsi Perencanaan	61
3.6.	Peraturan yang Digunakan	62
BAB IV.	ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Umum	63
4.2.	Kriteria Perencanaan	63
4.3.	<i>Preliminary Design</i>	64
4.4.	Kombinasi Pembebanan	66
4.5.	Perhitungan Pembebanan	67
4.5.1.	Beban Gravitasi	67
4.4.1.	Beban Gempa	73
4.6.	Perencanaan Pelat	74
4.6.1	Kontrol Tebal Pelat	74
4.6.2	Perencanaan Tulangan Lentur Pelat	78
4.6.3	Kontrol Lendutan	80
4.6.4	Kontrol Retak	82
4.7.	Perencanaan Tangga	90
4.7.1.	Perencanaan Dimensi Tangga	90
4.7.2.	Pembebanan Tangga	91
4.7.3.	Penulangan Lentur Tangga	92
4.7.4.	Penulangan Geser Tangga	95
4.7.5.	Perencanaan Balok Bordes	95
4.8.	Perencanaan Balok Anak	98
4.8.1.	Contoh Perencanaan Balok Anak 3 (BA3)	98
4.8.2.	Contoh Perencanaan Balok Anak 1 (BA1)	102
4.9.	Perencanaan Pelat Lantai Basement	109
4.9.1.	Pembebanan Pelat Basement	110
4.9.2.	Perhitungan Gaya Dalam Pelat Lantai Basement	111
4.9.3.	Penulangan Pelat Lantai Basement	111

4.9.4.	Kontrol Retak Pelat Lantai Basement	114
4.9.5.	Perencanaan Dinding Basement	115
4.9.6.	Perhitungan Penulangan Lentur Dinding Basement	117
4.9.7.	Penulangan Dinding Basement	118
4.9.8.	Kontrol Retak Dinding Basement	119
4.10	Analisa Struktur Utama	125
4.10.1.	Berat Struktur dan Koordinat Pusat Massa	125
4.10.2.	Perhitungan Gaya Geser Dasar Gempa	125
4.10.3.	Beban Angin	127
4.11.	Perencanaan Balok Pratekan	128
4.11.1.	Tegangan Ijin Beton Pratekan	128
4.11.2.	Dimensi Penampang	128
4.11.3.	Perhitungan Daerah Limit Kabel	133
4.11.4.	Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang	133
4.11.5.	Kontrol Tegangan	141
4.11.6.	Kontrol Kekuatan Batas Balok Pratekan	144
4.11.7.	Penulangan Geser Balok Pratekan	147
4.11.8.	Kontrol Lendutan	151
4.12.	Penulangan Lentur Balok Induk	182
4.12.1	Tulangan Tumpuan	182
4.12.2	Tulangan Lapangan	183
4.12.3	Perhitungan Tulangan Torsi	184
4.12.4	Perhitungan Geser	185
4.12.5	Perhitungan Panjang Penyaluran	185
4.12.6	Kontrol Retak	186
4.12.7	Kontrol Lendutan	187
4.13.	Perencanaan Kolom	194
4.13.1.	Penulangan Lentur Aksial Kolom	194
4.13.2.	Perhitungan Geser dan Torsi	197
4.14.	Perencanaan <i>Beam Column Joint</i>	201
4.14.1.	Langkah-langkah Perhitungan <i>Beam Column Joint</i>	201
4.14.2.	Contoh Perhitungan <i>Beam Column Joint</i>	202

4.15.	Perencanaan Pondasi	204
4.15.1.	Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Kekuatan Bahan	204
4.15.2.	Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Kekuatan Tanah	204
4.15.3.	Perhitungan Jumlah Tiang Pancang	206
4.15.4.	Kontrol Gaya Lateral	207
4.15.5.	Perencanaan Poer	208
4.15.6.	Perencanaan Sloof	212
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	219
5.2.	Saran	220

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A	:	Data-data Gedung
LAMPIRAN B	:	Perencanaan Pelat
LAMPIRAN C	:	Pembebanan
LAMPIRAN D	:	Analisa Struktur Utama
LAMPIRAN E	:	Perencanaan Balok Pratekan
LAMPIRAN F	:	Perencanaan Pondasi

GAMBAR PERENCANAAN AKHIR

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Diagaram regangan-tegangan tulangan tunggal	5
2.2. Diagram tegangan-regangan tulangan rangkap	5
2.3. Diagram regangan-tegangan balok T	7
2.4. Peninjauan retak struktur	9
2.5. Ketentuan perencanaan pelat	15
2.6. Pemodelan balok anak sistem grid	16
2.7. Ketentuan Perencanaan Balok	16
2.8. Kehilangan tegangan akibat slip angkur	21
2.9. Penentuan Sudut Pusat Tendon	23
2.10. Kurva perbandingan ragkak terhadap waktu	24
2.11. Kurva perbandingan susut terhadap waktu	27
2.12. Kurva variasi relaksasi baja terhadap waktu	29
2.13. Pengaruh gaya prategang terhadap kolom	34
2.14. Distribusi beban pada balok	46
3.1. Diagram alur perencanaan balok	55
3.2. Diagram alur perencanaan balok pratekan	58
4.1. Pelat terjepit elastis	71
4.2. Perencanaan tangga	90
4.3. Dimensi balok pratekan	128
4.4. Daerah limit kabel pratekan	133
4.5. Pertemuan balok kolom	201
4.6. Rencana penempatan tiang pancang	205
4.7. Kontrol geser pons	207
4.8. Pemodelan poer arah sumbu x	208
4.9. Pemodelan poer arah sumbu y	209

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Tebal minimum balok atau pelat satu arah	8
2.2. Koefisien gesekan untuk tendon pasca tarik	22
2.3. Selang waktu minimum pasca tarik	24
2.4. Factor creep, SCF	25
2.5. Factor creep, MCF	26
2.6. Variasi creep menurut waktu setelah transfer, AUC	26
2.7. Factor susut, SSF	28
2.8. Koefisien susut untuk beberapa waktu pengerasan, AUS	28
2.9. Prosentase kehilangan prategang	30
4.1. Dimensi elemen struktur gedung	66
4.2. Beban merata balok lantai	68
4.3. Beban merata balok lantai atap	69
4.4. Beban terpusat akibat balok anak	72
4.5. Massa item per satuan luas panjang	73
4.6. Kontrol Tebal Pelat Lantai	84
4.7. Kontrol Tebal Pelat Atap	85
4.8. Perhitungan Momen Pelat Lantai	86
4.9. Perhitungan Moman Pelat Atap	87
4.10. Penulangan Pelat Lantai	88
4.11. Penulangan Pelat Atap	89
4.12. Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak	107
4.13. Perencanaan Geser Balok Anak	108
4.14. Berat Struktur dan Koordinat Pusat Massa	125
4.15. Tahapan Waktu Perhitungan Kehilangan Prategang Tak Langsung	136
4.16. M_{min} dan M_{maks} Rencana Balok Pratekan	153
4.17. Daerah Limit Kabel	154
4.18. Gaya Prategang Rencana dan Pemilihan Tendon	155

4.19.	Kontrol Tegangan Saat Transfer	156
4.20.	Kehilangan Prategang Langsung	157
4.21.	Kehilangan Gaya Prategang (Tahap1)	158
4.22.	Relaksasi Baja (Tahap1)	159
4.23.	Rangkak Beton (Tahap 2)	160
4.24.	Susut Beton (Tahap 2)	161
4.25.	Kehilangan Prategang Total (Tahap 2)	162
4.26.	Kontrol Tegangan (Tahap 2)	163
4.27.	Relaksasi Baja (Tahap 3)	164
4.29.	Rangkak Beton (Tahap 3)	165
4.30.	Susut Beton (Tahap 3)	166
4.31.	Kehilangan Prategang Total (Tahap 3)	167
4.32.	Kontrol Tegangan (Tahap 3)	168
4.33.	Relaksasi Baja (Tahap 4)	169
4.34.	Rangkak Beton (Tahap 4)	170
4.35.	Susut Beton (Tahap 4)	171
4.36.	Kehilangan Prategang Total (Tahap 4)	172
4.37.	Kontrol Tegangan (Tahap 4)	173
4.38.	Relaksasi Baja (Tahap 5)	174
4.39.	Rangkak Beton (Tahap 5)	175
4.40.	Susut Beton (Tahap 5)	176
4.41.	Kehilangan Prategang Total (Tahap 5)	177
4.42.	Prosentase Kehilangan Prategang	178
4.43.	Kontrol Tegangan (Tahap 5)	179
4.44.	Perhitungan M_{cr} dan M_n Lapangan Balok Pratekan	180
4.45.	Perhitungan M_{cr} dan M_n Tumpuan Balok Pratekan	181
4.46.	Perhitungan Daerah Geser Daerah Tumpuan	181
4.47.	Perhitungan Daerah Geser Daerah Lapangan	182
4.48.	Perhitungan Tulangan Balok Daerah Tumpuan	188
4.49.	Perhitungan Tulangan Balok Daerah Lapangan	190
4.50.	Perencanaan Geser Balok Induk	192
4.51.	Perhitungan Tulangan Geser Kolom	199
4.52.	Perhitungan Tulangan Lentur-aksial Kolom	200

4.52.	Perhitungan Daya Dukung Tanah	212
4.53.	Perhitungan Daya Dukung Tiang	213
4.54.	Penulangan Poer arah x	215
4.55.	Penulangan Poer Arah y	214
4.56.	Penulangan Sloof	216

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN



1.1 Latar Belakang

Universitas Gajah Mada (UGM) terletak di daerah Yogyakarta. Gedung Kehutanan Universitas Gajah Mada dibangun untuk melengkapi sarana pendidikan di Universitas ini. Gedung ini terdiri atas 6 lantai.

Struktur utama gedung ini direncanakan dari beton bertulang, karena dari segi efisiensi bahan-bahan beton bertulang lebih mudah didapat.

Tugas akhir ini mencoba menyajikan suatu alternatif penyelesaian desain yakni modifikasi dengan sistem balok beton pratekan. Telah diketahui bahwa sistem ini bukanlah satu-satunya langkah penyelesaian yang ada. Karena adanya keuntungan-keuntungan tertentu dari sistem ini, menjadikannya layak untuk diperhitungkan. Adapun keuntungan-keuntungan tersebut adalah:

- Untuk balok berbentuk relatif panjang seta beban yang berat, balok pratekan umumnya membutuhkan ukuran yang lebih kecil daripada balok beton bertulang biasa. Berarti berat struktur dapat lebih ringan.
- Dengan memiliki dimensi balok yang lebih kecil membuat ruang bebas antar setiap lantai menjadi lebih tinggi.
- Kemungkinan penggunaan bekisting berulang dengan mekanisme kerja yang tepat, dapat menekan biaya bekisting dan tenaga kerja.

Proses perencanaan sebuah gedung merupakan suatu masalah yang cukup rumit dan kompleks. Dalam memenuhi fungsi kekuatan, arsitektural dan ekonomis terdapat banyak faktor terkait yang harus dipertimbangkan.

Hal-hal seperti menetapkan jenis bahan yang sesuai untuk fungsi struktur gedung serta memenuhi pula kriteria-kriteria arsitektural. Kemudian merekayasa sedemikian rupa sehingga dihasilkan suatu gedung yang kuat, tetapi ekonomis. Hal ini merupakan tantangan bagi seorang perencana.

Dalam proses analisa itu, perencana harus mampu mengolah data-data perencanaan dengan cermat. Paket-paket program analisa struktur dengan komputer

telah banyak membantu tugas seorang perencana. Dalam hal ini, bagaimana memodelkan suatu struktur dengan layak.

Gedung Kehutanan UGM secara umum terdiri dari ruang kuliah, ruang dosen, laboratorium dan lain-lain. Berdasarkan gambar arsitektur, diperlukan ruang yang luas sehingga menyebabkan gedung tersebut memiliki balok-balok yang panjang. Hal ini menyebabkan dimensinya besar jika menggunakan balok bertulang biasa.

1.2 Permasalahan

Sebagai sarana pendidikan, gedung kehutanan UGM membutuhkan ruangan yang luas untuk menunjang kegiatan pendidikan di kampus. Jadi selain ruang belajar mengajar juga dibutuhkan sarana lain yang dapat mengembangkan kemampuan mahasiswa. Sarana pendidikan tersebut adalah perpustakaan dan ruang konferensi.

Pemanfaatan ruang pada bangunan ini untuk kepentingan tersebut, diperlukan suatu perencanaan secara arsitektur dan struktur sehingga didapatkan ruangan yang luas dan bebas dari kolom di tengah ruangan. Untuk mewujudkan sarana tersebut, lantai 5 dan 6 direncanakan dengan sistem balok pratekan. Sedangkan lantai yang lain direncanakan dengan menggunakan balok bertulang biasa.

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dalam perencanaan ini adalah mendapatkan suatu struktur dari gedung yang memenuhi syarat-syarat keamanan berdasarkan kriteria yang berlaku. Disamping itu dimensi dari struktur yang direncanakan secara optimum sesuai dengan kapasitas kemampuan dari struktur serta memperhatikan juga faktor kemudahan dalam pelaksanaan di lapangan.

1.4 Batasan Masalah

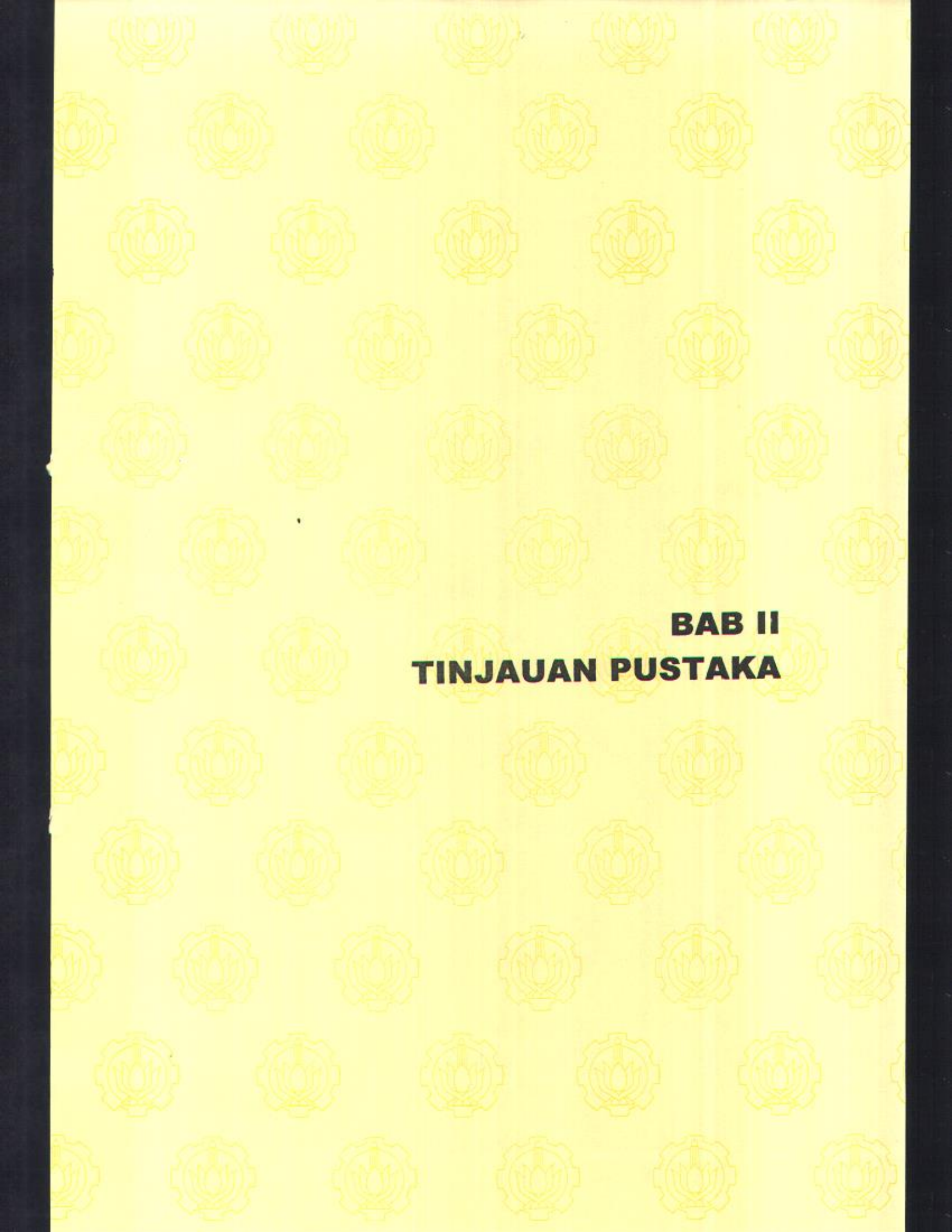
Pada Perencanaan dan Modifikasi pada struktur gedung Fakultas Kehutanan UGM ini hanya dari segi teknis saja, karena perencanaan ini hanya sebagai bahan studi saja. Adapun batasan-batasan masalah dalam perencanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan ini tidak memperhitungkan biaya yang akan dibutuhkan untuk pelaksanaan konstruksi.

2. Perencanaan ini tidak memperhitungkan tingkat kesulitan pelaksanaan konstruksi di lapangan serta pengaruhnya pada lingkungan sekitar.
3. Modifikasi dengan balok pratekan dilakukan pada lantai 6 sampai atap, sedangkan struktur lantai yang lain direncanakan dengan beton bertulang biasa.

Perencanaan struktur meliputi:

- Struktur utama : Balok induk, balok pratekan dan kolom
- Struktur sekunder : Pelat, balok anak dan tangga
- Bangunan bawah : Poer dan pondasi 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.

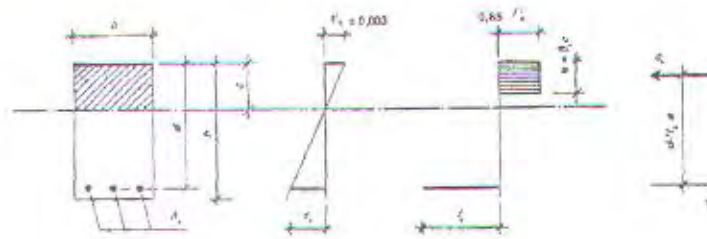
(b). Faktor β_1 harus diambil sebesar :

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

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

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

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 :

$$\begin{array}{ll} \text{Bagian I} & T_s = (A_s - A'_s) \cdot f_y \quad \rightarrow \quad C_c = T_s \\ & C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \end{array}$$

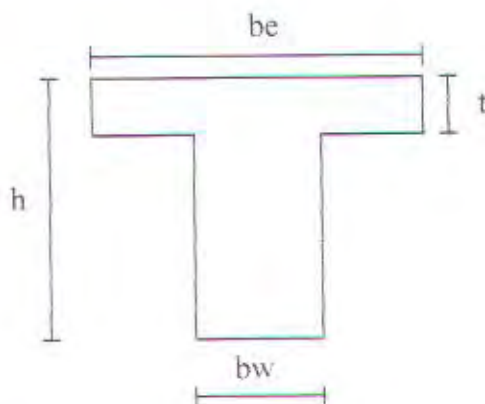
$$\text{Bagian II} \quad C_s = T_{cs} = A'_s \cdot f_y$$

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 :

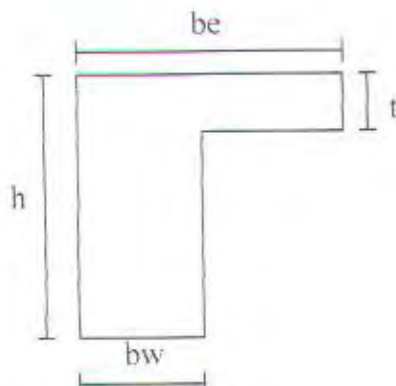


$$b_e = \frac{L}{4}$$

$$b_e = b_w + 16t$$

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

Untuk penampang balok – T eksterior (balok L) :

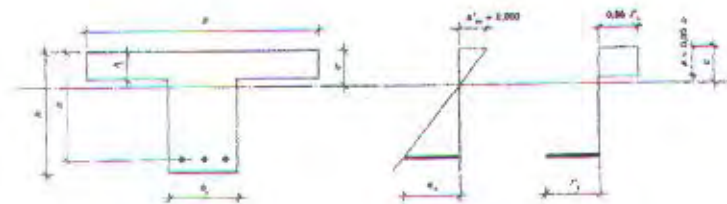


$$b_e = b_w + \frac{L}{12}$$

$$b_e = b_w + 6t$$

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

- 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 (ρ_{min}) dan rasio tulangan maksimum (ρ_{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.

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

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



2.1.5 Lendutan

Struktur beton diisyaratkan mempunyai kekakuan yang cukup tegar untuk dapat menahan deformasi akibat lendutan tanpa menimbulkan kerusakan apapun. SKSNI T-15-1991-03 Tabel 3.2.5(a) mencantumkan tebal minimum untuk balok non-pratekan atau pelat satu arah, sehingga lendutan tidak perlu dikontrol.

Tabel 2.1 Tebal minimum balok atau pelat satu arah

KOMPONEN STRUKTUR	TEBAL MINIMUM, h			
	DUA TUMPUAN	SATU UJUNG MENERUS	KEDUA UJUNG MENERUS	KANTILEVER
	KOMPONEN TIDAK MENDUKUNG ATAU MENYATU DENGAN PARTISI ATAU KONSTRUKSI LAIN YANG AKAN RUSAK KARENA LENDUTAN YANG BESAR			
Pelat solid satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat jalur satu arah	1/16	1/18.5	1/21	1/8

Nilai diatas diberikan dengan ketentuan beton normal dan tulangan dengan $f_y = 400$ MPa. Untuk nilai f_y yang lain dipergunakan faktor pengali $\left(0.4 + \frac{f_y}{700}\right)$.

Sedangkan untuk konstruksi pelat dua arah, tebal minimum yang diisyaratkan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5-3 adalah :

$$h_{\min 1} = \frac{l_n \left[0.8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0.12 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]}$$

$$h_{\min 2} = \frac{l_n \left[0.8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 9\beta}$$

$$h_{\max} = \frac{l_n \left[0.8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36}$$

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

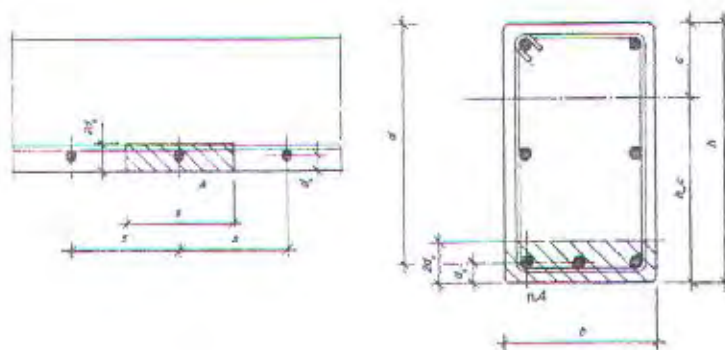
- untuk $\alpha_m < 2$ 120 mm
- untuk $\alpha_m \geq 2$ 90 mm

dimana :

- l_n = bentang bersih sisi terpanjang
- α_m = rasio rata-rata α dari kekakuan balok pada tepi pelat
- h = tebal pelat
- β = 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 :

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

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

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

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

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 :

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

tetapi tidak kurang dari : $0.06 d_b f_y$

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} :

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

tetapi tidak kurang dari : $0.04 d_b f_y$

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 :

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

0.7 untuk tulangan lebih kecil D-36

Panjang penyaluran l_{dh} 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_b

(5). Panjang penyaluran dari tulangan momen negatif

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

- d
- 12d_b SKSNI 1991 pasal 3.5.12
- l_n / 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_u = gaya geser berfaktor akibat beban luar
 V_n = kekuatan geser nominal yang direncanakan
 V_c = kekuatan geser nominal oleh beton
 V_s = kekuatan geser nominal oleh tulangan geser
 ϕ = faktor reduksi kekuatan

2.2.1 Kekuatan geser oleh beton (V_c)

(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 $V_c \leq 0.3\sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d$

2.2.2 Kekuatan geser oleh tulangan geser

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

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

Kategori desain dan syarat-syarat :

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

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

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

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

- (3). $\phi V_c < V_u \leq (\phi V_c + \phi V_s \min) \rightarrow$ Dipasangan tulangan geser sesuai ketentuan 2

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

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

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

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

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

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

2.3 Perencanaan Tulangan Torsi

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

$$\begin{aligned} Tu &\leq \phi T_n \\ T_n &= T_c + T_s \end{aligned} \quad \text{dimana :}$$

- T_u = gaya geser berfaktor akibat beban luar
 T_n = kekuatan geser nominal yang direncanakan
 T_c = kekuatan geser nominal oleh beton
 T_s = kekuatan geser nominal oleh tulangan geser
 ϕ = faktor reduksi kekuatan

2.3.1 Kuat momen torsi oleh beton (T_c)

Kuat momen torsi oleh beton T_c harus dihitung dengan :

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

2.3.2 Kuat momen torsi oleh tulangan torsi

Kuat momen torsi oleh tulangan torsi T_s harus dihitung dengan :

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{A_t \alpha_t x_1 y_1 f_y}{s} \\ \alpha_t &= \frac{\left(2 + \frac{h}{b} \right)}{3} \leq 1.50 \end{aligned}$$

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

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

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

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).

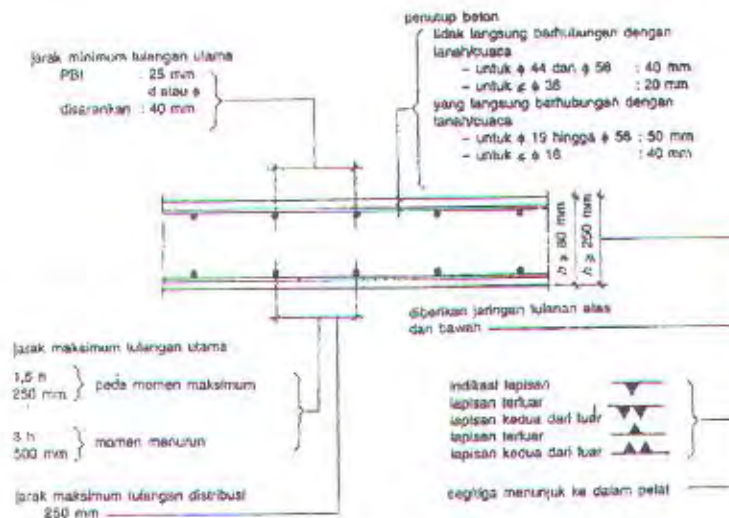
Standar SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12 menetapkan bahwa untuk pelat lantai dan atap struktural yang hanya menggunakan tulangan pokok lentur satu arah, selain penulangan pokok harus dipasang juga tulangan susut dan suhu dengan arah tegak lurus terhadap tulangan pokoknya.

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).

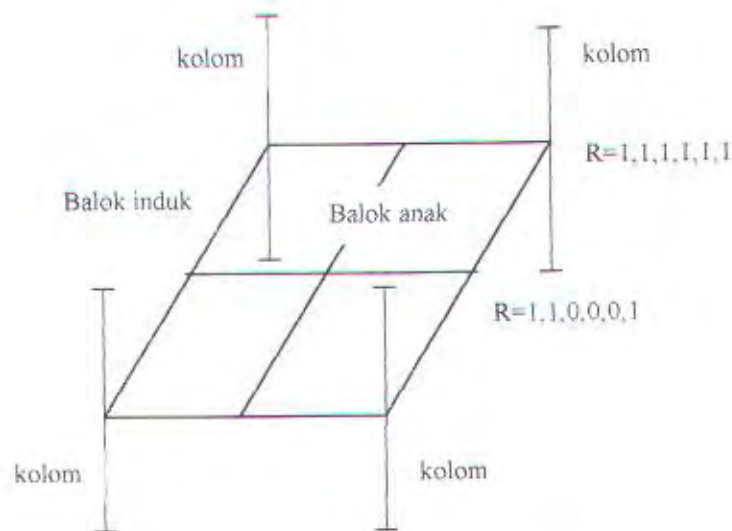


Gambar 2.5 Ketentuan Perencanaan Pelat

2.5 Balok Anak dan Balok Induk

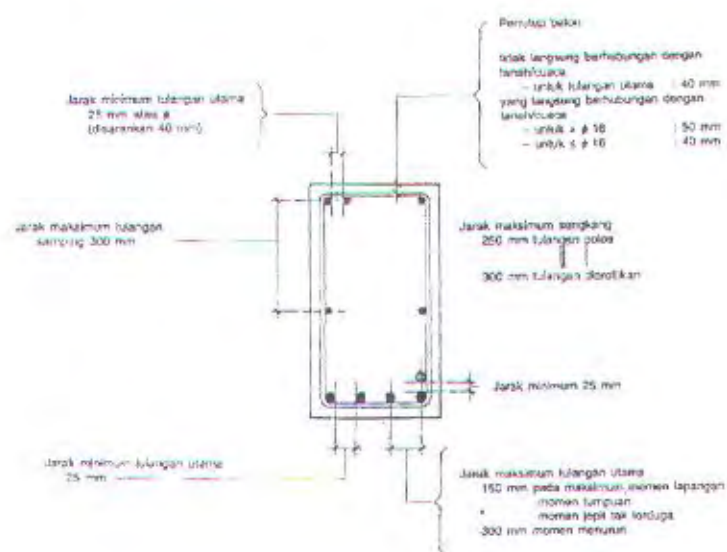
Balok anak merupakan struktur sekunder yang bukan merupakan elemen yang menerima gaya lateral, tetapi lebih berfungsi sebagai struktur yang mendukung beban gravitasi dari pelat untuk diteruskan ke struktur utama. Selain itu balok anak berfungsi juga sebagai pengaku pelat. Kegunaan lain dari balok anak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

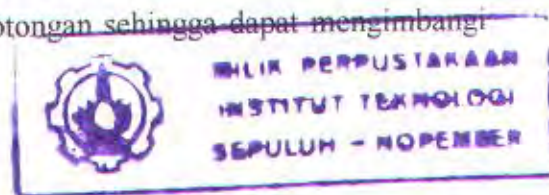
Berbeda dengan balok anak, balok induk dalam perencanaan tugas akhir ini dimodelkan tidak hanya menerima beban gravitasi, tetapi juga menerima pengaruh beban lateral gempa sebagai satu kesatuan sistem struktur portal. Karena pengaruh gempa ini, untuk daerah tumpuan terjadi momen yang berbalik arah. Oleh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

$$f_t = \frac{F}{A} - \frac{Fe}{Z_t} + \frac{M_{\max}}{Z_t} < \sigma_{ci} = 0,45xf_c'$$

$$f_b = \frac{F}{A} + \frac{Fe}{Z_b} - \frac{M_{\max}}{Z_b} < \sigma_{ti} = 0,5x\sqrt{f_c'}$$

(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 :

$$f_t = \frac{F}{A} + \frac{Fe}{Z_t} - \frac{M_{\max}}{Z_t} < \sigma_{ti} = 0,5x\sqrt{f_c'}$$

$$f_b = \frac{F}{A} - \frac{Fe}{Z_b} + \frac{M_{\max}}{Z_b} < \sigma_{ci} = 0,45xf_c'$$

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

$$Z_t = I/y_t$$

$$Z_b = I/y_b$$

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

- K_b = kern bawah = Z_t/A_c
 I = momen inersia penampang
 A_c = luas penampang
 σ_{ti} = tegangan tarik beton yang diijinkan pada saat awal
 $\quad = 0.25\sqrt{f'_c}$
 σ_{ci} = tegangan tekan beton yang diijinkan pada saat awal
 $\quad = 0.60 f'_c$
 σ_{ts} = tegangan tarik beton yang diijinkan pada saat beban service
 $\quad = 0.50\sqrt{f'_c}$
 σ_{cs} = tegangan tekan beton yang diijinkan pada saat beban service
 $\quad = 0.45 f'_c$
 F_i = gaya prategang awal pada saat transfer
 F = gaya prategang efektif
 $\quad = \eta F_i$ 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 perpindahan 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.

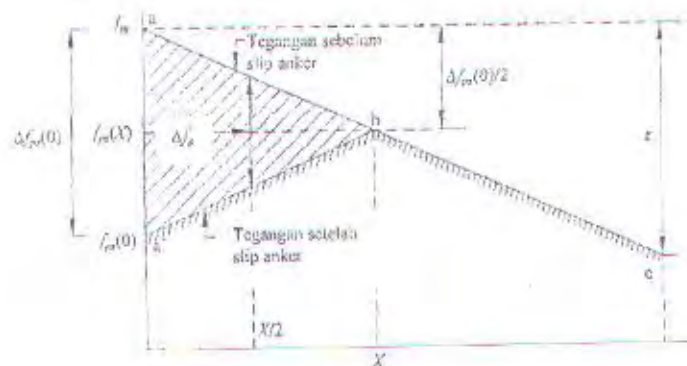
Tetapi kehilangan ini pada dasarnya berpengaruh pada ujung saja, kehilangan ini akan dihalangi oleh adanya gesekan. Jadi berkenaan dengan ini maka masalahnya adalah seberapa jauh dia berpengaruh. Bila pengaruhnya (X) kurang dari $L/2$, maka tidak perlu ditinjau pada daerah lapangan.

Jarak pengaruh slip pengangkuran adalah :

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

dimana :

- f_{pi} = tegangan sebelum slip ankur
 f_{ps} = tegangan setelah slip ankur
 Δf_{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 pendongkrakkan 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 disekelilingnya. 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 μ
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

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

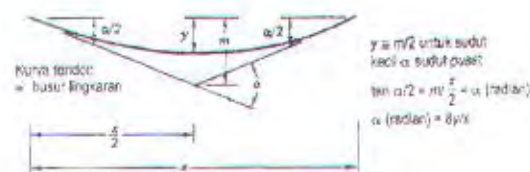
Pengaruh penarikan-berlebih diikuti dengan pelepasan-kembali adalah untuk memberi perbedaan gesekan pada arah sebaliknya. Jadi, setelah pelepasan, variasi tegangan sepanjang tendon mengambil beberapa bentuk seperti pada gambar 2.8. Bila kehilangan gaya prategang akibat gesekan merupakan persentase yang tinggi dari prategang, itu tidak dapat diatasi seluruhnya oleh penarikan-berlebih (kurva b), karena jumlah penarikan maksimum dibatasi oleh titik leleh beton. Bagian kehilangan yang tidak dapat diatasi harus diperhitungkan dalam perencanaan.

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

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

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

- dimana
- FR = kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wobble effect.
 - f_1 = tegangan baja awal
 - f_2 = tegangan baja setelah terjadi kehilangan
 - μ = koefisien lengkungan (tabel 2.2)
 - K = koefisien wobble (tabel 2.2)
 - L = panjang tendon
 - α = sudut pusat tendon (lihat gambar 2.9)



Gambar 2.9 Penentuan sudut pusat tendon

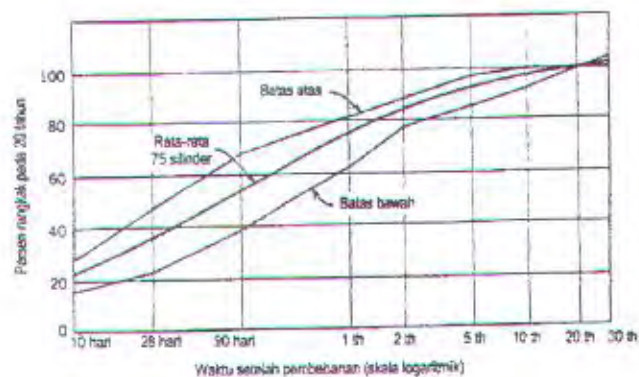
Kehilangan Prategang Tidak Langsung

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

Tabel 2.3 Selang Waktu Minimum Pasca Tarik

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

(4). Kehilangan Gaya Prategang akibat Rangkak Beton



Gambar 2.10 Kurva Perbandingan Rangkak terhadap Waktu

Rangkak pada beton didefinisikan sebagai deformasi yang tergantung pada waktu yang diakibatkan oleh adanya tegangan. Dari gambar 2.10 dapat dilihat bahwa regangan

total rangkai diperkirakan $\frac{1}{4}$ terjadi dalam 2 minggu setelah penerapan prategang, $\frac{1}{4}$ lainnya dalam 2 sampai 3 bulan, $\frac{1}{4}$ lagi dalam waktu 1 tahun, $\frac{1}{4}$ sisanya pada tahun-tahun berikutnya. Gambar 2.2 menunjukkan variasi perbandingan rangkai terhadap waktu, dan memperlihatkan sifat alamiah rangkai. Komisi PCI menganggap bahwa persentase rangkai terhadap waktu serupa dengan kurva rata-rata pada gambar di atas.

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

$$CR = (UCR) (SCF) (MCF) \times (PCR) (f_c)$$

dimana :

UCR (Ultimate Creep Loss), untuk beton normal :

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

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

SCF = factor pengaruh volume dan permukaan balok pratekan (tabel 2.4)

MCF = factor pengaruh dari umur beton dan lamanya waktu curing (tabel 2.5)

AUC = variasi dari creep terhadap waktu (table 2.6)

PCR = besarnya creep tiap-tiap interval waktu.

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

f_c = tegangan tekan beton pada cgs pada saat t_1

Tabel 2.4 Faktor Creep, SCF

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

Tabel 2.5 Faktor Creep, MCF

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

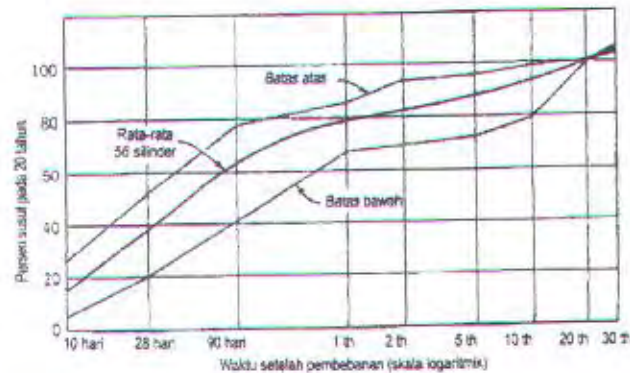
Tabel 2.6 Variasi Creep menurut waktu setelah transfer, AUC

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

(5). Kehilangan Gaya Prategang akibat Susut Beton

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

(lihat gambar 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 shrinkage untuk beberapa waktu pengerasan, AUC

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 berlahan-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.

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.

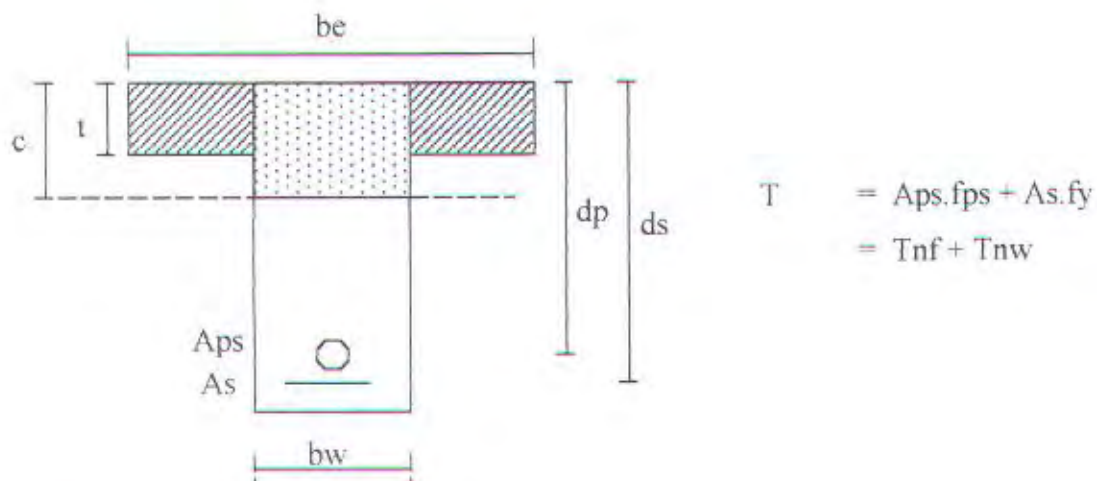
- (1) Jika tegangan *dongkrak* dikurangi maka kehilangan gaya prategang akibat pengangkuran diambil sebagai gaya prategang awal, sehingga kehilangan gaya prategang yang harus dikurangi meliputi perpendekan elastis, rangkak, dan susut.
- (2) Jika tegangan *dongkrak* sendiri diambil sebagai gaya prategang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

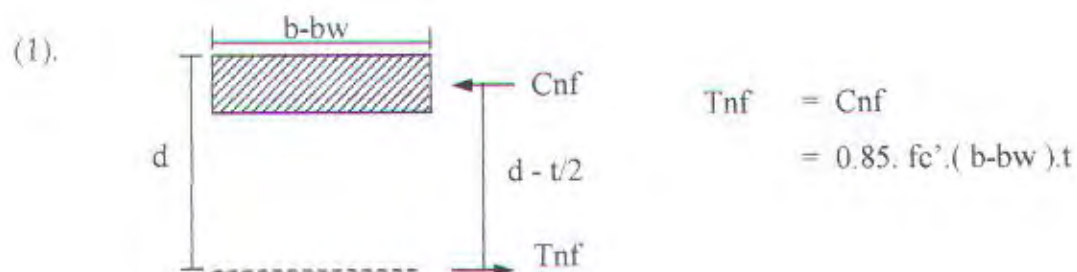
Untuk titik yang jauh dari ujung pendongkrakan, pengaruh gesekan harus dipertimbangkan sebagai tambahan. Gaya gesek sepanjang tendon mungkin merupakan tambahan maupun pengurangan tegangan.

2.6.5 Momen Nominal Balok Pratekan dengan Partial Prestress

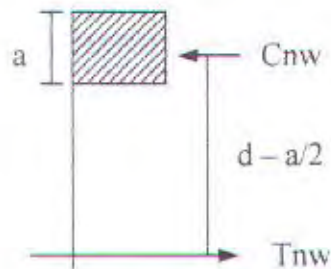
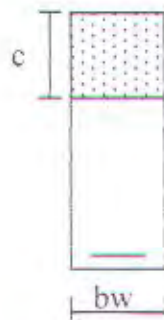
Momen ultimate untuk balok T dengan partial prestress disajikan dalam gambar dibawah ini :



Analisa dapat dipisah menjadi dua bagian yaitu :



(2).



$$T_{nw} = C_{nw}$$

$$= A_{ps}.f_{ps} + A_s.f_y - T_{nf}$$

$$\text{dengan } a = \frac{T_{nw}}{0.85.f_c'.bw}$$

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

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

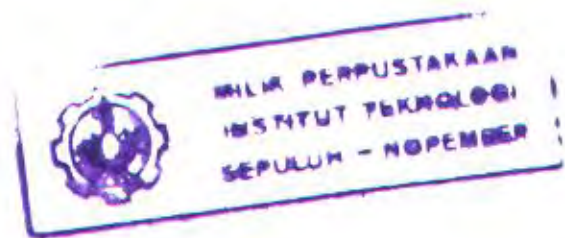
$$A_{ps}.f_{ps} + A_s.f_y = 0.85.f_c'.(b-b_w).t + 0.85.f_c'.b_w.a$$

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

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.

gaya prategang. Gaya prategang sebesar P yang bekerja pada balok mendatar BC didistribusikan sebagai P_{BA} yang bekerja secara transversal pada kaki BA, sedangkan komponen P_{BC} adalah gaya yang dialami oleh batang mendatar BC (gambar 2.13)

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

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

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

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

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

Pengaruh gaya prategang terhadap kekakuan kolom

Pada struktur portal, saat gaya prategang bekerja pada balok prategang, karena adanya elemen-elemen penopang balok yaitu kolom-kolom yang pada umumnya mempunyai sambungan yang monolit dengan balok dan mempunyai kekakuan struktur tertentu, mengakibatkan sebagian gaya prategang yang diberikan pada balok terdistribusi ke kolom-kolom dan besarnya gaya yang terdistribusi ke kolom ini tergantung dari kekakuan dari kolom tersebut.

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

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

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

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

2.7 Kolom

SKSNI T-15-19911-03 memberikan definisi, kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Sebagai bagian dari suatu kerangka bangunan dengan fungsi dan peran seperti tersebut, kolom menempati posisi penting di dalam sistem stuktur bangunan. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen stuktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan.

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

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

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

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

dimana :

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

EI/L = faktor kekakuan kolom atau balok yang ditinjau

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

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.

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

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

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

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

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

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 β berkisar antara 0.55 sampai dengan 0.65. Untuk desain lebih akurat biasa digunakan 0.65. Dari dua harga momen di atas dipilih yang terbesar untuk mendesain tulangan dengan bantuan diagram interaksi. Diagram interaksi M-N tersebut dibuat berdasarkan bermacam-macam mutu beton dan mutu baja

tulangan, sumbu ordinatnya menyatakan P_u dan sumbu absisnya menyatakan M_u dengan rumus sebagai berikut :

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

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

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

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

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

yang nantinya akan menghasilkan A_{ada} .

5. Pengontrolan membandingkan P_n penampang dengan P_n yang terjadi.

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

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

2.7.6 Kontrol dengan Bresler Reciprocal Method

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

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

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

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

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

dimana :

P_{nx} = gaya aksial nominal arah x

P_{ny} = gaya aksial nominal arah y

P_{ob} = kekuatan nominal tanpa eksentrisitas

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

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

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

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

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 sejauh d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan (ϕV_c) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.

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

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 di daerah pertemuan ini akan terjadi retak diagonal akibat gaya geser horizontal yang bekerja. Untuk perencanaan hubungan balok kolom pada rangka beton bertulang pada penahan gaya gempa, SKSNI pasal 3.14.2 butir 3 dan 4 memberikan batasan sebagai berikut :

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

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

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

(1). Balok

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

(2). Kolom

- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup maupun sengkang majemuk seperti yang ditentukan dalam ayat 3.4.1 hingga 3.4.5.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak lebih dari setengah dimensi komponen struktur yang terkecil, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil dan 200 mm.
- Pada setiap muka joint dan pada kedua sisi dari setiap penampang harus dipasang tulangan transversal sepanjang l_o dari muka yang ditinjau. Panjang l_o tidak kurang dari :
 - Tinggi komponen struktur untuk $Nu,k < 0,3.A_g.f_c'$.
 - Satu setengah dari tinggi komponen dimensi struktur, untuk $Nu > 0,3.A_g.f_c'$.
 - Seperenam bentang bersih dari komponen struktur.
 - 450 mm.

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.

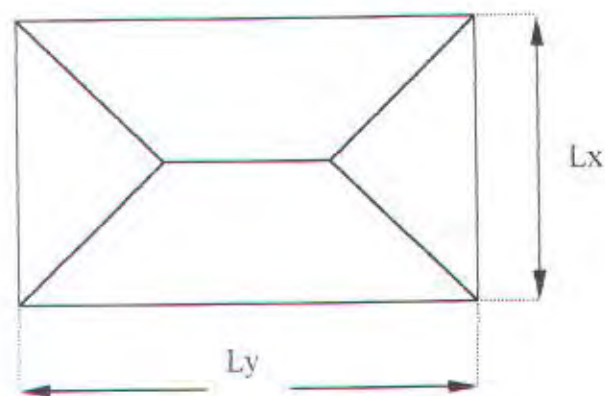
(4). Beban gempa

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 ϕ 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 duktail, 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 (Δ_u) dan simpangan pada leleh pertama (Δ_y) dimana hal tersebut diistilahkan sebagai faktor daktilitas (μ).

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

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 dituntutkan 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 $\chi_0 A_g f'_c$.
- 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 $\frac{d}{4}$, 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 $\frac{d}{2}$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi $\frac{1}{2}$ dimensi terkecil dari suatu komponen struktur yang menerima lentur, atau 10 kali diameter tulangan memanjang dan harus lebih kecil dari 200 mm.
- Pada daerah sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) harus diambil sebesar $\frac{1}{2}$ dari yang diisyaratkan dalam 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 Cone Penetration Test (CPT).

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 CPT.

2.11.2 Perencanaan Tiang Pancang

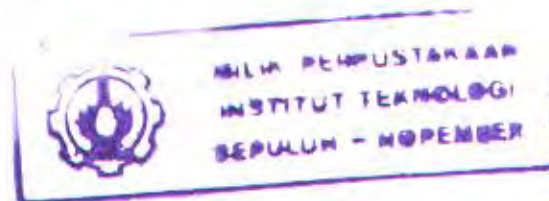
Daya Dukung Tiang Pancang

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_s). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan :

$$Q_N = (Q_p)_u + (Q_s)_u$$

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.



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

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

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

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 :

$$L_2 = 2.2 L_1$$

$$L_1 = F + 1.5D$$

$$F = \frac{H}{9x(Cr x I)}$$

$$Cr = 0.5 Cu$$

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)

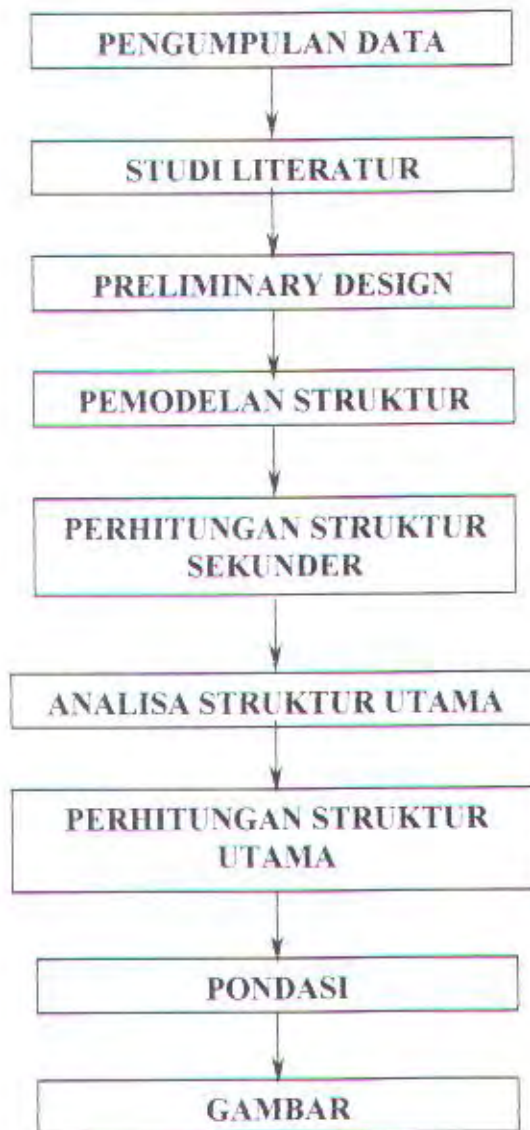
Apabila L tiang $> L_2$ maka tiang dianggap sebagai tiang panjang

BAB III
METODOLOGI

BAB III

METODOLOGI

3.1. Diagram Alur Perencanaan Gedung



Gambar 3.1 Diagram Alur Perencanaan Gedung

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, rangkak, 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 dalm 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

ϕM_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

Nama Gedung	: Fakultas Kehutanan UGM
Jenis Gedung	: Beton bertulang dengan balok pratekan
Luas Gedung	: $\pm 780 \text{ m}^2$
Panjang Gedung	: 43,2 m
Lebar Gedung	: 18 m
Tinggi Gedung	: 31,2 m
Jumlah Lantai	: 6 ditambah lantai atap dan basement

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.

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 pratekan :

- Mutu beton $f_c' = 50 \text{ Mpa}$
- Modulus elastisitas $E_c = 29725 \text{ Mpa}$
- Berat volume $BV = 2400 \text{ kg/m}^3$

Baja tulangan lunak:

- Mutu baja $f_c' = 300 \text{ MPa}$ $\longrightarrow$ tulangan deform
- $f_y = 300 \text{ MPa}$ $\longrightarrow$ tulangan polos
- Modulus elastisitas $E_c = 200000 \text{ MPa}$

Tabel 4.1 Dimensi Elemen Struktur Gedung

Elemen Struktur	L (cm)	h (cm)	B (cm)
Balok Utama	900	60	40
Balok Anak	720	50	35
Balok Anak	337,5	25	20
Balok Pratekan	1800	120	60
Kolom Interior		50	50
Kolom Eksterior		70	70

4.4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan yang diperhitungkan berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 adalah sebagai berikut:

- Untuk struktur non pratekan

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

$$U = 1,05 (D + L_R \pm 2E)$$

- Untuk struktur pratekan

Kondisi pembebanan awal

$$W = D$$

Kondisi pembebanan akhir

$$W = D + L$$

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

4.5. Perhitungan Pembebanan

Beban Gravitasi

- Pembebanan pelat lantai

Beban mati (D)

Berat sendiri, tebal 13 cm	$= 0.13 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 312 \text{ kg/m}^2$
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		$= 40 \text{ kg/m}^2$

$$D = 436 \text{ kg/m}^2$$

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

- 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		$= 40 \text{ kg/m}^2$

$$D = 354 \text{ kg/m}^2$$

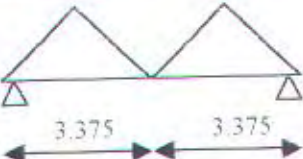
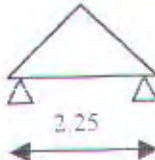
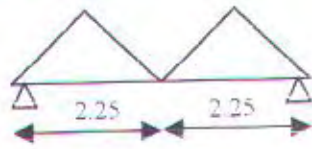
Beban hidup (L)

$$\text{Beban hidup untuk atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban air hujan (2 cm)} = 20 \text{ kg/m}^2$$

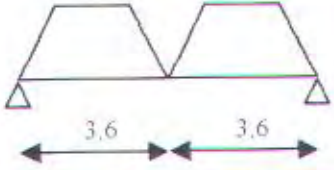
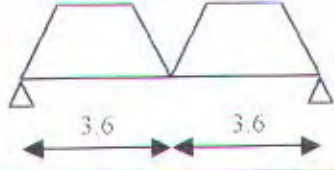
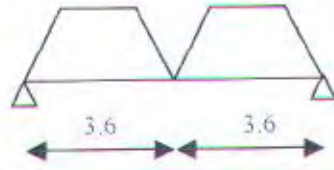
$$L = 120 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 4.2 Beban Merata Balok Lantai

Tipe Pembebanan	L_x (m)	D (kg/m)	L (kg/m)	q_{ekD} (kg/m)	Q_{ekL} (kg/m)	Keterangan
	3.375	436	250	490.5	281.25	$q_{ek} = 1/3 \cdot q \cdot L_x$
	3.375	436	250	367.88	210.94	$q_{ek} = 1/4 \cdot q \cdot L_x$
	2.25	436	250	327	187.5	$q_{ek} = 1/3 \cdot q \cdot L_x$
	2.25	436	250	245.25	140.63	$q_{ek} = 1/4 \cdot q \cdot L_x$
	3.375	436	250	681.86	390.98	$q_{ek} = 1/2 \cdot q \cdot L_x (1 - 1/3 (L_x/L_y)^2)$
	2.25	436	250	474.53	272.09	$q_{ek} = 1/2 \cdot q \cdot L_x (1 - 1/3 (L_x/L_y)^2)$
	3.375	436	250	390.87	224.12	$q_{ek} = 1/2 \cdot q \cdot L_x (1 - 1/2 (L_x/L_y))$



Lanjutan Beban Merata Balok Lantai Basement

Tipe Pembebanan	Lx (m)	D (kg/m)	L (kg/m)	qekD (kg/m)	QekL (kg/m)	Keterangan
	3.35	546	-2200	489.03	-1970.5	$q_{ek} = 1/2 \cdot q \cdot Lx(1 - 1/2(Lx/Ly))$
	3.3	546	-2200	487.99	-1966.3	$q_{ek} = 1/2 \cdot q \cdot Lx(1 - 1/2(Lx/Ly))$
	2.35	546	-2200	432.16	-1741.3	$q_{ek} = 1/2 \cdot q \cdot Lx(1 - 1/2(Lx/Ly))$
	3,375	546	-2200	614,25	--2475	$q_{ek} = 1/3 \cdot q \cdot Lx$
	3,275	546	-2200	596,05	-2401.7	$q_{ek} = 1/3 \cdot q \cdot Lx$

Tabel 4.4 Beban Terpusat Akibat Balok Anak

Lantai	Beban	Tipe Beban	Uraian	Jumlah (Kg)
1 sampai 6	P ₁	Mati	$= (0,5 \cdot 7,2 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 2400) + 2(681,86 \cdot 3,6)$	6421,39
		Hidup	$= 390,98 \cdot 7,2$	2815,056
	P ₂	Mati	$= 2((0,5 \cdot 7,2 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 2400) + 2(681,86 \cdot 7,2))$	12842,78
		Hidup	$= 2(390,98 \cdot 7,2)$	5630,112
	P ₃	Mati	$= ((3,6+3,6) \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 2400) + (681,86 \cdot 7,2) + (390,87 \cdot 7,2)$	10747,66
		Hidup	$= (390,98 \cdot 7,2) + (224,12 \cdot 7,2)$	4428,72
	P ₄	Mati	$= (4,5 \cdot 0,20 \cdot 0,25 \cdot 2400) + 2(3,375 \cdot 367,88) + 2(1,125 \cdot 367,88)$	3850,92
		Hidup	$= 2(3,375 \cdot 210,94) + 2(1,125 \cdot 210,94)$	1898,46
	P ₅	Mati	$= (4,5 \cdot 0,20 \cdot 0,25 \cdot 2400) + 2(2,25 \cdot 327) + 2(1,125 \cdot 367,88)$	3002,73
		Hidup	$= 2(2,25 \cdot 187,5) + 2(1,125 \cdot 210,94)$	1318,365
	P ₆	Mati	$= (3,6 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 2400) + 2(3,6 \cdot 390,87)$	4326,26
		Hidup	$= 2(3,6 \cdot 224,12)$	1613,66
	P ₇	Mati	$= (3,375 \cdot 0,20 \cdot 0,25 \cdot 2400) + (6,75 \cdot 367,88)$	2888,19
		Hidup	$= (6,75 \cdot 210,94)$	1423,85
Lantai Atap	P ₁	Mati	$= (0,5 \cdot 7,2 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 2400) + 2(553,62 \cdot 3,6)$	5498,06
		Hidup	$= 187,67 \cdot 7,2$	1351,22
	P ₂	Mati	$= 2((0,5 \cdot 7,2 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 2400) + 2(553,62 \cdot 7,2))$	10996,13
		Hidup	$= 2(187,62 \cdot 7,2)$	2701,73
	P ₃	Mati	$= ((3,6+3,6) \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 2400) + (553,62 \cdot 7,2) + (317,36 \cdot 7,2)$	9295,06
		Hidup	$= (187,62 \cdot 7,2) + (107,58 \cdot 7,2)$	2125,44
	P ₄	Mati	$= (4,5 \cdot 0,20 \cdot 0,25 \cdot 2400) + 2(3,375 \cdot 298,69) + 2(1,125 \cdot 298,69)$	2736,21
		Hidup	$= 2(3,375 \cdot 101,25) + 2(1,125 \cdot 101,25)$	911,25
	P ₅	Mati	$= (4,5 \cdot 0,20 \cdot 0,25 \cdot 2400) + 2(2,25 \cdot 265,5) + 2(1,125 \cdot 298,69)$	2406,80
		Hidup	$= 2(2,25 \cdot 90) + 2(1,125 \cdot 101,25)$	632,81
	P ₆	Mati	$= (3,6 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 2400) + 2(3,6 \cdot 317,36)$	3796,99
		Hidup	$= 2(3,6 \cdot 107,58)$	731,38
	P ₇	Mati	$= (3,375 \cdot 0,20 \cdot 0,25 \cdot 2400) + (6,75 \cdot 298,69)$	2466,16
		Hidup	$= (6,75 \cdot 101,25)$	683,44

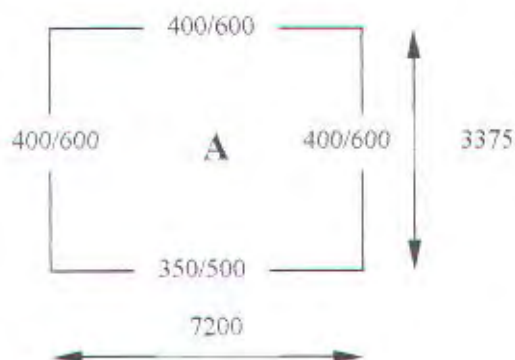
Beban Gempa**Tabel 4.5** Massa item per satuan luas panjang

Item	Massa	Satuan
Pelat lantai (13 cm)	312	kg/m ²
Pelat atap (10 cm)	240	kg/m ²
Balok bertulang (40/60)	576	kg/m
Balok bertulang (35/50)	420	kg/m
Balok Pratekan (45/90)	972	kg/m
Kolom interior (50/50)	600	kg/m
Kolom eksterior (40/40)	384	kg/m

4.6 Perencanaan Pelat

4.6.1. Kontrol Tebal Pelat Lantai :

Pelat tipe A Eksterior.



$$Ln = 7200 - \left(\frac{400}{2} + \frac{400}{2} \right) = 6800 \text{ mm}$$

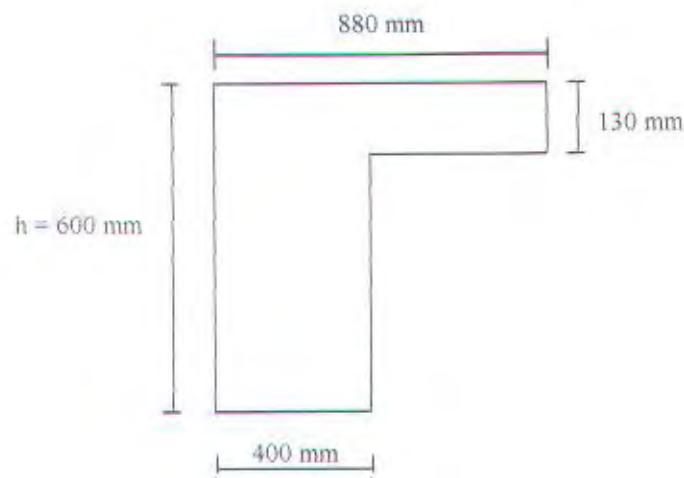
$$Sn = 3375 - \left(\frac{400}{2} + \frac{350}{2} \right) = 3000 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{6800}{3000} = 2,267 > 2$$

→ pelat 1 arah

Direncanakan tebal pelat lantai = 130 mm.

Balok eksterior (400/600)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

(SKSNI '91 ps. 3.1.10.2)

$$b_{e1} = b_w + (h - t) = 400 + (600 - 130) = 870 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 4t = 400 + (4 \times 130) = 920 \text{ mm}$$

} diambil $b_e = 870 \text{ mm}$

$$b_s = 7200 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left(4 - 6 \frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left[\left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \quad (\text{SKSNI '91 3.6.7-5-2})$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{870}{400} - 1\right) \left(\frac{130}{600}\right) \left(4 - 6 \frac{130}{600}\right) + 4 \left(\frac{130}{600}\right)^2 + \left[\left(\frac{870}{400} - 1\right) \left(\frac{130}{600}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{870}{400} - 1\right) \left(\frac{130}{600}\right)} = 1.50$$

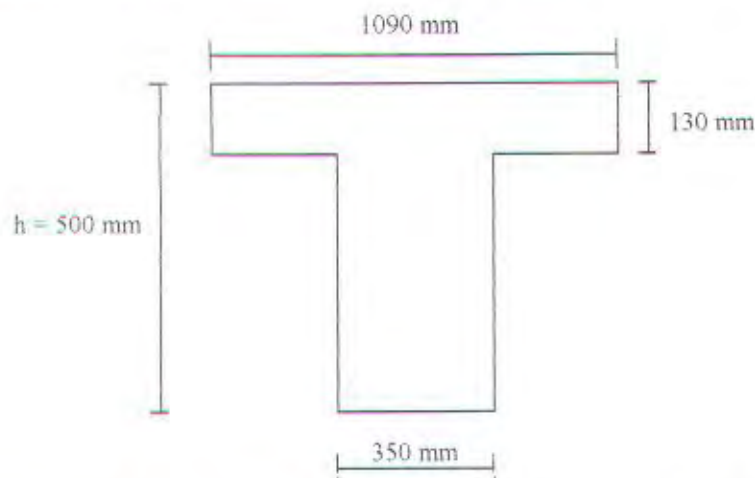
$$I_{balok} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1.50 \times 400 \times 600^3 = 1.08E + 10 \text{ mm}^4$$

$$I_{slab} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 7200 \times 130^3 = 1.32E + 09 \text{ mm}^4$$

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

$$\text{diperoleh} \quad \alpha_1 = \frac{I_b}{I_s} = \frac{1.08E + 10}{1.32E + 09} = 8.18$$

Balok interior (350/500)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

(SKSNI '91 ps. 3.1.10.2)

$$\left. \begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - t) = 350 + 2(500 - 130) = 1090 \text{ mm} \\ b_{e2} &= b_w + 2(4t) = 350 + 2(4 \times 130) = 1390 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \text{diambil } b_e = 1090 \text{ mm}$$

$$b_s = 7200 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left(4 - 6 \frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left[\left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \quad (\text{SKSNI '91 3.6.7-5})$$

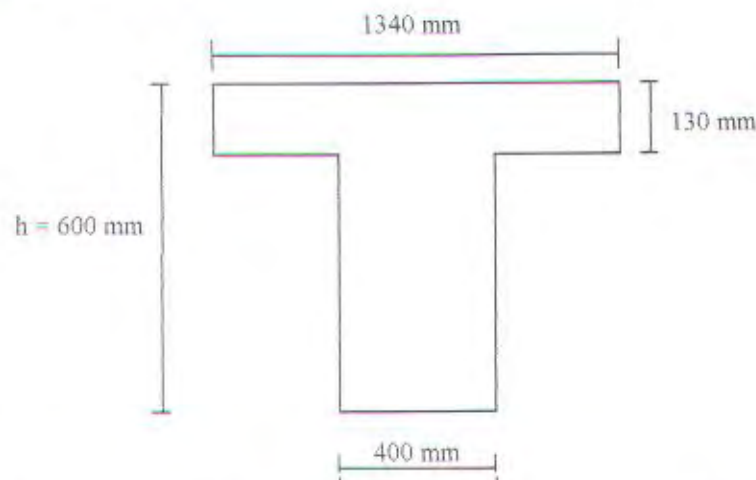
$$K = \frac{1 + \left(\frac{1090}{350} - 1\right) \left(\frac{130}{500}\right) \left(4 - 6 \frac{130}{500}\right) + 4 \left(\frac{130}{500}\right)^2 + \left[\left(\frac{1090}{350} - 1\right) \left(\frac{130}{500}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{1090}{350} - 1\right) \left(\frac{130}{500}\right)} = 1.71$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1.71 \times 350 \times 500^3 = 6.23\text{E} + 09 \text{ mm}^4$$

$$I_{slab} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 7200 \times 130^3 = 1.32\text{E} + 09 \text{ mm}^4$$

diperoleh $\alpha_2 = \frac{I_b}{I_s} = \frac{6.23\text{E} + 09}{1.32\text{E} + 09} = 4.72$

Balok interior (400/600)



Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) : (SKSNI '91 ps. 3.1.10.2)

$$\left. \begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - t) = 400 + 2(600 - 130) = 1340 \text{ mm} \\ b_{e2} &= b_w + 2(4t) = 400 + 2(4 \times 130) = 1440 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \text{ diambil } b_e = 1340 \text{ mm}$$

$$b_s = 3375 \text{ mm}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left(4 - 6 \frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left[\left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)} \quad (\text{SKSNI 91 ps. 3.6.7-5})$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{1340}{400} - 1 \right) \left(\frac{130}{600} \right) \left(4 - 6 \frac{130}{600} \right) + 4 \left(\frac{130}{600} \right)^2 + \left[\left(\frac{1340}{400} - 1 \right) \left(\frac{130}{600} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{1340}{400} - 1 \right) \left(\frac{130}{600} \right)} = 1.71$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} K b_w h^3 = \frac{1}{12} \times 1.71 \times 400 \times 600^3 = 1.2E+10 \text{ mm}^4$$

$$I_{slab} = \frac{1}{12} b_s t^3 = \frac{1}{12} \times 3375 \times 130^3 = 6.2E+08 \text{ mm}^4$$

$$\text{diperoleh} \quad \alpha_3 = \alpha_4 = \frac{I_b}{I_s} = \frac{1.2E+10}{6.2E+08} = 18.6$$

dari perhitungan sebelumnya, diperoleh harga α rata-rata

$$\alpha_m = \frac{1}{4} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) = \frac{1}{4} (8.18 + 4.72 + 2 \times 18.6) = 12.53$$

Tebal pelat mengikuti ketentuan SKSNI pasal 3.2.5 sebagai berikut :

$$h_{\min 1} = \frac{L_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0.12 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} = \frac{6800 \left(0.8 + \frac{300}{1500} \right)}{36 + 5 \times 2.267 \left[12.53 - 0.12 \left(1 + \frac{1}{2.267} \right) \right]} = 39 \text{ mm}$$

$$h_{\min 2} = \frac{l_n \left[0.8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 9\beta} = \frac{6800 \left[0.8 + \frac{300}{1500} \right]}{36 + 9 \times 2.267} = 120.5 \text{ mm}$$

$$h_{\max} = \frac{l_n \left[0.8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} = \frac{6800 \left[0.8 + \frac{300}{1500} \right]}{36} = 189 \text{ mm}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi tebal pelat rencana} = 130 \text{ mm} &> h_{\min 1} = 39 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \\
 &> h_{\min 2} = 121 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \\
 &> h_{\min 3} = 90 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \\
 &< h_{\max} = 189 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

4.6.2. Perencanaan Tulangan Lentur Pelat

Data-data perencanaan :

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

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$

$$t = 130 \text{ mm}$$

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

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

Pembebanan pelat lantai

$$D = 436 \text{ kg/m}^2$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Beban ultimate, } U &= 1.2D + 1.6L \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.2.2.1}) \\
 &= (1.2 \times 436) + (1.6 \times 250) = 923.2 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

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



Momen arah sumbu x

$$\begin{aligned}
 M_{lx} = - M_{tx} &= 0.001 \times U \times L_x^2 \times C \\
 &= 0.001 \times 923.2 \times 3.375^2 \times 63 \\
 &= 662.496 \text{ kgm} = 6.49\text{E}+06 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Gambar 4.1 Pelat satu arah

$$\begin{aligned}
 b \cdot x \cdot \frac{1}{2} x &= n \cdot A_s \cdot (d - y) \\
 1000 \cdot y \cdot \frac{1}{2} y &= E_s/E_c \cdot 785,4 \cdot (130 - y) \\
 500 \cdot y^2 &= 7.769 \cdot 785,4 \cdot (130 - y) \\
 500 \cdot y^2 &= 793230 - 6102y \\
 y &= 22,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Besarnya momen inersia pada keadaan retak :

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \frac{1}{12} b y^3 + n \cdot A_s (d - y)^2 = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 22,2^3 + 7,769 \cdot 785,4 \cdot (130 - 22,2)^2 \\
 &= 3,64 \text{ E}+7 \text{ mm}^4 \quad (\text{SKNI '91 ps 3.2.5-2})
 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{3,83 \times 1,83 \text{ E}+8}{65} = 1,08 \text{ E}+7 \text{ Nmm} \quad (\text{SKNI '91 ps 3.2.5-2})$$

Lendutan akibat beban mati :

$$\begin{aligned}
 DL &= 436 \text{ kg/m} \\
 M_{\max DL} &= 0,001 \times 62 \times 436 \times 3,375^2 \\
 &= 307,91 \text{ kgm} = 3,0791 \text{ E}+6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max DL}} = \frac{1,08 \text{ E}+7}{3,0791 \text{ E}+6} = 3,51$$

$$I_{eff} = \left(\frac{M_{cr}}{M_{\max DL}} \right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{\max DL}} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \quad (\text{SKNI 91 ps 3.2.5-2})$$

$$I_{eff} = 3,51^3 \cdot 1,83 \text{ E}+08 + [1 - 3,51^3] \cdot 3,64 \text{ E}+07 = 9,45 \text{ E}+09 \text{ mm}^4$$

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

$$\Delta_{DL} = \frac{5}{48} \frac{M_{\max DL} \times L^2}{E_c \times I_g} = \frac{5}{48} \times \frac{3,0791 \text{ E}+06 \times 3375^2}{25743 \times 1,83 \text{ E}+08} = 0,775 \text{ mm} \quad (\text{SKSNI '91}$$

3.2.5-2)

Lendutan akibat beban hidup :

$$\begin{aligned}
 LL &= 250 \text{ kg/m} \\
 M_{\max LL} &= 0,001 \times 62 \times 250 \times 3,375^2
 \end{aligned}$$

$$= 176.55 \text{ kgm} \quad = 1,766 \text{ E}+6 \text{ Nmm}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{\max LL}} = \frac{1.08 \text{ E}+07}{1.766 \text{ E}+06} = 6.12$$

$$I_{eff} = \left(\frac{M_{cr}}{M_{\max LL}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{\max LL}} \right)^3 \right] I_{cr} \quad (\text{SKNI '91 ps 3.2.5-2})$$

$$I_{eff} = 6.12^3 \cdot 1.83 \text{ E}+8 + [1 - 6.12^3] 3.64 \text{ E}+07 = 4.301 \text{ E}+10 \text{ mm}^4$$

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

$$\Delta_{LL} = \frac{5}{48} \frac{M_{\max LL} \times L^2}{E_c \times I_g} = \frac{5}{48} \times \frac{1.766 \text{ E}+06 \times 3375^2}{25743 \times 1.83 \text{ E}+08} = 0.445 \text{ mm} \quad (\text{SKSNI '91 3.2.5-2-2})$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai + susut :

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

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

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'} = \frac{2}{1 + 0} = 2 \quad (\text{SKSNI '91 3.2.5-2-5})$$

$$\Delta_{cr+sh} = \lambda \times \Delta_{LL} = 2 \times 0.445 = 0.890 \text{ mm}$$

Lendutan total yang terjadi

$$= \Delta_{DL} + \Delta_{LL} + \Delta_{cr+sh} = 0.775 + 0.445 + 0.890 = 2.11 \text{ mm}$$

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

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{3375}{360} = 9.375 \text{ mm} > \Delta \text{ terjadi } \dots \text{ O.K} \quad (\text{SKSNI '91 3.2.5-2-5})$$

4.6.4. Kontrol retak

$$f_s = 0.6 f_y = 0.6 \times 300 = 180 \text{ MPa}$$

$$d_c = 130 - 20 - 10/2 = 105 \text{ mm}$$

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

Tabel 4.6 Kontrol Tebal Pelat Lantai

Type Pelat	Letak	Ln (mm)	Sn (mm)	β	b (mm)	h (mm)	t (mm)	be ₁ (mm)	be ₂ (mm)	be pakai (mm)	bslab (mm)	K	Ib (mm ⁴)	I _s (mm ⁴)	α	cm	h _{min} (mm)	h _{max} (mm)	h _{min} (mm)	tebal (mm)
A	eksterior	6800	3000	2.27	400	600	130	870	920	870	7200	1.50	1.1E+10	1.3E+09	8.2	12.5	39	189	90	130
					350	500	130	1090	1390	1090	7200	1.71	6.2E+09	1.3E+09	4.7					
					400	600	130	1340	1440	1060	3375	1.60	1.2E+10	6.2E+08	18.6					
	interior	6800	3025	2.25	400	600	130	1340	1440	1060	3375	1.60	1.2E+10	6.2E+08	18.6					
					350	500	130	1090	1390	1090	7200	1.71	6.2E+09	1.3E+09	4.7	12.3	39	189	90	130
					400	600	130	1340	1440	1340	3375	1.71	1.2E+10	6.2E+08	20.0					
B	eksterior	6800	2101	3.24	400	600	130	870	920	870	7200	1.50	1.1E+10	1.3E+09	8.2	18.2	21	189	90	130
					350	500	130	1090	1390	1090	7200	1.71	6.2E+09	1.3E+09	4.7					
					400	600	130	1340	1440	1340	2250	1.71	1.2E+10	4.1E+08	30.0					
	interior	6800	1875	3.63	400	600	130	1340	1440	1340	2250	1.71	1.2E+10	4.1E+08	30.0	18.5	18	189	90	130
					350	500	130	1090	1390	1090	7200	1.71	6.2E+09	1.3E+09	4.7					
					400	600	130	1340	1440	1340	2250	1.71	1.2E+10	4.1E+08	30.0					
C	eksterior	3225	3000	1.08	200	250	130	440	1240	440	3375	1.72	4.5E+08	6.2E+08	0.7	12.2	32	90	90	90
					400	600	130	1340	1440	1340	3375	1.71	1.2E+10	6.2E+08	20.0					
					350	500	130	1090	1390	1090	3600	1.71	6.2E+09	6.6E+08	9.5					
	interior	3225	3025	1.07	400	600	130	1340	1440	1340	3600	1.71	1.2E+10	6.6E+08	18.7	12.2	32	90	90	90
					350	500	130	1090	1390	1090	3600	1.71	6.2E+09	6.6E+08	9.5					
					350	500	130	1090	1390	1090	3600	1.71	6.2E+09	6.6E+08	9.5					
D	eksterior	6800	1875	3.63	400	600	130	1340	1440	1340	3375	1.71	1.2E+10	6.2E+08	10.1					
					400	600	130	870	920	870	7200	1.50	1.1E+10	1.3E+09	20.0	18.2	19	189	90	130
					350	500	130	1090	1390	1090	7200	1.71	6.2E+09	1.3E+09	4.7					
	interior	6800	1875	3.63	400	600	130	1340	1440	1340	2250	1.71	1.2E+10	4.1E+08	30.0	18	18	189	90	130
					400	600	130	1340	1440	1340	2250	1.71	1.2E+10	4.1E+08	30.0					
					350	500	130	1090	1390	1090	7200	1.71	6.2E+09	1.3E+09	9.4					

Tabel 4.7 Kontrol Tebal Pelat Atap

Tipe Pelat	Letak	Ln (mm)	Sn (mm)	β	b (mm)	h (mm)	t (mm)	be ₁ (mm)	be ₂ (mm)	be pakai (mm)	bslab (mm)	K	lb (mm ⁴)	ls (mm ⁴)	α	α_m	h _{min1} (mm)	h _{min2} (mm)	h _{max} (mm)	h _{min3} (mm)	tebal (mm)
A	eksterior	6800	3000	2.27	400	600	100	900	800	870	7200	1.42	1.0E+10	6.0E+08	17.1	26.3	20	121	189	90	100
					350	500	100	1150	1150	1090	7200	1.66	6.0E+09	6.0E+08	10.1						
					400	600	100	1400	1200	1060	3375	1.52	1.1E+10	2.8E+08	39.0						
	interior	6800	3025	2.25	400	600	100	1400	1200	1060	3375	1.52	1.1E+10	2.8E+08	39.0						
					350	500	100	1150	1150	1090	7200	1.66	6.0E+09	6.0E+08	10.1	26.2	21	121	189	90	100
					350	500	100	1150	1150	1090	7200	1.66	6.0E+09	6.0E+08	10.1						
B	eksterior	6800	2101	3.24	400	600	100	900	800	870	7200	1.42	1.0E+10	6.0E+08	17.1	38.5	10	104	189	90	100
					350	500	100	1150	1150	1090	7200	1.66	6.0E+09	6.0E+08	10.1						
					400	600	100	1400	1200	1340	2250	1.65	1.2E+10	1.9E+08	63.4						
	interior	6800	1875	3.63	400	600	100	1400	1200	1340	2250	1.65	1.2E+10	1.9E+08	63.4	39.2	9	99	189	90	100
					350	500	100	1150	1150	1090	7200	1.66	6.0E+09	6.0E+08	10.1						
					400	600	100	1400	1200	1340	2250	1.65	1.2E+10	1.9E+08	63.4						
C	eksterior	3225	3000	1.08	200	250	100	440	1240	440	3375	1.68	4.4E+08	2.8E+08	1.6	25.9	19	71	90	90	90
					400	600	100	1400	1200	1340	3375	1.65	1.2E+10	2.8E+08	42.3						
					350	500	100	1150	1150	1090	3600	1.66	6.0E+09	3.0E+08	20.2						
	interior	3225	3025	1.07	400	600	100	1400	1200	1340	3600	1.65	1.2E+10	3.0E+08	39.6	26.0	19	71	90	90	90
					350	500	100	1150	1150	1090	3600	1.66	6.0E+09	3.0E+08	20.2						
					350	500	100	1150	1150	1090	3375	1.66	6.0E+09	2.8E+08	21.5						
D	eksterior	6800	1875	3.63	400	600	100	1400	1200	1340	3375	1.65	1.2E+10	2.8E+08	42.3	38.5	9	99	189	90	100
					350	500	100	1150	1150	1090	7200	1.42	1.0E+10	6.0E+08	17.1						
					400	600	100	1400	1200	1340	2250	1.66	6.0E+09	6.0E+08	10.1						
	interior	6800	1875	3.63	400	600	100	1400	1200	1340	2250	1.65	1.2E+10	1.9E+08	63.4	39	9	99	189	90	100
					350	500	100	1150	1150	1090	7200	1.66	6.0E+09	6.0E+08	10.1						
					400	600	100	1400	1200	1340	2250	1.65	1.2E+10	1.9E+08	63.4						

Tabel 4.8 Perhitungan Momen Pelat Lantai

DL = 436.000 kg/m
 LL = 250.000 kg/m
 U = 923.200 kg/m

Tipe Pelat	L_y (m)	L_x (m)	β	Dacrah	C	Mu (kgm)	Mu (Nmm)
A	7.200	3.375	2.13	tumpuan x	-62.0	-651.98	-6.39E+06
	7.200	3.375		lapangan x	62.0	651.98	6.39E+06
	7.200	3.375		lapangan y	34.0	1627.20	1.59E+07
B	7.200	2.250	3.20	tumpuan x	-63.0	-294.44	-2.89E+06
	7.200	2.250		lapangan x	63.0	294.44	2.89E+06
	7.200	2.250		lapangan y	13.0	622.16	6.10E+06
C	3.600	3.375	1.07	tumpuan x	-39.8	-418.53	-4.10E+06
	3.600	3.375		lapangan x	39.8	418.53	4.10E+06
	3.600	3.375		tumpuan y	-36.7	-439.10	-4.30E+06
D	3.600	3.375		lapangan y	36.7	439.10	4.30E+06
	7.200	2.250	3.20	tumpuan x	-63.0	-294.44	-2.89E+06
	7.200	2.250		lapangan x	63.0	294.44	2.89E+06
	7.200	2.250		lapangan y	13.0	622.16	6.10E+06

Tabel 4.9 Perhitungan Momen Pelat Atap

DL = 354 kg/m
 LL = 120 kg/m
 U = 546.4 kg/m

Tipe Pelat	Ly (m)	Lx (m)	β	Daerah	C	Mu (kgm)	Mu (Nmm)
A	7.200	3.375	2.13	tumpuan x	-62.0	-385.88	-3.78E+06
	7.200	3.375		lapangan x	62.0	385.88	3.78E+06
	7.200	3.375		lapangan y	34.0	963.06	9.44E+06
B	7.200	2.250	3.20	tumpuan x	-63.0	-174.27	-1.71E+06
	7.200	2.250		lapangan x	63.0	174.27	1.71E+06
	7.200	2.250		lapangan y	13.0	368.23	3.61E+06
C	3.600	3.375	1.07	tumpuan x	-39.8	-247.71	-2.43E+06
	3.600	3.375		lapangan x	39.8	247.71	2.43E+06
	3.600	3.375		tumpuan y	-36.7	-259.89	-2.55E+06
	3.600	3.375		lapangan y	36.7	259.89	2.55E+06
D	7.200	2.250	3.20	tumpuan x	-63.0	-174.27	-1.71E+06
	7.200	2.250		lapangan x	63.0	174.27	1.71E+06
	7.200	2.250		lapangan y	13.0	368.23	3.61E+06

Tabel 4.10_Penulangan Pelat Lantai

$f_c' = 30$ MPa $b = 1000$ mm
 $f_y = 300$ MPa $t = 130$ mm
 $d' = 20$ mm $dx = 105$ mm
 $\rho_{max} = 0.036$ $dy = 94$ mm
 $\rho_{min} = 0.005$ $m = 11.765$

Tipe Pelat	L_y (m)	L_x (m)	L_y/L_x	Dacrah	M_u (Nmm)	M_n (Nmm)	R_n	ρ_{perlu}	ρ_{pakai}	As perlu (mm ²)	Dipakai	As susut (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)
A	7.20	3.375	2.13	tumpuan x	-6.19E+06	-7.74E+06	-0.7018	-0.0022	-0.0029	-303.19	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				lapangan x	6.19E+06	7.74E+06	0.7018	0.0022	0.0030	311.12	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				tumpuan y	-3.87E+06	-4.83E+06	-0.5468	-0.0017	-0.0023	-212.06	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				lapangan y	1.59E+07	1.99E+07	2.2559	0.0074	0.0098	923.60	φ 12-100	260.00	φ 10-200	392.70
B	7.20	2.250	3.20	tumpuan x	-2.80E+06	-3.49E+06	-0.3170	-0.0010	-0.0013	-137.87	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				lapangan x	2.80E+06	3.49E+06	0.3170	-0.0010	-0.0013	-137.87	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				tumpuan y	-4.03E+06	-5.03E+06	-0.5696	-0.0018	-0.0023	-220.81	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				lapangan y	6.10E+06	7.62E+06	0.8626	0.0027	0.0037	343.37	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
C	3.60	3.375	1.07	tumpuan x	-3.97E+06	-4.97E+06	-0.4505	-0.0014	-0.0019	-195.50	φ 8-200	260.00	φ 10-200	392.70
				lapangan x	4.10E+06	5.13E+06	0.4650	0.0015	0.0020	205.22	φ 8-200	260.00	φ 10-200	392.70
				tumpuan y	-4.30E+06	-5.38E+06	-0.6088	-0.0019	-0.0025	-235.82	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				lapangan y	4.30E+06	5.38E+06	0.6088	0.0019	0.0026	241.16	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
D	7.20	2.250	3.20	tumpuan x	-2.80E+06	-3.49E+06	-0.3170	-0.0010	-0.0013	-137.87	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				lapangan x	2.89E+06	3.61E+06	0.3272	0.0010	0.0014	144.00	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				tumpuan y	-5.05E+06	-6.31E+06	-0.7142	-0.0022	-0.0029	-276.16	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70
				lapangan y	6.10E+06	7.62E+06	0.8626	0.0027	0.0037	343.37	φ 10-200	260.00	φ 10-200	392.70

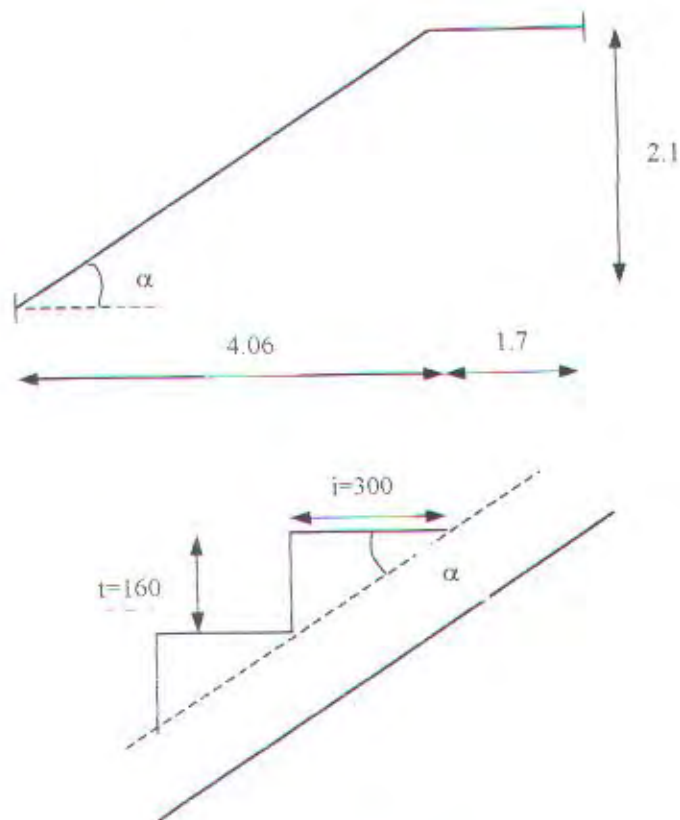
Tabel 4.11 Penulangan Pelat Atap

$f_c' = 30$ MPa $b = 1000$ mm
 $f_y = 300$ MPa $t = 100$ mm
 $d' = 40$ mm $dx = 55$ mm
 $P_{max} = 0.0362$ $dy = 45$ mm
 $P_{min} = 0.0047$ $m = 11.765$

Type Pelat	L_y (m)	L_x (m)	L_y/L_x	Daerah	M_u (Nmm)	M_n (Nmm)	R_n	ρ_{perlu}	ρ_{pakai}	As perlu (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)	As susut (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)
A	7.20	3.375	2.13	tumpuan x	-3.78E+06	-4.73E+06	-1.5626	-0.0048	-0.0063	-348.37	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				lapangan x	3.78E+06	4.73E+06	1.5626	0.0050	0.0067	369.03	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				tumpuan y	-3.87E+06	-4.83E+06	-2.3861	-0.0072	-0.0095	-429.32	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				lapangan y	9.44E+06	1.18E+07	5.8259	0.0207	0.0276	1244.11	ϕ 13-100	1327.30	200.00	ϕ 10-200	392.70
B	7.20	2.250	3.20	tumpuan x	-1.71E+06	-2.13E+06	-0.7057	-0.0022	-0.0029	-159.68	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				lapangan x	1.71E+06	2.13E+06	0.7057	0.0022	0.0030	163.88	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				tumpuan y	-4.03E+06	-5.03E+06	-2.4855	-0.0074	-0.0099	-446.48	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				lapangan y	3.61E+06	4.51E+06	2.2276	0.0073	0.0097	436.33	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
C	3.60	3.375	1.07	tumpuan x	-2.43E+06	-3.03E+06	-1.0031	-0.0031	-0.0041	-225.79	ϕ 8-200	251.33	200.00	ϕ 10-200	392.70
				lapangan x	2.43E+06	3.03E+06	1.0031	0.0032	0.0043	234.28	ϕ 8-200	251.33	200.00	ϕ 10-200	392.70
				tumpuan y	-2.55E+06	-3.18E+06	-1.5721	-0.0048	-0.0064	-286.72	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				lapangan y	2.55E+06	3.18E+06	1.5721	0.0051	0.0068	303.83	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
D	7.20	2.250	3.20	tumpuan x	-1.71E+06	-2.13E+06	-0.7057	-0.0022	-0.0029	-159.68	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				lapangan x	1.71E+06	2.13E+06	0.7057	0.0022	0.0030	163.88	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				tumpuan y	-5.05E+06	-6.31E+06	-3.1165	-0.0092	-0.0123	-554.23	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70
				lapangan y	3.61E+06	4.51E+06	2.2276	0.0073	0.0097	436.33	ϕ 10-200	392.70	200.00	ϕ 10-200	392.70



4.7. Perencanaan Tangga



Gambar 4.2 Perencanaan 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

α = sudut kemiringan tangga

Direncanakan tangga sebagai berikut :

Tinggi injakan, $t = 160$ mm

Lebar injakan, $i = 300$ mm

Tinggi antara lantai dan bordes = 2.0 m

Tebal pelat tangga dan bordes, $t_p = 130$ mm

Kontrol :

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

$$\text{Kemiringan tangga, } \alpha = \arctg\left(\frac{i}{j}\right) = \arctg\left(\frac{210}{406}\right) = 27.35^\circ \quad \dots\dots \text{ (OK)}$$

$$\text{Jumlah injakan, } n = \frac{2100}{160} = 13 \text{ buah}$$

$$\text{Tebal rata-rata anak tangga, } tr = \frac{i}{2} \sin \alpha = \frac{300}{2} \sin 27.35^\circ = 69 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal total pelat tangga, } t = 130 + 70 = 200 \text{ mm}$$

4.7.2 Pembebanan Tangga

(1) Pembebanan pada Pelat Tangga

Beban mati (tidak termasuk berat sendiri)

$$\text{Berat anak tangga} = \frac{0.200}{\cos 27.35^\circ} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 540.41 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi, tebal 2 cm} = 2 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tegel, tebal 2 cm} = 2 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Sandaran (dinding } \frac{1}{2} \text{ bata)} = 250 \text{ kg/m}^2 +$$

$$D = 880.41 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup (L)

$$\text{Beban hidup untuk ruang perkuliahan} \quad L = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{\text{ultimate}} = 1.2 D + 1.6 L = 1536.12 \text{ Kg/m}$$

(2) Pembebanan pada Pelat Bordes

Beban mati (tidak termasuk berat sendiri)

$$\text{Spesi, tebal 2 cm} = 2 \times 21 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tegel, tebal 2 cm} = 2 \times 24 \text{ kg/m}^2 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Sandaran (dinding } \frac{1}{2} \text{ bata)} = 250 \text{ kg/m}^2 +$$

$$D = 340 \text{ kg/m}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f'_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765 \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.2.3 -2})$$

- (1) Menghitung tulangan pelat tangga :

$$M_u = R_A \cdot 2.03 - 1536.12 \cdot 2.030^2/2 = 5485.6 \text{ kg.m} = 5.49\text{E}+07 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal total pelat tangga, } t = 200 \text{ mm}$$

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

$$\text{Sengkang } \phi 10 \text{ mm, Tulangan utama D-19 mm}$$

$$d = 200 - 20 - 10 - 19/2 = 160.5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{5.49\text{E}+07}{0.8 \times 1000 \times 160.5^2} = 2.65 \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.2.3 -2})$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f'_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \quad (\text{SKSNI 91 ps 3.2.3 -2})$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 2.65}{300}} \right) = 0.0093 \quad (\text{SKSNI 91 ps 3.2.3 -2})$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} b d = 0.0093 \times 1000 \times 160.5 \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.3.9 -1}) \\ &= 1492.65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dipasang tulangan D19-150 (As = 1890.2 mm}^2\text{)}$$

Syarat jarak tulangan :

$$\begin{aligned} s &\leq 3t = 3 \times 200 = 600 \text{ mm} \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{OK})$$

- (2) Menghitung tulangan pelat bordes :

$$M_u = 4.6\text{E}+7 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal pelat bordes, } t_p = 130 \text{ mm}$$

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

$$\text{Sengkang } \phi 10 \text{ mm, Tulangan utama D 19 mm}$$

$$d = 130 - 20 - 10 - 19/2 = 90.5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{4.6E+7}{0.8 \times 1000 \times 90,5^2} = 6.74$$

(SKSNI '91 ps 3.2.3 -2)

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

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

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 6.74}{300}} \right) = 0.027$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} b d = 0.027 \times 1000 \times 90,5 = 2443,5 \text{ mm}^2$$

(SKSNI '91 ps 3.3.9 -1)

Dipasang tulangan **D19-100** ($As = 2835.3 \text{ mm}^2$)

Syarat jarak tulangan :

$$s \leq 3t = 3 \times 120 = 360 \text{ mm}$$

(OK)

(SKSNI '91 3.16.6-5)

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

(3) Menghitung tulangan pembagi :

Tulangan pembagi pada tangga

Tebal total pelat tangga, $t = 200 \text{ mm}$

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

$$d = 200 - 20 - 10/2 = 175 \text{ mm}$$

$$As_{perlu} = 0.0020 b d$$

(SKSNI '91 ps 3.3.9 -1)

$$= 0.0020 \times 1000 \times 175 = 350 \text{ mm}^2$$

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

Syarat jarak tulangan :

$$s \leq 5t = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm}$$

(OK)

(SKSNI '91 3.16.6-5)

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

Tulangan pembagi pada bordes

Tebal pelat bordes, $t_p = 130 \text{ mm}$

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

$$d = 130 - 20 - 10/2 = 105 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= 0.0020 \text{ bd} &= 0.0020 \times 1000 \times 105 \\ &= 210 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

Syarat jarak tulangan :

$$\begin{aligned} s &\leq 5t = 5 \times 130 = 650 \text{ mm} \\ s &\leq 500 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{OK}) \quad (\text{SKSNI '91 3.16.6-5})$$

4.7.4. Penulangan geser struktur tangga :

$$V_u = 4261.43 \times \cos 27.35 = 3785.07 \text{ kg} = 3.8\text{E}+04 \text{ N}$$

$$d = 200 - 20 - 10 - 10/2 = 165 \text{ mm}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} x b_w x d = \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 1000 \times 165 = 150623.7 \text{ N} (\text{SKSNI 91 ps.3.4.3 -1})$$

$$\phi V_c = 0.60 \times 150623.7 = 90374.2 \text{ N}$$

$$\rightarrow V_u < \phi V_c, \text{ tidak perlu tulangan geser} \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.4.1-1})$$

4.7.5. Perencanaan Balok Bordes

Data perencanaan :

$$\text{Dimensi balok} = 350/500$$

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

$$\text{Tulangan utama} = 19 \text{ mm}$$

Gaya-gaya yang bekerja pada Bordes :

$$V_i = 3484.81 \text{ kg}$$

$$M_{\max} = 4.6\text{E}+7 \text{ Nmm}$$

Perencanaan tulangan utama

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

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{4.6\text{E}+7}{0.8 \times 350 \times 440.5^2} = 0.845$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

(SKSNI '91 ps 3.2.3 -2)

Jumlah kebutuhan tulangan memanjang (longitudinal) :

$$A_l = 2 A_t \frac{b+h}{s} = 2 \times 157,0 \times \frac{350+500}{200} = 1334,5 \text{ mm}^2 \text{ (SKSNI '91 ps.3.4.6-9-3)}$$

Dipasang tulangan **5D-19** ($A_s = 1417,64 \text{ mm}^2$)

4.8 Perencanaan Balok Anak

4.8.1 Contoh perencanaan balok anak lantai 1.

(1) Balok anak BA1 (350/500)

Pembebanan balok anak

Beban mati (D) :

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Beban pelat} & = 2 \times 681.86 \text{ kg/m} & = 1363.72 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat sendiri balok} & = 0.35 \times 0.5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 & = 420 \text{ kg/m} \\
 \hline
 D & & = 1783.72 \text{ kg/m}
 \end{array}$$

Beban hidup (L) :

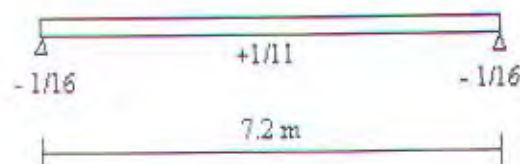
$$\text{Beban pelat} = 2 \times 390.98 \text{ kg/m} = 781.96 \text{ kg/m}$$

Beban ultimate :

$$\begin{aligned}
 w_{UJ} &= 1.2D + 1.6L \\
 w_{UJ} &= 1.2 \times 1783.72 + 1.6 \times 781.96 = 3391.6 \text{ kg/m} \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.2.2.1})
 \end{aligned}$$

Perhitungan momen ultimate

(PBI 1971 ps. 13.2)



Gaya-gaya dalam yang terjadi :

$$Mu^- = \frac{1}{11} \times 3391.6 \times 7.2^2 = 15983.69 \text{ kgm} = 1.59\text{E}+8 \text{ Nmm}$$

$$Mu^+ = \frac{1}{16} \times 3391.6 \times 7.2^2 = 10988.78 \text{ kgm} = 1.09\text{E}+8 \text{ Nmm}$$

$$Vu = \frac{1}{10} \times 3391.6 \times 7.2 = 2441.95 \text{ kg} = 2.44\text{E}+4 \text{ N}$$

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

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

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f'c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.85 \frac{0.85 \times 30}{300} \frac{600}{600 + 300} = 0.0482$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.0482 = 0.0362$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.00467$$

(SKSNI'91 ps 3.3.5 -1)

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\text{Tinggi balok} = 500 \text{ mm} \quad ; \quad \text{Lebar balok} = 350 \text{ mm}$$

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

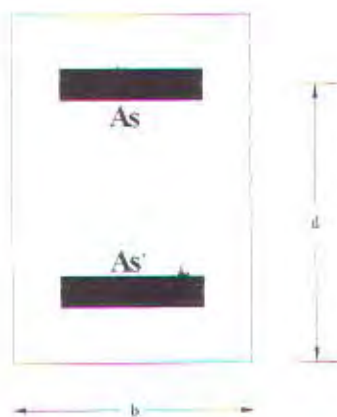
$$\text{Tulangan utama} = \text{D-22}$$

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

$$d = 500 - 40 - 10 - 22/2 = 439 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + (0.5 \cdot 22) = 61 \text{ mm}$$

Tulangan daerah tumpuan



Profil balok anak tepi (tumpuan)

$$R_n = \frac{(1 - \delta) \cdot M_u}{\phi b d^2} = \frac{0.5 \cdot 1.59 \text{E} + 8}{0.8 \times 350 \times 439^2} = 1.473$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 1.473}{300}} \right) = 0.0051$$

$$\rho' = \frac{\delta \cdot M_u}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} = \frac{0.5 \cdot 1.59 \text{E} + 8}{0.8 \cdot 300 \cdot (439 - 61) \cdot 350 \cdot 439} = 0.0057$$

Tulangan tarik dan tekan pada tumpuan

$$\rho = \rho \delta + \rho' = 0.0051 + 0.0057 = 0.0108 > \rho_{\min}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.0108 \times 350 \times 439 \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.3.9 -1})$$

$$= 1659,42 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tumpuan atas 5D-22 ($A_s = 1900,664 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_s' &= \rho' \cdot b \cdot d &= 0,0057 \times 350 \times 439 \\ &= 875,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan tumpuan bawah 3D-22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)

Penulangan lapangan

$$Mu^+ = 1.26E + 8 \text{ Nmm}$$

Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{e1} = \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 7200 = 1800 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 16t = 350 + 16 \times 130 = 2430 \text{ mm} \quad \} \text{ diambil } b_e = 1800 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b_e d^2} = \frac{(1-\delta) \cdot 1.26E + 8}{0.8 \times 1800 \times 439^2} = 0.226$$

$$\rho\delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0.226}{300}} \right) = 0.0008$$

$$\rho' = \frac{\delta \cdot Mu}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} = \frac{0.5 \cdot 1.26E + 08}{0.8 \cdot 300 \cdot (439 - 61) \cdot 350 \cdot 439} = 0.0045$$

$$\rho = \rho\delta + \rho' = 0.0008 + 0.0045 = 0.0053 > \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d &= 0.0053 \times 350 \times 439 \\ &= 1167,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lapangan atas 3D-22 ($A_s = 1520.53 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_s' &= \rho' \cdot b \cdot d &= 0.0053 \times 350 \times 439 \\ &= 692 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lapangan bawah 2D-22 ($A_s = 760.27 \text{ mm}^2$)

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b_e} = \frac{1520,53 \times 300}{0.85 \times 30 \times 1800} = 9,94 \text{ mm} < t = 130 \text{ mm.}$$

→ jadi pemisalan balok T sebagai balok persegi sudah benar.

Perencanaan Tulangan Geser

$$V_u = 2.44E + 4 \text{ N}$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f'_{cd}} b d = \frac{1}{6} \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 350 \times 439 = 8.42E + 4 \text{ N}$$

Periksa kategori desain :

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

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

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

$$s_{maks} = \frac{3A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 300}{350} = 404 \text{ mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{439}{2} = 219.5 \text{ mm}$$

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

Dipasang tulangan geser $\phi 10-200$

4.8.2. Contoh perencanaan balok anak lantai 1.

(2) Balok anak BA3 (200/250)

Pembebanan balok anak

Beban mati (D) :

Beban pelat	= 2 x 490.5 kg/m	= 981	kg/m
Berat sendiri balok	= 0.2 x 0.5 x 2400 kg/m ³	= 240	kg/m +
		D	= 1221 kg/m

Beban hidup (L) :

Beban pelat	= 2 x 281.25 kg/m	= 562.5	kg/m
-------------	-------------------	---------	------

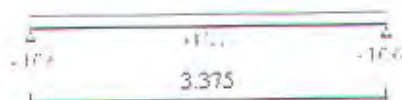
Beban ultimate :

$$w_U = 1.2D + 1.6L \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.2.2.1})$$

$$w_U = 1.2 \times 1221 + 1.6 \times 562.5 = 2365.2 \text{ kg/m}$$

Perhitungan momen ultimate

(PBI 1971 ps. 13.2)



Gaya-gaya dalam yang terjadi :

$$Mu^- = \frac{1}{16} \times 2365.2 \times 3.375^2 = 1683.82 \text{ kgm} = 1.65\text{E}+7 \text{ Nmm}$$

$$Mu^+ = \frac{1}{11} \times 2365.2 \times 3.375^2 = 2245 \text{ kgm} = 2.2\text{E}+7 \text{ Nmm}$$

$$Vu = \frac{1}{10} \times 2365.2 \times 3.375 = 798.26 \text{ kg} = 7.98\text{E}+3 \text{ N}$$

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

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

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f'c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.85 \cdot \frac{0.85 \times 30}{300} \frac{600}{600 + 300} = 0.0482$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.0482 = 0.0362$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.00467 \quad (\text{SKSNI'91 ps 3.3.5-1})$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\text{Tinggi balok} = 250 \text{ mm} ; \quad \text{Lebar balok} = 200 \text{ mm}$$

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

$$\text{Tulangan utama} = \text{D-22}$$

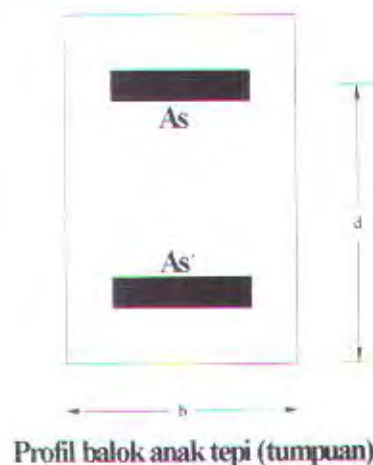
$$\text{Tulangan sengkang} = \phi - 10$$

$$d = 250 - 40 - 10 - 22/2 = 189 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + (22/2) = 61 \text{ mm}$$

$$\delta = 0.5 \quad (\text{SKSNI 3.14.3.2})$$

Tulangan daerah tumpuan



$$R_n = \frac{(1-\delta).Mu}{\phi.b.d^2} = \frac{(1-0,5).1,65E+07}{0,8.200.189^2} = 1,443$$

$$\rho\delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 1,443}{300}} \right) = 0,0049$$

$$\rho' = \frac{\delta.Mu}{\phi.f_y.(d-d').b.d} = \frac{0,5.1,65E+07}{0,8.300.(189-61).200.189} = 0,0071$$

Tulangan tarik dan tekan pada tumpuan

Tulangan tumpuan atas

$$\rho = \rho\delta + \rho' = 0,0049 + 0,0071 = 0,012 > \rho_{min}$$

$$A_s = \rho.b.d = 0,012 \cdot 200 \cdot 189 = 453,6 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tumpuan atas 2D-22 ($A_s = 760,27 \text{ mm}^2$)

Tulangan tumpuan bawah

$$A_s' = \rho'.b.d = 0,0071 \cdot 200 \cdot 189 = 268,38 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tumpuan bawah 2D-22 ($A_s = 760,27 \text{ mm}^2$)

Kontrol tulangan yang terpasang

$$\rho = \frac{760,27}{200.189} = 0,020$$

$$\rho' = \frac{760,27}{200.189} = 0,020$$

Cek kondisi tulangan tekan

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{(A_s.f_y / 0,85 / f_c' / b / 0,8 - d')}{A_s.f_y / 0,85 / f_c' / b / 0,8} \times 0,003 \times 200.000 \\ &= \frac{((760,27.300 / 0,85 / 30 / 200 / 0,8) - 61)}{760,27.300 / 0,85 / 30 / 200 / 0,8} \times 0,003 \times 200.000 \\ &= 163,27 \text{ MPa} < 300 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{tulangan tekan belum leleh.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s.f_y - A_s'.f_s'}{0,85.f_c'.b} = \frac{760,27.300 - 760,27.163,27}{0,85.30.200} \\ &= 20,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu ada} &= 0,8((A_s.f_y - A_s'.f_s')(d-0,5a) + A_s'.f_s'.(d-d')) \\ &= 0,8 \cdot ((1140,4 \cdot 300 - 760,27 \cdot 20,4) \cdot (189-0,5 \cdot 20,4) + 760,27 \cdot 20,4 \cdot (189-61)) \\ &= 4,4855391,26 \text{ Nmm} > \text{Mu ada} = 2,69E+07 \text{ Nmm} \dots \dots \dots \text{OK} \end{aligned}$$

.Penulangan lapangan

$$Mu^+ = 1.97E + 07 \text{ Nmm}$$

Nilai lebar efektif (diambil yang terkecil) :

$$b_{e1} = \frac{1}{4}L = \frac{1}{4} \times 3375 = 843.75 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 16t = 200 + 16 \times 120 = 2120 \text{ mm} \quad \text{diambil } b_e = 843.75 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{(1-\delta).Mu}{\phi b_e d^2} = \frac{0.5 \cdot 2.2E + 7}{0.8 \times 843.75 \times 189^2} = 0.456$$

$$\rho\delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0.456}{300}} \right) = 0.0015$$

$$\rho' = \frac{\delta.Mu}{\phi.f_y.(d-d').b.d} = \frac{0.5 \cdot 2.2E + 7}{0.8 \cdot 300 \cdot (189 - 61) \cdot 200 \cdot 189} = 0.0094$$

$$\rho = \rho\delta + \rho' = 0.0015 + 0.0095 = 0.011$$

Tulangan Lapangan atas

$$As = \rho.b.d = 0.011 \cdot 200 \cdot 189 = 415.8 \text{ mm}^2 \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.3.9 -1})$$

Dipasang tulangan 2D-22 ($As = 760.27 \text{ mm}^2$)

Tulangan lapangan bawah

$$As' = \rho'.b.d = 0.0094 \cdot 200 \cdot 189 = 355.32 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 2D-22 ($As = 760.27 \text{ mm}^2$)

$$a = \frac{As f_y}{0.85 f_c' b_e} = \frac{760.27 \times 300}{0.85 \times 30 \times 843.75} = 10.60 \text{ mm} < t = 130 \text{ mm.}$$

→ jadi pemisalan balok T sebagai balok persegi sudah benar.

Perencanaan Tulangan Geser

$$Vu = 7.98E + 3 \text{ N}$$

$$\phi V_c = \frac{1}{6} \phi \sqrt{f_c'} b d = \frac{1}{6} \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 200 \times 439 = 4.83E + 4 \text{ N}$$

Periksa kategori desain :

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

Tulangan geser dipasang praktis dengan ketentuan :

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

$$s_{maks} = \frac{3A_v f_y}{b_w} = \frac{3 \times 157 \times 300}{200} = 706,5 \text{ mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

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

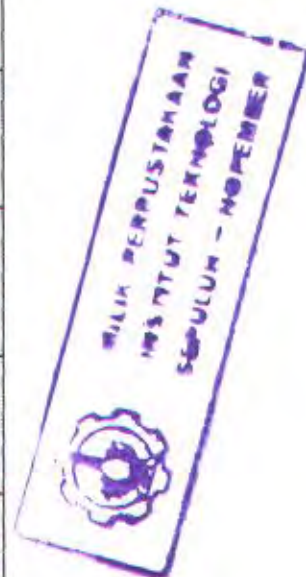
Dipasang tulangan geser $\phi 10-200$

Tabel 4.12 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

$f_c' = 30$	MPa	$b_1 \& b_2 =$	350 mm	$b_{e1} =$	1800 mm
$f_y = 300$	MPa	$b_3 =$	200 mm	$b_{e2} =$	900 mm
$m = 11.765$		$d_1 \& d_2 =$	439 mm	$b_{e3} =$	843.75 mm
$\rho_{min} = 0.00467$		$d_3 =$	189 mm	$d' =$	61 mm
$\rho_{maks} = 0.0362$		$\delta =$	0.5		

Tulangan Daerah Tumpuan													
Lantai	Tipe Balok	Mu ⁺ (Nmm)	Rn	ρ δ	ρ'	ρ (ρ δ+ρ)	As		As' mm ²	Tumpuan Atas		Tumpuan Bawah	
							mm ²	mm ²		Luas(mm ²)		Luas(mm ²)	
										Tulangan	Tulangan	Tulangan	Tulangan
1 sd 6	BA1	1.59E+08	1.473	0.0051	0.0057	0.0108	1654	876	5D-22	1900,7	3D-22	1140,4	
	BA2	2.67E+07	2.334	0.0082	0.0115	0.0197	743	434	2D22	760,27	2D22	760,27	
	BA3	2.69E+07	2.353	0.0082	0.0116	0.0198	749	438	2D22	760,27	2D22	760,27	
Atap	BA4	8.11E+07	0.752	0.0025	0.0029	0.0055	838	447	3D-22	1140,4	2D-22	760,27	

Tulangan Daerah Lapangan												
Lantai	Tipe Balok	Mu ⁺ (Nmm)	Rn	ρ δ	ρ'	ρ (ρ δ+ρ')	As mm ²	As' mm ²	Lapangan Bawah		Lapangan Atas	
									Tulangan	Luas(mm ²)	Tulangan	Luas(mm ²)
1 sd 6	BA1	1.26E+08	0.226	0.0008	0.0045	0.0053	809	692	3D-22	1140,4	2D22	760,27
	BA2	2.22E+07	0.080	0.0003	0.0096	0.0098	1512	362	4D22	1520,53	2D22	760,27
	BA3	1.97E+07	0.409	0.0014	0.0085	0.0099	373	321	2D-22	760,27	2D-22	760,27
Atap	BA4	5.80E+07	0.104	0.0003	0.0021	0.0024	373	760.0	2D-22	760,27	2D-22	760,27



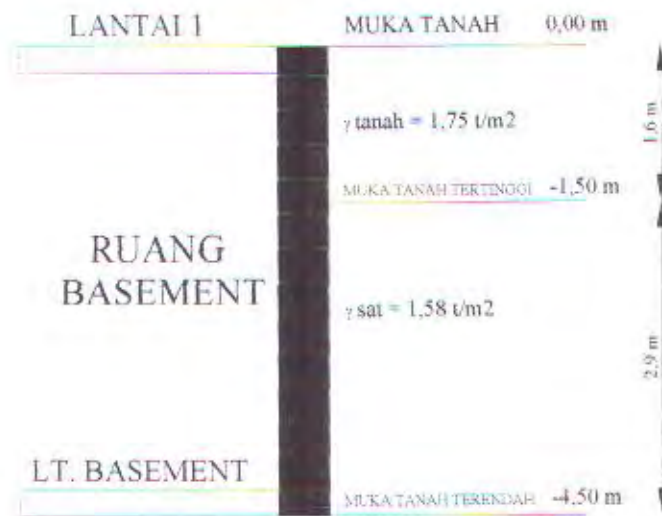
Tabel 4.13 Perencanaan Geser Balok Anak

$f_c' = 30$ MPa
 $f_y = 300$ MPa

Lantai	Tipe Balok	Tulangan geser sejarak d				
		V_u (N)	b mm	d mm	ϕV_c (N)	s (mm)
1 sd 6	BA1	2.44E+04	350	440.5	8.44E+04	404
	BA2	7.41E+02	350	440.5	8.44E+04	404
	BA3	7.98E+03	200	440.5	4.83E+04	707
Atap	BA4	1.13E+04	350	440.5	8.44E+04	404
						Dipasang $\phi 10-200$ $\phi 10-200$ $\phi 10-200$ $\phi 10-200$

4.9 Perencanaan Pelat Lantai Basement

Pelat lantai basement terletak pada kedalaman $-4,5$ m dengan muka air tanah pada kedalaman $-1,6$ m, muka air terendah pada kedalaman $-4,5$ m tepat pada dasar lantai basement. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam gambar berikut ini.



Adapun data perencanaan basement adalah sebagai berikut:

- mutu beton (f_c') = 30 Mpa
 - mutu baja (f_y) = 300 Mpa
 - berdasarkan SK SNI T-15 -1991 besar decking elemen yang bersentuhan dengan tanah langsung, disyaratkan minimum 7,0 cm.
 - Tebal pelat lantai basement diambil 0,22 m
 - Tebal finishing direncanakan 3 cm dengan berat yang telah ditentukan oleh PPIUG '83 sebesar 2200 kg/m^2 .
 - Diameter tulangan arah x dan y = 10 mm
- $$dx = 220 - 70 - 10/2 = 145 \text{ mm}$$
- $$dy = 220 - 70 - 10 - 10/2 = 135 \text{ mm}$$

4.9.1 Pembebanan Pelat Basement

Beban-beban yang bekerja pada pelat lantai basement adalah :

a. Beban mati:

- berat sendiri pelat $= 0,2 \times 2400 = 480 \text{ kg/m}^2$
- tegel + spesi (5 cm) $= 0,03 \times 2200 = 66 \text{ kg/m}^2$
- DL $= 546 \text{ kg/m}^2$

b. Beban hidup:

- PPI * 83 tabel 3.1 $LL = 800 \text{ kg/m}^2$ (untuk tempat parkir)
- Uplift dari air (ke atas) $= 1000 \cdot 3 = 3000 \text{ kg/m}^2$

c. Beban uplift

- beban akibat adanya tekanan air ke atas di bawah pelat lantai basement.

$$\begin{aligned} \text{Uplift} &= H \times \gamma_{\text{air}} = 3 \text{ m} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 3000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d. Daya dukung tanah yang berada di bawah lantai basement bisa dihitung berdasarkan muka air tanah terendah(pada kedalaman)

$$\begin{aligned} \text{- Daya dukung tanah} &= \gamma'_1 \times H_1 + \gamma'_2 \times H_2 \\ &= 1,750 \times 1,6 + 580 \times 3 \\ &= 4540 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Dimana daya dukung tanah ini bekerja secara pasif, yaitu dia hanya bekerja bila ada beban dari atas yang besar dari tekanan tanah ke atas ini sebesar tekanan ke bawah yang bekerja dan merupakan daya dukung dari tanah di bawah lantai basement dari atas maksimum sebesar 4540 kg/m^2 maka tekanan tanah ke atas masih akan mampu mengimbangnya.

Berdasarkan kondisi pembebanan di atas dalam perencanaan pelat lantai basement ini ada 4 kombinasi pembebanan, yaitu terdiri dari:

1. Kombinasi pembebanan dimana ruang kuliah penuh, uplift tidak bekerja dan daya dukung tanah ke atas bekerja

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2.DL + 1,6.LL, \text{ k, dimana k adalah koefisien kejut} = 1,2 \\ &= 1,2 \cdot 546 + 1,6 \cdot 800 \cdot 1,2 \\ &= 2191,2 \text{ kg/m}^2 \text{ arah ke bawah} < \text{Daya dukung tanah} = 4540 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2. Kombinasi pembebanan dimana ruang kuliah penuh, uplift dan daya dukung tanah ke atas bekerja .

basement didasarkan kepada dua kondisi pembebanan di atas dimana tulangan bawah pada daerah lapangan direncanakan menerima beban dari atas dan tulangan atas pada daerah lapangan direncanakan menerima beban dari bawah sedangkan cara penulangan sama dengan penulangan pelat lantai dan atap.

Tulangan susut dan suhu dipasang pada tulangan bawah dan tulangan atas pada kedua arah bentang pelat (arah X dan arah Y) dengan cara mendistribusikan tulangan susut dan suhu pada ke semua arah dengan merata.

Adapun langkah-langkah perhitungan penulangan lentur pelat sebagai berikut:

1. ditentukan harga d , f_y , f_c' dan M_u .

dimana:

d = decking dari pelat

f_y = tegangan leleh baja yang dipakai

f_c' = tegangan ijin beton yang dipakai

M_u = momen ultimate yang akan terjadi pada pelat.

2. ditetapkan batas-batas harga prosentase tulangan yang menentukan.

$$\rho_b = \rho_1 \frac{0.85 f_c' \frac{600}{f_y}}{600 + f_y} = 0.85 \frac{0.85 \times 30 \frac{600}{300}}{600 + 300} = 0.0482 \text{ (SKSNI 91 ps 3.1.4 - 3)}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.0482 = 0.0362 \quad \text{(SKSNI '91 ps 3.3.3 - 3)}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.00467 \quad \text{(SKSNI '91 ps 3.3.5 - 1)}$$

3. Hitung besar $\rho_{\text{perlu}} = 1/m \cdot (1 - (1 - 2 \cdot M \cdot R_n / f_y)^{1/2})$

$$m = f_y / (0.85 \cdot f_c')$$

$$R_n = M_u / (\Phi \cdot b \cdot d^2)$$

4. pilih mana yang menentukan ρ_{perlu} atau $\rho_{\min}$.

5. Hitung besarnya luasan tulangan lentur (A_s) yang diperlukan dan pilih tulangan yang dipakai serta jarak yang dari penulangannya.

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Contoh perhitungan pelat lantai basement.

Sebagai contoh diambil pelat basement type A.

$$d = 70 \text{ mm (syarat decking minimum untuk pelat basement)}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$

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

Diameter tulangan arah x dan y = 10 mm

$$d_x = 220 - 70 - 10/2 = 145 \text{ mm}$$

$$d_y = 220 - 70 - 10 - 10/2 = 135 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = 0,00467$$

$$\rho_{\max} = 0,0362$$

$$M_{tx} = -M_{lx} = 0,001 \cdot 2344,8 \cdot 3,350^2 \cdot 42 = 1105,2098 \text{ kgm} = 11.052.098 \text{ Nmm}$$

$$M_{ty} = -M_{ly} = 0,001 \cdot 2344,8 \cdot 3,350^2 \cdot 37 = 973,6371 \text{ kgm} = 9.736.371 \text{ Nmm}$$

Pemulangan arah x

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{11.052.098}{0.8} = 13.815.122,5 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd_x^2} = \frac{13.815.122,5}{1000 \times 145^2} = 0,657$$

(SKSNI '91 ps 3.2.3 -2)

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0.657}{300}} \right) = 0.0022 < \rho_{\min}$$

$$\text{Dipakai } \rho_{\text{perlu}} = \rho_{\min} = 0,00467$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x = 0.00467 \times 1000 \times 145 = 677,15 \text{ mm}^2$$

Persyaratan jarak tulangan disebutkan pada pasal 3.6.4.2 SK SNI '91 yaitu

$S_{\max} = 2t$, dengan t = tebal pelat

$$S_{\max} = 2 \times 22 = 44 \text{ cm}$$

Dipasang tulangan $\phi 10-100$ ($A_s = 785,4 \text{ mm}^2$)

Pemulangan arah y

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{9.736.371}{0.8} = 12.170.463,75 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd_x^2} = \frac{12.170.463,75}{1000 \times 135^2} = 0.668 \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.2.3 -2})$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0.668}{300}} \right) = 0.0023 < \rho_{\text{min}}$$

$$\text{Dipakai } \rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} = 0.00467$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} b d_x = 0.00467 \times 1000 \times 135 = 630.45 \text{ mm}^2$$

Persyaratan jarak tulangan disebutkan pada pasal 3.6.4.2 SK SNI '91 yaitu

$S_{\text{max}} = 2t$, dengan t = tebal pelat

$$S_{\text{max}} = 2 \times 22 = 44 \text{ cm}$$

Dipasang tulangan $\phi 10-100$ ($A_s = 785.4 \text{ mm}^2$)

4.9.4 Kontrol Retak Pelat Lantai Basement

Berdasarkan SK SNI 1991 pasal 3.3.6 mengenai kontrol retak pada pelat satu arah, nilai Z dihitung berdasarkan rumus :

$$Z = f_s \cdot (d_c \cdot A)^{1/3} \quad (\text{SKSNI '91 3.3.6-4})$$

Tidak melebihi 25 MN/m^2 , maka retak pada struktur beton tidak perlu diperiksa

Dimana:

d_c = jarak pusat tulangan ke tepi luar suatu komponen struktur beton

A = luas efektif beton disekitar tulangan tarik dibagi jumlah tulangan
 $= 2 \cdot d_c \cdot b_w / (n \text{ tulangan})$

f_s = $60\% f_y$

Perhitungan:

$$d_c = 70 + 0.5 \cdot 10 = 75 \text{ mm}$$

$$s = \text{jarak antar tulangan} = 100 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot d_c \cdot s = 2 \cdot 75 \cdot 100 = 15000 \text{ mm}^2$$

$$f_s = 60\% f_y = 0.6 \cdot 300 = 180 \text{ MPa}$$

$$\text{Jadi } Z = 180 \cdot (75 \cdot 15000)^{1/3} \quad (\text{SKSNI '91 3.3.6-4})$$

$$= 18.720 \text{ Mn/mm}^2 < 25 \text{ Mn/m}^2, \text{ tidak perlu kontrol retak.}$$

4.9.5 Perencanaan Dinding Basement

Dinding basement dimodelkan sebagai pelat yang terjepit pada sisi bawah oleh sloof dan balok induk pada sisi atasnya. Dinding basement ini dalam kondisi tidak terlepas dari kolom dan menerima beban lateral akibat tekanan tanah ke samping, sedangkan penulangannya berdasarkan SK SNI '91.

SK SNI '91 pasal 3.7.5.3 menyebutkan bahwa tebal dinding basement dan tebal dinding basement tidak kurang dari 190 mm, sehingga pada perencanaan ini dinding basement ditentukan tebalnya adalah 200 mm.

Perencanaan:

- mutu beton	= $f_c' = 30 \text{ MPa}$
- mutu baja tulangan	= $f_y = 300 \text{ MPa}$
- diameter tulangan utama	= $\phi 10$
- diameter tulangan pembagi	= $\phi 10$
- $\gamma_{\text{tanah}} (\gamma_t)$	= 1.750 kg/m
- $\gamma_{\text{air}} (\gamma_w)$	= 1000 kg/m
- q pada permukaan tanah (q_0)	= 250 kg/m
- elevasi muka air tanah (MAT)	= $-1,60 \text{ m}$
- tebal dinding rencana	= 20 cm
- tinggi dinding basement	= $4,5 \text{ m}$
- tebal decking	= 70 mm
- d penulangan arah x	= $200 - 70 - 16/2$ = 122 mm
- d penulangan arah y	= $200 - 70 - 16/2 - 16$ = 106 mm
- ρ_{min}	= $0,00467$
- ρ_{maks}	= $0,0362$

Parameter-parameter tanah:

- sudut geser dalam (ϕ)	= 35°
- koefisien tekanan tanah aktif (K_a)	
$K_{a1} = \text{tg}^2 (45^\circ - 35^\circ/2)$	= $0,271$

- koefisien tekanan tanah aktif akibat beban gempa

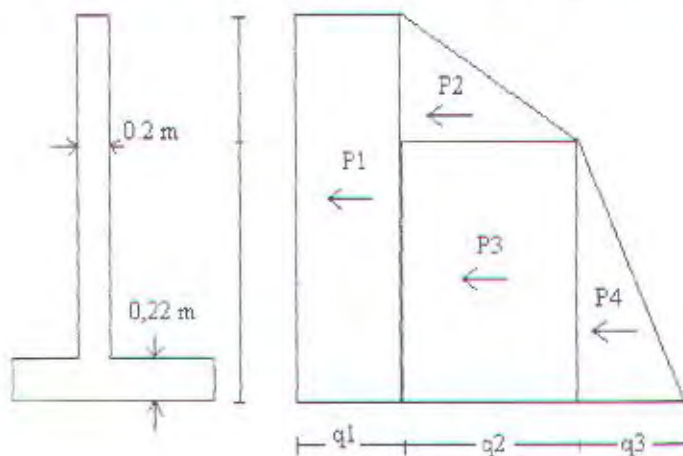
Dari grafik standart for Port and Harbour Structure didapat K_a maximum yang

$$A_d = 0,5 < 0,814$$

- specific gravity (G_s) $= 2,75$
- angka pori (e) $= 0,82$
- $\gamma_{sat} = ((G_s + e) \cdot \gamma_w) / (1 + e)$ $= 1961,538 \text{ kg/m}^3$
- $\gamma_{efektif} (\gamma') = \gamma_{sat} - \gamma_w$ $= 1961,538 - 1000$
 $= 961,538 \text{ kg/m}^3$

Perhitungan Pembebanan

Pembebanan yang terjadi pada dinding basement akibat tekanan aktif tanah ke samping untuk tiap 1 m panjang tembok penahan, didasarkan pada kondisi tiap-tiap lapisan tanah yang bisa digambarkan dalam gambar berikut:



Besarnya tegangan-tegangan q_1 , q_2 , q_3 , q_a , q_b bisa dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q_1 &= q_0 \cdot K_a \\
 &= 250 \cdot 0,271 \\
 &= 67,75 \text{ kg/m}^2 \\
 q_2 &= \gamma_t \cdot K_{a1} \cdot h_1 \\
 &= 1750 \cdot 0,271 \cdot 1,6 \\
 &= 758,8 \text{ kg/m}^2 \\
 q_3 &= \gamma_t' \cdot K_{a2} \cdot h_2 \\
 &= 961,538 \cdot 0,271 \cdot 2,9 \\
 &= 755,67 \text{ kg/m}^2 \\
 q_a &= q_1 + 2/3 \cdot q_2 \\
 &= 67,75 + 2/3 \cdot 758,8 \\
 &= 571,62 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_b &= 1/3 \cdot q_2 + 2/3 \cdot q_3 \\
 &= 1/3 \cdot 758,8 + 2/3 \cdot 755,67 = 756,71 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Sedangkan besarnya P yang terjadi bisa dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 67,75 \cdot 4,5 = 304,875 \text{ kg/m} \\
 P_2 &= 758,8 \cdot 1,6/2 = 607,04 \text{ kg/m} \\
 P_3 &= 758,8 \cdot 2,9 = 2200,52 \text{ kg/m} \\
 P_4 &= 755,67 \cdot 2,9 = 2191,443 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

4.9.6 Perhitungan Penulangan Lentur Dinding Basement

Momen-momen tumpuan dan lapangan pada dinding basement dihitung dengan tabel Bares. Momen-momen tiap-tiap pelat dibagi menjadi 2. Momen pertama diakibatkan oleh beban q_a yang bekerja pada semua bagian pelat. Momen kedua diakibatkan oleh beban q_b yang bekerja pada kedalaman $-1,6$ m sampai dengan kedalaman $-4,5$ m dari dinding basement seperti tampak pada gambar.

Perhitungan momen akibat beban merata

Sesuai dengan yang diberikan oleh tabel Bares tentang panjang bruto ke arah sumbu pendek (L_x) dan panjang bruto ke arah sumbu panjang (L_y) serta kondisi penjepitan elastis pada ketiga sisinya dan kondisi bebas pada sisi yang lain dengan menghitung besar L_x/L_y bisa dicari besarnya koefisien momen pada tumpuan dan lapangan akibat beban merata sebesar $q_a = 5.716,2 \text{ N/m}^2$, dengan perumusan berikut:

$$M_{tx} = -M_{lx} = \text{Koefisien momen arah x} \cdot q_a \cdot L_x^2$$

$$M_{ty} = -M_{ly} = \text{Koefisien momen arah y} \cdot q_a \cdot L_x^2$$

Perhitungan momen akibat beban sebagian

Sesuai dengan yang diberikan oleh tabel Bares tentang panjang bruto ke arah sumbu pendek (L_x) dan panjang bruto ke arah sumbu panjang (L_y) serta kondisi penjepitan elastis pada ketiga sisinya dan kondisi bebas pada sisi yang lain dengan menghitung besar L_x/L_y bisa dicari besarnya koefisien momen pada tumpuan dan lapangan akibat beban merata sebesar $q_b = 7.567,1 \text{ N/m}^2$, dengan perumusan berikut:

$$M_{tx1} = -M_{lx1} = (\text{koefisien momen arah x})1. q_b \cdot L_x^2$$

$$M_{tx2} = -M_{lx1} = (\text{koefisien momen arah } x)1. q_b. Lx^2$$

$$M_{ty1} = -M_{ly1} = (\text{koefisien momen arah } y)1. q_b. Lx^2$$

$$M_{ty2} = -M_{ly1} = (\text{koefisien momen arah } y)1. q_b. Lx^2$$

4.9.7 Penulangan Dinding Basement

Dari besarnya momen akibat beban merata dan beban sebagian bisa dicari momen total yang bekerja pada tiap tipe pelat dengan cara menjumlahkan momen akibat beban merata dan akibat beban sebagian tersebut baik pada arah x dan pada arah y, selanjutnya nilai ini untuk mencari penulangan yang harus dipasang untuk urutan sebagai berikut:

1. Ditentukan harga d , f_y , f_c' dan M_u dimana:

d = decking dari pelat

f_y = tegangan leleh baja yang dipakai

f_c' = tegangan beton ijin yang dipakai

M_u = momen ultimate yang akan terjadi pada pelat

2. Ditetapkan batas-batas harga prosentase tulangan yang menentukan

$$\rho_b = (0,85 \cdot f_c/f_y) \cdot \beta_1 \cdot (600/(600+f_y))$$

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

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

Dimana :

ρ_b = ρ pada kondisi balance

β_1 = nilai yang oleh SK SNI disyaratkan sebesar 0,85 bila $f_c' \leq 30$ MPa

3. Hitung besar $\rho_{perlu} = (1/m) \cdot (1 - (1 - (2 \cdot m \cdot R_n / f_y)))^{0,5}$

Dimana:

$$m = f_y / (0,85 \cdot f_c')$$

$$R_n = M_u / (\phi \cdot b \cdot d^2), \phi = 0,80 \text{ untuk perencanaan terhadap lentur}$$

4. Pilih mana yang menentukan ρ_{perlu} ataukah ρ_{min} namun $\rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$

5. Hitung besarnya luasan tulangan lentur (A_s) yang diperlukan dan pilih tulangan yang dipakai serta jarak dari penulangannya.

Dimana : $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

4.9.8 Kontrol Retak Dinding Basement

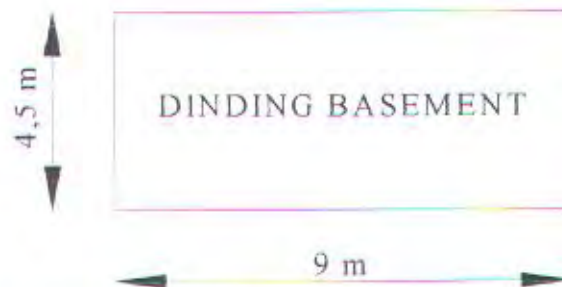
Berdasarkan SK SNI 1991 pasal 3 . 3 . 6 mengenai kontrol retak pada pelat satu arah yaitu mensyaratkan, bila nilai Z yang dihitung berdasarkan rumus:

$$Z = f_s \cdot (d_c \cdot A)^{1/3}$$

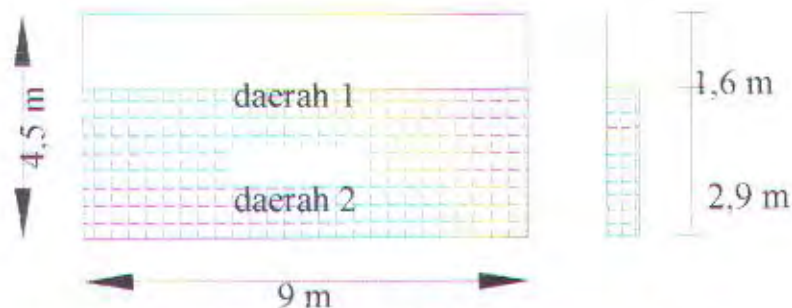
Tidak melebihi 25 MN/m^2 , maka retak pada struktur beton tidak perlu diperiksa.

Dimana:

- d_c = jarak pusat tulangan ke tepi luar suatu komponen struktur beton
- A = luas efektif beton disekitar tulangan tarik dibagi jumlah tulangan
 $= 2 \cdot d_c \cdot b_w / (n \text{ tulangan})$
- f_s = $60\% f_y$



Gambar Pembebanan Dinding Basement Akibat Beban Merata



Gambar Pembebanan Dinding Basement Akibat Beban Merata Sebagian

Contoh perhitungan:

$$\sigma_{\min} = 0,00467$$

$$-p_{maks} = 0,0362$$

$$-m = 11,765$$

Momen akibat beban merata

$$\begin{aligned} M_{tx1} &= -M_{tx1} \\ &= 0,080 \cdot q_a \cdot L_x^2 \\ &= 0,080 \cdot 5716,2 \cdot 4,5^2 \\ &= 9260,224 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty1} &= -M_{ty1} \\ &= 0,050 \cdot q_b \cdot L_x^2 \\ &= 0,050 \cdot 7567,1 \cdot 4,5^2 \\ &= 4019,32 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen akibat beban sebagian

$$\begin{aligned} M_{tx1} &= -M_{tx1} = 0,0012 \cdot 7567,1 \cdot 4,5^2 &= 183,88 \text{ Nm} \\ M_{tx2} &= -M_{tx2} = 0,0015 \cdot 7567,1 \cdot 4,5^2 &= 229,85 \text{ Nm} \\ M_{ty1} &= -M_{ty1} = 0,0070 \cdot 7567,1 \cdot 4,5^2 &= 1072,64 \text{ Nm} \\ M_{ty2} &= -M_{ty2} = 0,0059 \cdot 7567,1 \cdot 4,5^2 &= 904,08 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen akibat beban total

$$\begin{aligned} M_{tx \text{ daerah 1}} &= -M_{tx \text{ daerah 1}} \\ &= 9260,224 + 183,88 \\ &= 9444,104 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx \text{ daerah 2}} &= -M_{tx \text{ daerah 2}} \\ &= 9260,224 + 229,85 \\ &= 9490,074 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty \text{ daerah 1}} &= -M_{ty \text{ daerah 1}} \\ &= 4019,32 + 1072,64 \\ &= 5091,96 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty \text{ daerah 2}} &= -M_{ty \text{ daerah 2}} \\ &= 4019,32 + 904,08 \\ &= 4923,4 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen yang menentukan :

$$M_{ux} = 9490,074 \text{ Nm}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{0,8} = \frac{9490,074}{0,8} = 11862,59 \text{ Nm} = 11862590 \text{ Nmm}$$

$$M_{uy} = 5091,96 \text{ Nm}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{0,8} = \frac{5091,96}{0,8} = 6364,95 \text{ Nm} = 6364950 \text{ Nmm}$$

$$R_{n x} = 11862590 / (1000 \cdot 122^2) \\ = 0,797$$

$$R_{n y} = 6364950 / (1000 \cdot 106^2) \\ = 0,566$$

$$\rho_{\text{perlu}}^X = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0,797}{300}} \right) = 0,0027 < \rho_{\min}$$

$$\rho_{\text{perlu}}^Y = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0,566}{300}} \right) = 0,0019 < \rho_{\min}$$

$$A_s X = 0,00467 \times 1000 \times 122 \\ = 569,74 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D16-200, A_s terpasang arah X = $1005,3 \text{ mm}^2 > 569,74 \text{ mm}^2$

$$A_s Y = 0,00467 \times 1000 \times 106 \\ = 495,02 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D16-200, A_s terpasang arah Y = $1005,3 \text{ mm}^2 > 495,02 \text{ mm}^2$

$$S_{\text{maks}} = 2t = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$

Kontrol Lendutan Dinding Basement

$$L_x = 4,5 \text{ m}$$

$$t = 200 \text{ mm}$$

$$= 1/35 \cdot (4500) = 128,57 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

Kontrol Terhadap Retak

$$Z = f_s \cdot (d_c \cdot A)^{1/3} \quad (\text{SKSNI '91 3.3.6-4})$$

$$d_c = 70 + 0,5 \cdot 10 = 75 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot d_c \cdot s = 2 \cdot 75 \cdot 200 = 30000 \text{ mm}^2$$

$$f_s = 60\% f_y = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ MPa} \quad (\text{SKSNI '91 3.3.6-4})$$

$$\text{Jadi } Z = 180 \cdot (75 \cdot 30000)^{1/3} \quad (\text{SKSNI '91 3.3.6-4})$$

$$= 23.587 \text{ Mn/mm}^2 < 25 \text{ Mn/m, tidak perlu kontrol retak} \dots\dots\dots (\text{O.K.})$$

Perhitungan Momen Pelat Lantai Basement

DL = 436.000 kg/m

LL = 250.000 kg/m

U = 923.200 kg/m

Tipe Pelat	Ly (m)	Lx (m)	β	Daerah	C	Mu (kgm)	Mu (Nmm)
A	7.200	3.375	2.13	tumpuan x	-62.0	-651.98	-6.39E+06
	7.200	3.375		lapangan x	62.0	651.98	6.39E+06
	7.200	3.375		lapangan y	34.0	1627.20	1.59E+07
B	7.200	2.250	3.20	tumpuan x	-63.0	-294.44	-2.89E+06
	7.200	2.250		lapangan x	63.0	294.44	2.89E+06
	7.200	2.250		lapangan y	13.0	622.16	6.10E+06
C	3.600	3.375	1.07	tumpuan x	-39.8	-418.53	-4.10E+06
	3.600	3.375		lapangan x	39.8	418.53	4.10E+06
	3.600	3.375		tumpuan y	-36.7	-439.10	-4.30E+06
	3.600	3.375		lapangan y	36.7	439.10	4.30E+06
D	7.200	2.250	3.20	tumpuan x	-63.0	-294.44	-2.89E+06
	7.200	2.250		lapangan x	63.0	294.44	2.89E+06
	7.200	2.250		lapangan y	13.0	622.16	6.10E+06

Penulangan Pelat Lantai Basement

$f_c' = 30$ MPa $b = 1000$ mm
 $f_y = 300$ MPa $t = 130$ mm
 $d' = 20$ mm $dx = 105$ mm
 $p_{max} = 0.036$ $dy = 94$ mm
 $p_{min} = 0.005$ $m = 11.765$

Type Pelat	L _y (m)	L _x (m)	L _y /L _x	Daerah	M _u (Nmm)	M _n (Nmm)	R _n	P _{perlu}	P _{pakai}	As perlu (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)	As susut (mm ²)	Dipakai	As pakai (mm ²)
A	7.20	3.375	2.13	tumpuan x	-6.19E+06	-7.74E+06	-0.7018	-0.0022	-0.0029	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan x	6.19E+06	7.74E+06	0.7018	0.0022	0.0030	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				tumpuan y	-3.87E+06	-4.83E+06	-0.5468	-0.0017	-0.0023	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan y	1.59E+07	1.99E+07	2.2559	0.0074	0.0098	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
B	7.20	2.250	3.20	tumpuan x	-2.80E+06	-3.49E+06	-0.3170	-0.0010	-0.0013	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan x	2.80E+06	3.49E+06	0.3170	0.0010	0.0013	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				tumpuan y	-4.03E+06	-5.03E+06	-0.5696	-0.0018	-0.0023	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan y	6.10E+06	7.62E+06	0.8626	0.0027	0.0037	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
C	3.60	3.375	1.07	tumpuan x	-3.97E+06	-4.97E+06	-0.4505	-0.0014	-0.0019	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan x	4.10E+06	5.13E+06	0.4650	0.0015	0.0020	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				tumpuan y	-4.30E+06	-5.38E+06	-0.6088	-0.0019	-0.0025	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan y	4.30E+06	5.38E+06	0.6088	0.0019	0.0026	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
D	7.20	2.250	3.20	tumpuan x	-2.80E+06	-3.49E+06	-0.3170	-0.0010	-0.0013	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan x	2.89E+06	3.61E+06	0.3272	0.0010	0.0014	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				tumpuan y	-5.05E+06	-6.31E+06	-0.7142	-0.0022	-0.0029	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan y	6.10E+06	7.62E+06	0.8626	0.0027	0.0037	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
E	3.60	3.600	1.00	tumpuan x	-2.80E+06	-3.49E+06	-0.3170	-0.0010	-0.0013	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan x	2.89E+06	3.61E+06	0.3272	0.0010	0.0014	677.15	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				tumpuan y	-5.05E+06	-6.31E+06	-0.7142	-0.0022	-0.0029	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40
				lapangan y	6.10E+06	7.62E+06	0.8626	0.0027	0.0037	630.45	φ 10-100	785.40	260.00	φ 10-100	785.40

4.10 Analisa Struktur Utama

Analisa untuk struktur utama menggunakan Analisa Dinamis, dimana beban-beban yang diperhitungkan adalah :

- Beban berat sendiri pada elemen balok dan pelat (beban mati+beban hidup)
- Beban terpusat dan beban merata pada elemen balok (beban mati+beban hidup)
- Beban gempa dalam arah lateral

4.10.1 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 untuk meletakkan beban gempa dalam arah X dan Y.

Tabel 4.14 Berat Struktur dan Koordinat Pusat Massa

Lantai	W (kg)	M=W/g (kg-dt ² /m)	Pusat Massa		MMI (kg-dt ² -m ² /m)
			x(m)	y(m)	
Atap	1379527.2	140625	21.27	9.97	27037968,75
6	1519989.6	154943	21.14	9.74	29790890,61
5	1519989.6	154943	21.10	9.76	29790890,61
4	1519989.6	154943	21.08	9.77	29790890,61
3	1519989.6	154943	21.07	9.77	29790890,61
2	1519989.6	154943	21.06	9.77	29790890,61
1	1519989.6	154943	21.06	9.77	29790890,61
$\Sigma W = 10499464,8$					

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

4.10.2 Perhitungan Gaya Geser Dasar Gempa

Kriteria gedung Kehutanan UGM:

$$H = 29.7 \text{ m}$$

$$W_t = 10499464,8 \text{ kg}$$

Wilayah gempa : Zone 4
: tanah lunak

Waktu getar alami struktur:

$$T = 0,06 H^{\frac{3}{4}} = 0,06 \times 29,7^{\frac{3}{4}} = 0,763 \text{ detik} \quad (\text{PPKGURG '87 ps. 2.4.5-a})$$

Dari gambar 2.3 PPKGURG 1987 :

$$T = 0,763 \text{ detik} \longrightarrow C = 0,05 \quad (\text{PPKGURG '87 gambar 2.3})$$

Dari tabel 2.1 PPKGURG 1987 :

$$I = 1,5 \longrightarrow (\text{fasilitas penting yang harus tetap berfungsi sesudah suatu gempa terjadi}) \quad (\text{PPKGURG '87 tabel 2.1})$$

Dari tabel 2.2 PPKGURG 1987 :

$$K = 1,0 \longrightarrow \text{portal daktail beton bertulang} \quad (\text{PPKGURG '87 tabel 2.2})$$

Gaya geser dasar gempa:

$$\begin{aligned} V &= C I K W_t \\ &= 0,05 \times 1,5 \times 1,0 \times 10499464,8 \\ &= 787459,86 \text{ kg} \end{aligned} \quad (\text{PPKGURG '87 ps. 2.4.1-a})$$

Distibusi gaya geser dasar horisontal total akibat gaya gempa:

$$F_i = \frac{W_i H_i}{\sum W_i H_i} V \quad (\text{PPKGURG '87 ps. 2.4.6})$$

Gaya geser dasar horisontal bekerja dalam satu arah utama dikombinasikan dengan akibat 0,3 pengaruh gaya geser gempa yang bekerja pada arah utama. Gaya gempa ini bekerja pada arah tegak lurus pada arah yang utama. (PPKGURG 1987 pasal 2.3.2)

Lantai	Hi (m)	Wi(kg)	Wi.Hi (kg m)	Fi(kg)	0,3.Fi(kg)
Atap	29,7	1379527,2	40971957,84	181490,6	54447,18
6	25,5	1519989,6	38759734,8	171691,3	51507,39
5	21,3	1519989,6	32375778,48	143412,7	43023,81
4	17,1	1519989,6	25991822,16	115134,2	34540,26
3	12,9	1519989,6	19607865,84	86855,59	26056,68
2	8,7	1519989,6	13223909,52	58577,03	17573,11
1	4,5	1519989,6	6839953,2	30298,46	9089,54
$\Sigma W_i.H_i =$			177771021,8		

4.10.3 Beban Angin

Beban angin yang diterima portal ditentukan sebesar $w=25 \text{ kg/m}^2$.

Berikut ini merupakan tekanan positif dan negatif pada portal dalam arah memanjang adalah sebagai berikut:

1. Tekanan positif : $9 \times 25 \times 0,9 = 202,5 \text{ kg/m}$
2. Tekanan negatif : $9 \times 25 \times -0,4 = 90 \text{ kg/m}$

Berikut ini merupakan tekanan positif dan negatif pada portal dalam arah melintang adalah sebagai berikut:

1. Tekanan positif : $7,2 \times 25 \times 0,9 = 162 \text{ kg/m}$
2. Tekanan negatif : $7,2 \times 25 \times -0,4 = 72 \text{ kg/m}$

4.11. Perencanaan Balok Pratekan

Sebagai contoh perhitungan adalah balok pratekan BP1 pada lantai 6 :

4.11.1. Tegangan ijin beton pratekan

$$f'_c = 50 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} = 0,88 f'_c = 0,88 \times 50 = 44 \text{ MPa}$$

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

1. Tegangan ijin beton sesaat setelah pemindahan gaya prategang :

$$\text{Tegangan tekan} \quad \sigma_{ci} = 0,6 f_{ci} = 0,6 \times 44 = 26,4 \text{ Mpa}$$

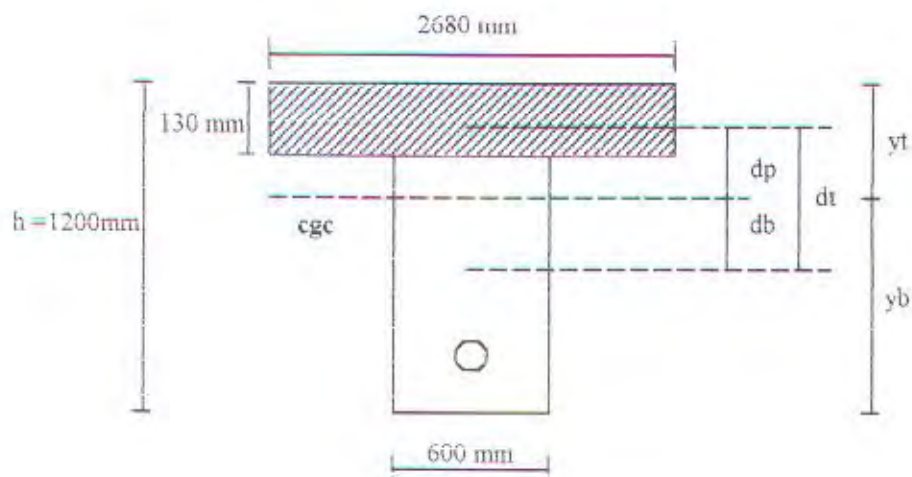
$$\text{Tegangan tarik} \quad \sigma_{ti} = -0,25 \sqrt{f_{ci}} = -0,25 \sqrt{44} = -1,66 \text{ Mpa}$$

2. Setelah terjadi kehilangan gaya prategang :

$$\text{Tegangan tekan} \quad \sigma_{cs} = 0,45 f'_c = 0,45 \times 50 = 22,5 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik} \quad \sigma_{ts} = -0,5 \sqrt{f'_c} = -0,5 \sqrt{50} = -3,54 \text{ Mpa}$$

4.11.2. Dimensi penampang



Gambar 4.3 Dimensi balok pratekan

$$\text{Nilai lebar efektif (be)} = b_w + 2 \cdot (8t) = 600 + 16 \cdot 130 = 2680 \text{ mm}$$

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

$$E_c \text{ balok} = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{50} = 33234 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{balok}}}{E_{\text{pelat}}} = \frac{33234}{25743} = 1.291$$

Luas penampang balok :

$$A_{\text{pelat}} = \frac{be \times t}{n} = \frac{2680 \times 130}{1.291} = 449784,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{balok}} = 600 \times (1200 - 130) = 642000 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 1091784,4 \text{ mm}^2$$

$$dt = \frac{1200 - 130}{2} + \frac{130}{2} = 600 \text{ mm}$$

Statis momen pada garis netral pelat :

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

$$dp = \frac{dt \times A_{\text{balok}}}{A_t} = \frac{600 \times 642000}{1091784,4} = 352,82 \text{ mm}$$

$$db = dt - dp = 600 - 352,82 = 247,18 \text{ mm}$$

$$yt = dp + t/2 = 352,82 + 130/2 = 417,82 \text{ mm}$$

$$yb = h - yt = 1200 - 417,82 = 782,18 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{1}{12} \times 600 \times (1200 - 130)^3 + 642000 \times 247,18^2 + \frac{1}{12} \times \frac{2680}{1.291} \times 130^3 + 449784,4 \times 352,82^2$$

$$= 1.57 \text{ E}+11 \text{ mm}^4$$

$$Z_t = \frac{I}{yt} = \frac{1.57 \text{ E}+11}{417,82} = 3,76 \text{ E}+8 \text{ mm}^3$$

$$Z_b = \frac{I}{yb} = \frac{1.57 \text{ E}+11}{782,18} = 2,01 \text{ E}+8 \text{ mm}^3$$

$$K_t = \frac{Z_b}{A_t} = \frac{2,01 \text{ E}+8}{1091784,4} = 184,1 \text{ mm}$$

$$K_b = \frac{Z_t}{A_t} = \frac{3,76 \text{ E}+8}{1091784,4} = 344,4 \text{ mm}$$

Contoh Perhitungan Gaya Prategang Lantai 6

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.

Dari analisa SAP 2000, diperoleh besarnya momen maksimum dan minimum.

Momen tumpuan:

$$- M_{\max} = 7,02E+8 \text{ Nmm}$$

$$- M_{\min} = 4,59E+8 \text{ Nmm}$$

Momen lapangan:

$$- M_{\max} = 1,17E+9 \text{ Nmm}$$

$$- M_{\min} = 7,33E+8 \text{ Nmm}$$

Dengan memasukkan parameter-parameter penampang yang telah dihitung terdahulu maka akan didapatkan persamaan-persamaan yang merupakan daerah jacking yang diperlukan. Nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan dalam persamaan sebagai berikut :

a. Pada tumpuan :

$$1. \quad \frac{Fi}{A} + \frac{Fi \cdot e_{01}}{Z_t} - \frac{M_{\min}}{Z_t} \leq \sigma_d$$

$$e_{01} \leq \frac{Z_t}{Fi} \left(\sigma_d + \frac{M_{\min}}{Z_t} \right) - Kb$$

$$1,46.$$

$$e_{01} \leq \frac{3,76E+8}{Fi} \left(26,4 + \frac{4,59E+8}{3,76E+8} \right) - 344,4$$

$$e_{01} \leq \frac{1}{Fi} 1,04E+10 - 344,4$$

$$2. \quad \frac{Fi}{A} - \frac{Fi \cdot e_{02}}{Z_b} + \frac{M_{\min}}{Z_b} \geq \sigma_n$$

$$e_{02} \leq \frac{Z_b}{Fi} \left(\frac{M_{\min}}{Z_b} - \sigma_n \right) + Kt$$

$$e_{02} \leq \frac{2,01E+8}{Fi} \left(\frac{4,59E+8}{2,01E+8} - (-1,66) \right) + 184,1$$

$$e_{02} \leq \left(\frac{1}{Fi} 7,92E+8 \right) + 184,1$$

3.
$$\frac{Fi}{A} - \frac{Fi \cdot e_{03}}{Z_b} + \frac{M_{\max}}{Z_b} \leq \sigma_{cs}$$

$$e_{03} \geq \frac{Z_b}{Fi} \left(\frac{M_{\max}}{Z_b} - \sigma_{cs} \right) + Kt$$

$$e_{03} \geq \frac{2,01E+8}{0,8Fi} \left(\frac{7,02E+8}{2,01E+8} - 22,5 \right) + 184,1$$

$$e_{03} \geq -\frac{1}{Fi} 4,78E+9 + (184,1)$$
4.
$$\frac{F}{A} + \frac{F \cdot e_{04}}{Z_t} - \frac{M_{\max}}{Z_t} \geq \sigma_{ts}$$

$$e_{04} \geq \frac{Z_t}{F} \left(\frac{M_{\max}}{Z_t} + \sigma_{ts} \right) - Kb$$

$$e_{04} \geq \frac{3,76E+8}{0,8Fi} \left(\frac{7,02E+8}{3,76E+8} - 3,54 \right) - 344,4$$

$$e_{04} \geq -\frac{1}{Fi} 5,69E+8 - 344,4$$
5.
$$e_{05} \leq Yt - t - dc = 417,82 - 130 - 50 = 237,82 \text{ mm}$$

b. Pada Lapangan :

1.
$$\frac{Fi}{A} + \frac{Fi \cdot e_{01}}{Z_b} - \frac{M_{\min}}{Z_b} \leq \sigma_{cl}$$

$$e_{01} \leq \frac{Z_b}{Fi} \left(\sigma_{cl} + \frac{M_{\min}}{Z_b} \right) - Kt$$

$$e_{01} \leq \frac{2,01E+8}{Fi} \left(26,4 + \frac{7,33E+8}{2,01E+8} \right) - 184,1$$

$$e_{01} \leq \frac{1}{Fi} 6,04E+9 - 184,1$$
2.
$$\frac{Fi}{A} - \frac{Fi \cdot e_{02}}{Z_t} + \frac{M_{\min}}{Z_t} \geq \sigma_{tt}$$

$$e_{02} \leq \frac{Z_t}{Fi} \left(\frac{M_{\min}}{Z_t} - \sigma_{tt} \right) + Kb$$

$$e_{02} \leq \frac{3,76E+8}{Fi} \left(\frac{7,33E+8}{3,76E+8} - (-1,66) \right) + 344,4$$

$$e_{02} \leq \left(\frac{1}{Fi} 1,36E+9 \right) + (344,4)$$



$$3. \quad \frac{Fi}{A} - \frac{Fi \cdot e_{03}}{Z_t} + \frac{M_{\max}}{Z_t} \leq \sigma_{cs}$$

$$e_{03} \geq \frac{Z_t}{F} \left(\frac{M_{\max}}{Z_t} - \sigma_{cs} \right) + Kb$$

$$e_{03} \geq \frac{3,76E+8}{0,8Fi} \left(\frac{1,17E+9}{3,76E+8} - 22,5 \right) + 344,4$$

$$e_{03} \geq \left(-\frac{1}{Fi} 9,11E+9 \right) + 344,4$$

$$4. \quad \frac{Fi}{A} + \frac{Fi \cdot e_{04}}{Z_b} - \frac{M_{\max}}{Z_b} \geq \sigma_{ts}$$

$$e_{04} \geq \frac{Z_b}{F} \left(\frac{M_{\max}}{Z_b} + \sigma_{ts} \right) - Kt$$

$$e_{04} \geq \frac{2,01E+8}{0,8Fi} \left(\frac{1,17E+9}{2,01E+8} - 3,54 \right) - 184,1$$

$$e_{04} \geq \left(\frac{1}{Fi} 5,73E+8 \right) - 184,1$$

$$5. \quad e_{05} \leq Yb - dc = 782,18 - 50 = 732,18 \text{ mm}$$

4.11.3. Perhitungan Daerah Limit Kabel

$$F_i = 2500 \text{ kN}$$

$$F = 2000 \text{ kN} \quad (\text{Lump sum Loss of Prestress } \pm 20 \%)$$

$$M_{\min} = 7,33E+8 \text{ Nmm (pada daerah lapangan)}$$

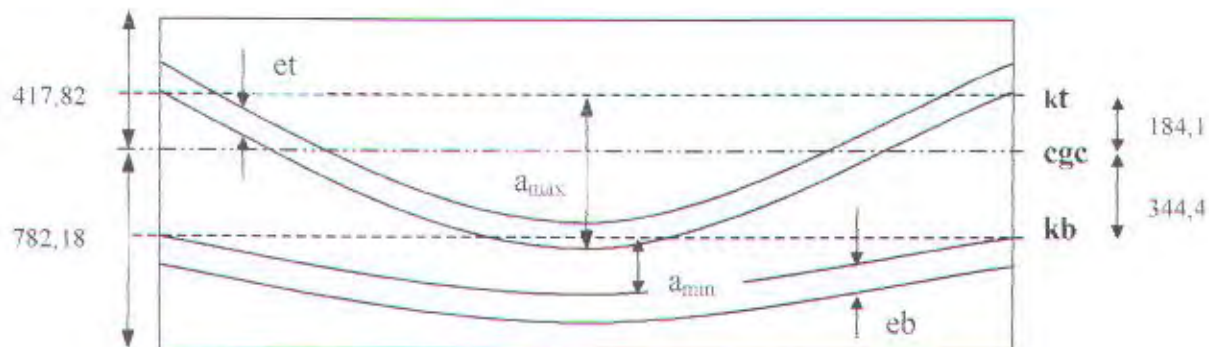
$$M_{\max} = 1,17E+9 \text{ Nmm (pada daerah lapangan)}$$

$$a_{\max} = \frac{M_{\max}}{F} = \frac{1,17E+9}{2000E+3} = 584 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = \frac{M_{\min}}{F_i} = \frac{7,33E+8}{2500E+3} = 293 \text{ mm}$$

$$eb = \frac{\sigma_{is} \cdot A \cdot kb}{F_i} = \frac{1,66 \times 1091784,4 \times 344,4}{2500E+3} = 226 \text{ mm}$$

$$et = \frac{\sigma_{is} \cdot A \cdot kt}{F} = \frac{3,54 \times 1091784,4 \times 184,1}{2000E+3} = 322 \text{ mm}$$



Gambar 4.4 Daerah limit kabel pratekan

Pada perencanaan balok pratekan ini, dipakai

$$eo \text{ lapangan} = 400 \text{ mm} \rightarrow f = 400 + 100 = 500 \text{ mm}$$

$$eo \text{ tumpuan} = 100 \text{ mm}$$

4.11.4. Perhitungan Kehilangan Pratekanan

Perhitungan Kehilangan Prategang Langsung

(1) Kehilangan pratekan akibat Slip Angkur VSL E Strand 22K5-20

$$F_i = 2500 \text{ kN}$$

Perhitungan Kehilangan Pratekan tak Langsung.

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$t = 130 \text{ mm}$$

$$b_e = 2680 \text{ mm}$$

$$A = 1091784,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} = 1974,3 \text{ mm}^2 \text{ (VSL grade 270 k, E5 - 22 20 strands)}$$

$$F_{ijin} = 578,2 \text{ ksi} = 2571,8 \text{ kN}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{1091784,4 \times L}{2(1200 + 2680) \times L} = 140,69 \text{ mm} = 5,54 \text{ in}$$

$$\text{maka SCF} = 0.68$$

$$\text{SSF} = 0.65$$

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

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

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

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

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

$$= 97.12 \text{ MPa}$$

Tabel 4.15 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 Atap
III	28	56	-
IV	56	1	-
V	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, $f_{pu} = 1862 \text{ MPa}$.

$$F_i = 2500 \text{ kN} < F_{\text{ijin}} = 2571,8 \text{ kN}$$

$$f_{st} = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{2500000}{1974,3} = 1266,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{st}}{f_{py}} = \frac{1266,3}{0,85 \times 1862} = 0,80$$

$$\begin{aligned} RET_1 &= f_{st} x \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] x \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1266,3 x \left[\frac{\log 48 - \log 1}{45} \right] x (0,80 - 0,55) = 11,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

$$CR_1 = SH_1 = 0$$

$$\begin{aligned} f_{st_1} &= f_{st} - (RET_1 + CR_1 + SH_1) \\ &= 1266,3 - (11,8 + 0 + 0) = 1254,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_1 = \frac{f_{st_1} \cdot A_{ps}}{1000} = \frac{1254,4 \times 1974,3}{1000} = 2476,7 \text{ kN}$$

Tahap II

Mulai akhir tahap I sd. 28 hari.

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

$$f_{st_1} = 1254,4 \text{ MPa}$$

$$F_1 = 2476,7 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{f_{st_1}}{f_{py}} = \frac{1254,4}{0,85 \times 1862} = 0,792$$

$$RET_2 = f_{st} x \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] x \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$= 1254,4 \times \left[\frac{\log(24 \times 28) - \log(24 \times 2)}{45} \right] \times (0,792 - 0,55) = 7,7 \text{ MPa}$$

Rangkak

$$\text{PCR} = \text{AUC}(28) - \text{AUC}(2) = 0,34 - 0,15 = 0,19$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{F_1}{A} + \frac{F_1 e^2}{I} - \frac{M_{\min} e}{I} \\ &= \frac{2476700}{1091784,4} + \frac{2476700 \times 400^2}{1,57 \text{E} + 11} - \frac{1157,4 \text{E} + 06 \times 400}{1,57 \text{E} + 11} = 2,9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CR}_2 &= (\text{UCR}) (\text{SCF}) (\text{MCF}) \times (\text{PCR}) f_c \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,74 \times 0,19 \times 2,9 = 3,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$\text{PSH} = \text{AUS}(28) - \text{AUS}(2) = 0,408 - 0,120 = 0,288$$

$$\begin{aligned} \text{SH}_2 &= (\text{USH}) (\text{SSF}) (\text{PSH}) \\ &= 97,12 \times 0,60 \times 0,288 = 18,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{st2} &= f_{st1} - (\text{RET}_2 + \text{CR}_2 + \text{SH}_2) \\ &= 1254,4 - (7,7 + 3,1 + 18,2) = 1225,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_2 = \frac{f_{st2} \cdot A_{ps}}{1000} = \frac{1225,4 \times 1974,3}{1000} = 2419,4 \text{ kN}$$

Tahap III

Mulai akhir tahap II sd. 56 hari.

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

$$f_{st2} = 1225,4 \text{ MPa}$$

$$F_2 = 2419,4 \text{ kN}$$

Relaksasi

$$\frac{f_{st2}}{f_{py}} = \frac{1225,4}{0,85 \times 1862} = 0,774$$

$$\begin{aligned} \text{RET}_3 &= f_{st} \times \left[\frac{\log 24 t_2 - \log 24 t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1225,4 \times \left[\frac{\log(24 \times 56) - \log(24 \times 28)}{45} \right] \times (0,774 - 0,55) = 1,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rangkak

$$PCR = AUC(56) - AUC(28) = 0.437 - 0.340 = 0.097$$

$$fc = \frac{F_2}{A} + \frac{F_2 e^2}{I} - \frac{M_{min} e}{I}$$

$$= \frac{2419400}{1091784.4} + \frac{2419400 \times 400^2}{1.57E+11} - \frac{733,5E+06 \times 400}{1.57E+11} = 2,8 MPa$$

$$CR_3 = (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) fc$$

$$= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,097 \times 2,8 = 1,2 MPa$$

Susut

$$PSH = AUS(56) - AUS(28) = 0.533 - 0.408 = 0.125$$

$$SH_3 = (USH)(SSF)(PSH)$$

$$= 97,12 \times 0,650 \times 0,125 = 7,9 MPa$$

$$fst_1 = fst_2 - (RET_3 + CR_3 + SH_3)$$

$$= 1225,4 - (1,8 + 1,2 + 7,9) = 1214,5 MPa$$

$$F_3 = \frac{fst_3 \cdot A_{ps}}{1000} = \frac{1214,5 \times 1974,3}{1000} = 2397,8 kN$$

Tahap IV

Mulai akhir tahap III sd. 84 hari.

$$t_1 = 56 \text{ hari} \quad t_2 = 365 \text{ hari}$$

$$fst_3 = 1214,5 MPa$$

$$F_3 = 2397,8 kN$$

Relaksasi

$$\frac{fst_3}{fpy} = \frac{1214,5}{0.85 \times 1862} = 0,767$$

$$RET_4 = fstx \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] x \left(\frac{fst}{fpy} - 0.55 \right)$$

$$= 1214,5 x \left[\frac{\log(24 \times 365) - \log(24 \times 56)}{45} \right] x (0,767 - 0.55) = 4,8 MPa$$

Rangkak

$$PCR = AUC(365) - AUC(56) = 0.740 - 0.437 = 0.303$$

$$f_c = \frac{F_3}{A} + \frac{F_3 e^2}{I} - \frac{M_{maks} e}{I}$$

$$= \frac{2397800}{1091784,4} + \frac{2397800 \times 400^2}{1,57E+11} - \frac{1167,2E+6 \times 400}{1,57E+11} = 3,5 MPa$$

$$CR_4 = (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) f_c$$

$$= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,303 \times 3,5 = 4,8 MPa$$

Susut

$$PSH = AUS(365) - AUS(56) = 0,856 - 0,530 = 0,33$$

$$SH_4 = (USH)(SSF)(PSH)$$

$$= 97,12 \times 0,650 \times 0,33 = 20,8 MPa$$

$$fst_4 = fst_3 - (RET_4 + CR_4 + SH_4)$$

$$= 1214,5 - (4,8 + 4,8 + 20,8) = 1185,6 MPa$$

$$F_4 = \frac{fst_4 \cdot A_{ps}}{1000} = \frac{1185,6 \times 1974,3}{1000} = 2340,7 kN$$

Tahap V

Mulai akhir tahap IV sd. 112 hari.

$$t_1 = 365 \text{ hari} \quad t_2 = 7300 \text{ hari}$$

$$fst_4 = 1185,6 MPa$$

$$F_4 = 2340,7 kN$$

Relaksasi

$$\frac{fst_4}{fpy} = \frac{1185,6}{0,85 \times 1862} = 0,749$$

$$RET_5 = fst_4 \left[\frac{\log 24t_2 - \log 24t_1}{45} \right] \times \left(\frac{fst}{fpy} - 0,55 \right)$$

$$= 1185,6 \times \left[\frac{\log(24 \times 7300) - \log(24 \times 366)}{45} \right] \times (0,749 - 0,55) = 6,8 MPa$$

Rangkak

$$PCR = AUC(7300) - AUC(365) = 1,0 - 0,740 = 0,260$$

$$f_c = \frac{F_4}{A} + \frac{F_4 e^2}{I} - \frac{M_{maks} e}{I}$$

$$= \frac{2340700}{1091784.4} + \frac{2340700 \times 400^2}{1.57E+11} - \frac{1167.2E+06 \times 400}{1.57E+11} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} CR_5 &= (UCR)(SCF)(MCF) \times (PCR) f_c \\ &= 11 \times 0,680 \times 0,60 \times 0,260 \times 1,8 = 1,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Susut

$$PSH = AUS(7300) - AUS(365) = 1,0 - 0,860 = 0,140$$

$$\begin{aligned} SH_5 &= (USH)(SSF)(PSH) \\ &= 97,12 \times 0,650 \times 0,140 = 8,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fst_5 &= fst_4 - (RET_5 + CR_5 + SH_5) \\ &= 1185,6 - (6,8 + 1,8 + 8,8) = 1168,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_5 = \frac{fst_5 \cdot A_{ps}}{1000} = \frac{1168,1 \times 1974,3}{1000} = 2306,2 \text{ kN}$$

Kehilangan tak langsung total seluruh tahap adalah :

$$\Delta F = 2500 - 2306,2 = 193,8 \text{ kN} = 8\%$$

Maka kehilangan prategang total :

$$\begin{aligned} \Delta F \text{ total} &= \Delta F \text{ langsung} + \Delta F \text{ tidak langsung} \\ &= (100,3 + 150 + 28,57) + 193,8 = 472,67 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kehilangan Prategang

$$= \frac{\Delta F}{F_i} = \frac{472,67}{2500} \times 100\% = 19\% \dots\dots\dots (\text{memenuhi syarat dibawah } 20\%)$$

4.11.5. Kontrol Tegangan yang Terjadi

Pada saat transfer :

$$\begin{aligned} ft &= \frac{F_i}{A} - \frac{F_{ie}}{Z_i} + \frac{M \text{ min}}{Z_i} = \frac{2500000}{1091784.4} - \frac{2500000 \times 400}{3.76E+8} + \frac{7,33E+08}{3.76E+8} \\ &= 2,289 - 2,659 + 1,949 \end{aligned}$$

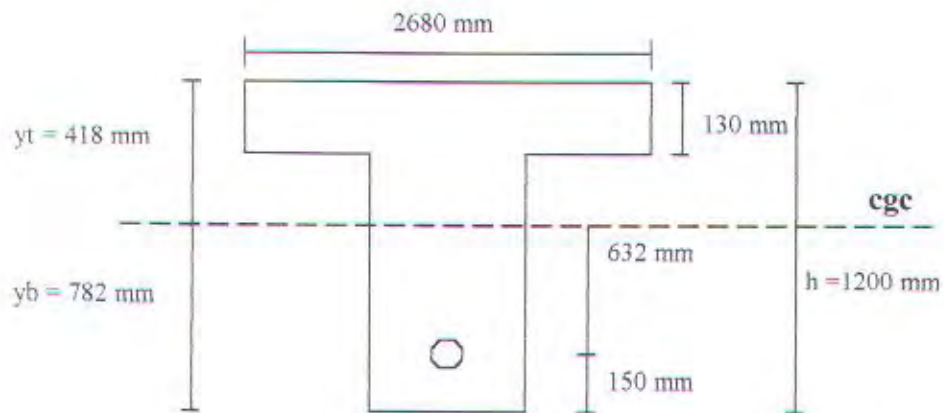
$$= 1,579 \text{ MPa} > -1.66 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{F_i}{A} + \frac{F_i e}{Z_b} - \frac{M \min}{Z_b} = \frac{2500000}{1091784.4} + \frac{2500000 \times 400}{2.01E+8} - \frac{7,33E+08}{2.01E+8} \\ &= 2,289 + 4,975 - 3,647 \\ &= 3,617 \text{ MPa} < 26.4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

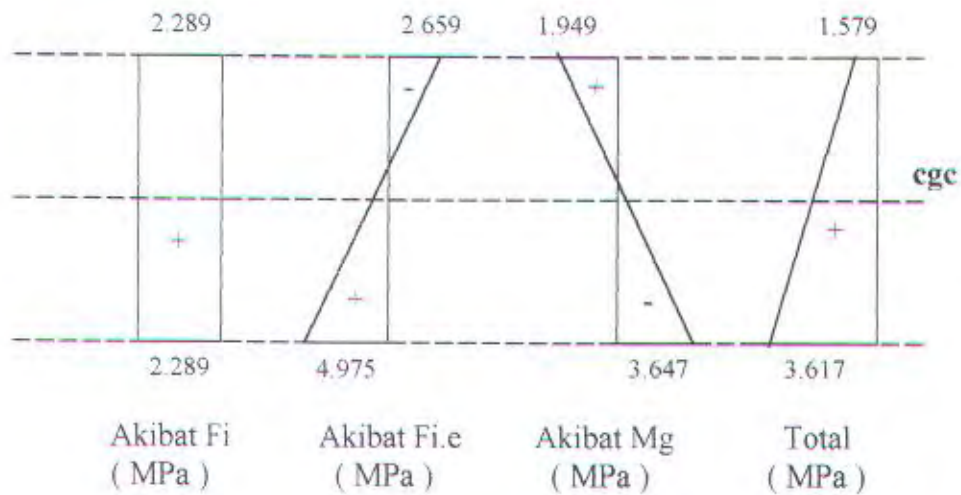
Pada saat service :

$$\begin{aligned} f_t &= \frac{F}{A} - \frac{F e}{Z_t} + \frac{M \max}{Z_t} \\ &= \frac{2000000}{1091784.4} - \frac{2000000 \times 400}{3.76E+8} + \frac{1,17E+9}{3.76E+8} \\ &= 1,832 - 2,127 + 3,136 \\ &= 2,841 \text{ MPa} < 22.5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

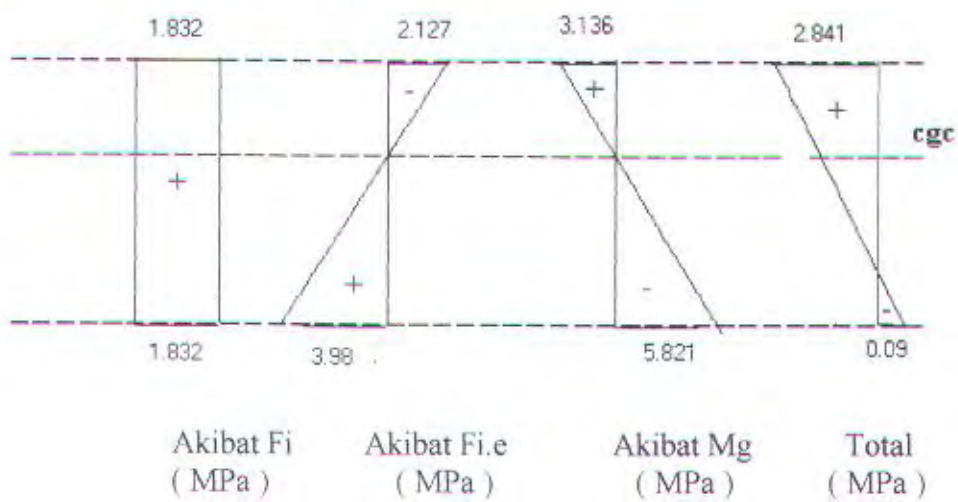
$$\begin{aligned} f_b &= \frac{F}{A} + \frac{F e}{Z_b} - \frac{M \max}{Z_b} \\ &= \frac{2000000}{1091784.4} + \frac{2000000 \times 400}{2.01E+8} - \frac{1,17E+9}{2.01E+8} \\ &= 1,832 + 3,98 - 5,821 \\ &= -0,009 \text{ MPa} > -3.54 \text{ Mpa} \end{aligned}$$



Distribusi Tegangan saat Transfer (+ : TEKAN)



Distribusi Tegangan saat Beban Kerja (+ : TEKAN)



4.11.6. 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 :

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

Modulus runtuh yang diisyaratkan :

$$f_r = 0.7 \sqrt{f_c'} = 0.7 \sqrt{50} = 4.95 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.008 (f_c' - 30) = 0.85 - 0.008 (50 - 30) = 0.69$$

$$r^2 = \frac{I}{A} = \frac{1.57E+11}{1091784.4} = 143801 \text{ mm}^2$$

Untuk daerah lapangan

$$\begin{aligned} M_{cr} &= F \left[e + \frac{r^2}{Yb} \right] + f_r \frac{I}{Yb} \\ &= 2.31E+6 \left[400 + \frac{143801}{782} \right] + 4.95 \frac{1.57E+11}{782} = 1.96E+9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$A_{s_{min}} = 0.004 A_{balok} = 0.004 \times (600 \times (1200 - 130)) = 2568 \text{ mm}^2 \text{ (SKSNI'91 ps.3.11.9)}$$

Dipasang tulangan praktis lunak 5 - D28 ($A_s = A_s' = 3078.76 \text{ mm}^2$)

Senggang menggunakan tulangan ulir D 12

Dipakai selimut beton $s' = 50 \text{ mm}$

$$1.2 M_{cr} = 1.2 \times 1.96E+9 = 2.35E+9 \text{ Nmm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d_s} = \frac{3078.76}{2680 \times 1124} = 0.0010$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_{ps}} = \frac{1974.3}{2680 \times 1050} = 0.0007 \quad \text{(SKSNI'91 ps.3.11.8)}$$

$$\omega = \omega' = \rho \frac{f_y}{f_c'} = 0.0010 \times \frac{300}{50} = 0.0061$$

$$\omega o = \left[\rho_{ps} \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d_o}{p_s} (\omega' - \omega) \right] = \left[0.007 \frac{1862}{50} + 0 \right] = 0.03 < 0.17 \quad \text{(SKSNI'91 ps.3.11.7)}$$

Karena nilai $\omega o < 0.17$

$$\text{Maka } f_{ps} = f_{pu} \left[1 - \frac{\rho_{ps}}{\beta_1} \times 0.17 \right] = 1862 \left[1 - \frac{0.28}{0.69} \times 0.17 \right] = 1734 \text{ MPa}$$

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

$$T = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y = 1974.3 \times 1734 + 3078.76 \times 300 = 4.35 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$T_{nf} = 0.85 \cdot f_c' \cdot (b_e - b) \cdot t = 0.85 \times 50 \times (2680 - 600) \times 130 = 1.15 \text{ E}+7 \text{ N}$$

$$T_{nw} = T - T_{nf} = 4.35 \text{ E}+6 - 1.15 \text{ E}+7 = 7.15 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$a = \frac{T_{nw}}{0.85 \cdot f_c' \cdot x \cdot b} = \frac{1.16 \text{ E}+6}{0.85 \cdot 50 \cdot 600} = 63 \text{ mm} < h_f = 130 \text{ mm} \rightarrow \text{sebagai balok persegi}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{63}{0.69} = 91 \text{ mm} \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.3.2 -7})$$

Tinggi efektif penampang adalah :

$$d = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_{ps} + A_s \cdot f_y \cdot d_o}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} = \frac{1974.3 \cdot 1734 \cdot 1050 + 3078.76 \cdot 300 \cdot 1124}{1974.3 \cdot 1734 + 3078.76 \cdot 300} = 1065.7 \text{ mm}$$

Momen nominal penampang di tengah bentang :

$$M_n = T \left[d - \frac{t}{2} \right] = 4.35 \text{ E}+6 \left[1065.7 - \frac{130}{2} \right] = 4.35 \text{ E}+9 \text{ Nmm} \quad (\text{SKSNI '91 ps. 3.3.3-2})$$

$$\phi M_n = 0.8 \times 4.35 \text{ E}+9 \text{ Nmm} = 3.48 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

$$1.2 M_{cr} = 1.2 \times 1.96 \text{ E}+9 = 2.35 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 1.17 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$1.2 M_{cr} \leq \phi M_n \rightarrow 2.35 \text{ E}+9 \text{ Nmm} < 3.48 \text{ E}+9 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

$$M_u \leq \phi M_n \rightarrow 1.17 \text{ E}+9 \text{ Nmm} < 3.48 \text{ E}+9 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Untuk Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} M_{cr} &= F \left[e + \frac{r^2}{Yb} \right] + f_r \frac{I}{Yb} \\ &= 2.31 \text{ E}+6 \left[100 + \frac{143801}{782} \right] + 4.95 \frac{1.57 \text{ E}+11}{782} = 1.30 \text{ E}+9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$A_{s_{min}} = 0.004 A_{(bg)_{ok}} = 0.004 \times (600 \times (1200 - 130)) = 2568 \text{ mm}^2$$

Dicoba dipasang tulangan lunak : 5 D28 ($A_s = A_s' = 3078.76 \text{ mm}^2$)

$$1.2 M_{cr} = 1.2 \times 1.30 \text{ E}+9 = 1.56 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b.d_s} = \frac{3078.76}{600 \times 1124} = 0.0046$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b.d_{ps}} = \frac{1974.3}{600 \times 1050} = 0.0018$$

$$\omega = \omega' = \rho \frac{f_y}{f_c'} = 0.0046 \times \frac{300}{50} = 0.0274$$

$$\omega_o = \left[\rho_{ps} \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d_o}{ps} (\omega' - \omega) \right] = \left[0.0018 \times \frac{1862}{50} + 0 \right] = 0.0274 < 0.17$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left[1 - \frac{\omega_{ps}}{\beta_1} \times 0.17 \right] = 1862 \left[1 - \frac{0.28}{0.69} \times 0.19 \right] = 1718 \text{ MPa}$$

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

$$T = A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y = 1974.3 \times 1718 + 3078.76 \times 300 = 4.32 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$T_{nf} = 0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot t = 0.85 \times 50 \times 600 \times 130 = 3.32 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$T_{nw} = T - T_{nf} = 4.32 \text{ E}+6 - 3.32 \text{ E}+6 = 1.00 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$a = \frac{T_{nw}}{0.85 \times f_c' \times b} = \frac{1.00 \text{ E}+6}{0.85 \times 50 \times 600} = 39 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{39}{0.69} = 57 \text{ mm} \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.3.2 -7})$$

Tinggi efektif penampang adalah :

$$d = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_{ps} + A_s \cdot f_y \cdot d_o}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} = \frac{1974.3 \times 1718 \times 1050 + 3078.76 \times 300 \times 1124}{1974.3 \times 1718 + 3078.76 \times 300} = 1065.8 \text{ mm}$$

Momen nominal penampang di tumpuan :

$$M_n = T \left[d - \frac{t}{2} \right] = 4.32 \text{ E}+6 \left[1065.8 - \frac{130}{2} \right] = 4.32 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0.8 \times 4.32 \text{ E}+9 \text{ Nmm} = 3.46 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

$$1.2 M_{cr} = 1.2 \times 1.30 \text{ E}+9 = 1.56 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 7.02 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$1.2 M_{cr} \leq \phi M_n \rightarrow 1.56 \text{ E}+9 \leq 3.46 \text{ E}+9 \quad (\text{OK})$$

$$M_u \leq \phi M_n \rightarrow 7.02 \text{ E}+8 \leq 3.46 \text{ E}+9 \quad (\text{OK})$$

4.11.7. Penulangan Geser Balok Pratekan

Contoh Perhitungan Penulangan Geser Balok Pratekan Lantai 6

Daerah Tumpuan

Melalui analisa struktur menggunakan program SAP 2000 untuk nilai-nilai geser dan momen pada struktur penuh di daerah tumpuan balok pratekan didapatkan seperti berikut:

$$F = 2.31 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$V_{ud} = 2.64 \text{ E}+5 \text{ N (akibat beban mati saja)}$$

$$V_{ul} = 1.50 \text{ E}+5 \text{ N (akibat beban hidup saja)}$$

$$M_{ud} = 4.59 \text{ E}+8 \text{ Nmm (akibat beban mati saja)}$$

$$M_{ul} = 2.43 \text{ E}+8 \text{ Nmm (akibat beban hidup saja)}$$

$$b_w = 600 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$A_c = 1091784.4 \text{ mm}^2$$

Kekuatan geser di daerah tumpuan

Diperhitungkan pada jarak $x = 0.5 h = 0.5 \times (1200-130) = 535 \text{ mm}$

$$P' = \frac{8.F.f}{l^2} = \frac{8 \times 2.31 \text{ E}+6 \times 6 \times 500}{18000^2} = 28.5 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{p'} = P' \cdot \frac{18000}{2} = 28.5 \times \frac{18000}{2} = 2.56 \text{ E}+5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_{ug} &= V_{ud} + V_{ul} = 2.64 \text{ E}+5 + 1.50 \text{ E}+5 \\ &= 4.14 \text{ E}+5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= V_{ug} - V_{p'} = 4.14 \text{ E}+5 - 2.56 \text{ E}+5 \\ &= 1.58 \text{ E}+5 \text{ N} \end{aligned}$$

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

$$f_{pc} = \frac{F}{A_c} = \frac{2.31 \text{ E}+6}{1091784.4} = 2.11 \text{ MPa}$$

Persamaan parabola :

$$y = \frac{4.f.x.(L-x)}{L^2}$$

$$dps = e_t + y_b - y$$

$$d = 100 + 782,18 - \frac{4 \times 600 \times 600 \times (18000 - 535)}{18000^2} = 824,5 \text{ mm}$$

$$V_p = \frac{9000 - 535}{9000} \times 2,56E + 5 = 2,41E + 5 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f_c'} + f_{pc})b_w d + V_p = 0,3(\sqrt{50} + 2,11) \times 600 \times 824,5 + 2,41E + 5$$

$$V_{cw} = 1,60E + 6 \text{ N}$$

$$V_d = \frac{9000 - 535}{9000} \times V_{ud} = \frac{9000 - 535}{9000} \times 2,64E + 5 = 2,48E + 5 \text{ N}$$

$$V_L = \frac{9000 - 535}{9000} \times V_{uL} = \frac{9000 - 535}{9000} \times 1,50E + 5 = 1,42E + 5 \text{ N}$$

$$f_{pe} = \frac{F_e}{A_t} - \frac{F_e e_o}{z_b} + \frac{M_{t_{\max}}}{z_b} = \frac{2,31E + 6}{1091784,4} - \frac{2,31E + 6 \times 100}{2,01E + 8} + \frac{9,40E + 8}{2,01E + 8} = 5,64 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{F_e}{A_t} - \frac{F_e e_o}{z_b} + \frac{M_{u_D}}{z_b} = \frac{2,31E + 6}{1091784,4} - \frac{2,31E + 6 \times 100}{2,01E + 8} + \frac{4,59E + 8}{2,01E + 8} = 3,25 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{Y_b} \right) (0,5\sqrt{f_c'} + f_{pe} - f_d) = 2,01E + 8 (0,5\sqrt{50} + 5,64 - 3,25) = 1,22E + 9 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = 0,05\sqrt{f_c'} b_w d + V_d + V_L \frac{M_{cr}}{M_{\max}}$$

$$V_{ci} = 0,05\sqrt{50} \times 600 \times 824,5 + 2,48E + 5 + 1,42E + 5 \times \frac{1,19E + 9}{9,40E + 8}$$

$$V_{ci} = 6,02E + 5 \text{ N}$$

Kuat geser beton (V_c) diambil yang terkecil dari V_{ci} dan V_{cw} , $V_c = V_{ci} = 6,02E + 5 \text{ N}$

$$V_{u(535)} = \frac{9000 - 535}{9000} \times 1,58E + 5 = 1,48E + 5 \text{ N}$$

$$\frac{V_{u(535)}}{\phi} = \frac{1,48E + 5}{0,6} = 2,47E + 5 \text{ N} < V_{ci} = 6,02E + 5 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Dengan $V_u < V_c$ maka tidak perlu tulangan geser tambahan pada penampang tumpuan balok pratekan, atau dipakai tulangan geser minimum menurut perumusan berikut:

Direncanakan menggunakan tulangan ulir D10 mm

$$d = h + t - s' - \phi/2 = 1200 - 50 - 10/2 = 1145 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan geser,

$$s_{\max} = d/4 = 1145/4 = 286,25 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 8 \times \phi \text{ tul. lentur} = 8 \times 28 = 224 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 24 \times \phi \text{ tul. sengkang} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

maka diambil $s = 200 \text{ mm}$

$$A_{v_{min}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_y} = \frac{1}{3} \cdot \frac{600 \cdot 200}{300} = 133,33 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan geser pada sepanjang bentang balok pratekan digunakan tulangan ulir 2 – D10 mm ($A_s = 157,08 \text{ mm}^2$) setiap jarak 200 mm.

Daerah Lapangan

Melalui analisa struktur menggunakan program SAP 2000 untuk nilai-nilai geser dan momen pada struktur penuh di daerah lapangan balok pratekan didapatkan seperti berikut:

$$F = 2.31 \text{ E}+6 \text{ N}$$

$$V_{ud} = 2.64 \text{ E}+5 \text{ N (akibat beban mati saja)}$$

$$V_{ul} = 1.50 \text{ E}+5 \text{ N (akibat beban hidup saja)}$$

$$M_{ud} = 7.33 \text{ E}+8 \text{ Nmm (akibat beban mati saja)}$$

$$M_{ul} = 4.34 \text{ E}+8 \text{ Nmm (akibat beban hidup saja)}$$

$$M_{maks} = 1.57 \text{ E}+9 \text{ Nmm}$$

$$b_w = 600 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$A_c = 1091784.4 \text{ mm}^2$$

Kekuatan geser di daerah lapangan

Diperhitungkan pada jarak $x = 8000 \text{ mm}$ dari tumpuan

$$V_d = \frac{9000 - 8000}{9000} \times V_{ud} = \frac{9000 - 8000}{9000} \times 2.64 \text{ E}+5 = 2.93 \text{ E}+4 \text{ N}$$

$$V_L = \frac{9000 - 8000}{9000} \times V_{ul} = \frac{9000 - 8000}{9000} \times 1.50 \text{ E}+5 = 1.67 \text{ E}+4 \text{ N}$$

$$I = 1.57 \text{ E}+10 \text{ mm}^4 \quad \rightarrow \quad I / Y_t = 3.76 \text{ E}+8 \text{ mm}^3$$

$$Y_t = 417.82 \text{ mm}$$

$$k_t = 184.1 \text{ mm}$$

$$e = \frac{4 \cdot f \cdot x \cdot (L - x)}{L^2} - e_t = \frac{4 \times 500 \times 8000 \times (18000 - 8000)}{18000^2} - 400 = 393,8 \text{ mm}$$

$$d = e + y_t = 393,8 + 417,82 = 811,6 \text{ mm}$$

$$f_{pc} = \frac{Fe}{At} - \frac{Fe \cdot e_{o_b}}{z_b} + \frac{M_{t_{\max}}}{z_b} = \frac{2,31E+6}{1091784,4} - \frac{2,31E+6 \times 400}{2,01E+8} + \frac{1,57E+9}{2,01E+8} = 3,37 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{Fe}{At} - \frac{Fe \cdot e_{o_b}}{z_b} + \frac{M_{u_D}}{z_b} = \frac{2,31E+6}{1091784,4} - \frac{2,31E+6 \times 400}{2,01E+8} + \frac{7,33E+8}{2,01E+8} = 5,35 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{Y_t} \right) (0,5\sqrt{f_c'} + f_{pc} - f_d) = 3,76E+8 (0,5\sqrt{50} + 3,37 - 5,35) = 5,81E+8 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = 0,05\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d + V_d + V_t \frac{M_{cr}}{M_{\max}} \geq 0,14\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{ci} = 0,05\sqrt{50} \times 600 \times 811,6 + 2,93E+4 + 1,67E+4 \times \frac{5,81E+8}{1,57E+9}$$

$$V_{ci} = 2,08E+5 \text{ N}$$

$$V_{u_{(8000)}} = \frac{9000 - 8000}{9000} \times 1,58E+5 = 1,75E+4 \text{ N}$$

$$\frac{V_{u_{(8000)}}}{\phi} = \frac{1,75E+4}{0,6} = 2,94E+4 \text{ N} < V_{ci} = 2,08E+5 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Dari analisa diatas disimpulkan bahwa gaya geser yang terjadi pada balok pratekan lebih kecil dari kemampuan balok dalam memikul gaya geser

Direncanakan menggunakan tulangan ulir D10 mm

$$d = h + t - s' - \phi/2 = 1200 - 50 - 10/2 = 1145 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan geser,

$$s_{\max} = d/4 = 1145/4 = 286,25 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 8 \times \phi \text{ tul. lentur} = 8 \times 28 = 224 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 24 \times \phi \text{ tul. sengkang} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 300 \text{ mm}$$

maka diambil $s = 200 \text{ mm}$

$$A_{v_{\min}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_y} = \frac{1}{3} \cdot \frac{600 \cdot 200}{300} = 133,33 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan geser pada sepanjang bentang balok pratekan digunakan tulangan ulir 2 – D10 mm ($A_s = 157,08 \text{ mm}^2$) setiap jarak 200 mm

$$\Delta_3 = \frac{M \cdot I_2^2}{8 \cdot EI} = \frac{2,0E + 6 \times 500 \times 18000^2}{8 \times 186300 \times 1,57E + 11} = 1,38 \text{ mm} \quad (\text{keatas!})$$

$$\Delta_{total} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = -1,15 + 9,3 - 1,38 = 8,98 \text{ mm}$$

maka, $\Delta_{total} < \Delta_{max}$ (memenuhi syarat!)

Kontrol lendutan untuk balok pratekan pada lantai lainnya diberikan pada tabel berikut:

Tabel 4.17 Kontrol lendutan balok pratekan.

<i>Balok</i> <i>Pratekan</i>	<i>Saat Transfer</i>				<i>Saat Beban Kerja</i>				<i>Kontrol</i>
	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_{total}	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_{total}	
Lantai 6	-1,44	5,6	-1,73	2,43	-1,15	9,3	-1,38	6,77	Memenuhi
Atap	-1,15	5,8	-1,32	-3,33	-0,9	9,21	-1,11	7,2	Memenuhi

Catatan : (-) lendutan keatas; (+) lendutan kebawah, dalam mm.

Tabel 4.16 M_{min} dan M_{max} Rencana Balok Pratekan

Lantai	Tipe	No. Elemen	M min (Nmm)		M max (Nmm)	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
6	BP1	923	4.59E+08	7.33E+08	7.02E+08	1.17E+09
	BP2	925	4.59E+08	7.29E+08	7.03E+08	1.16E+09
	BP3	927	4.52E+08	7.30E+08	6.94E+08	1.16E+09
	BP4	929	4.52E+08	7.30E+08	6.94E+08	1.16E+09
	BP5	931	4.58E+08	7.23E+08	7.07E+08	1.15E+09
Atap	BP1	922	2.90E+08	6.77E+08	4.00E+08	8.92E+08
	BP2	924	2.74E+08	6.88E+08	3.82E+08	9.05E+08
	BP3	926	2.71E+08	6.88E+08	3.79E+08	9.05E+08
	BP4	928	2.71E+08	6.88E+08	3.79E+08	9.05E+08
	BP5	930	2.78E+08	6.81E+08	3.87E+08	8.97E+08

Tabel 4.17 Daerah Limit Kabel

$A = 1091784.4 \text{ mm}^2$
 $kt = 184.1 \text{ mm}$
 $kb = 344.4 \text{ mm}$

Lantai	Type	M min (Nmm)	M max (Nmm)	Fi (N)	F (N)	a _{max} (mm)	a _{min} (mm)	e _b (mm)	e _t (mm)	e _{o lapangan} (mm)	e _{o tumpuan} (mm)
6	BP1	7.33E+08	1.17E+09	2.50E+06	2.00E+06	584	293	226	322	400	100
	BP2	7.29E+08	1.16E+09	2.50E+06	2.00E+06	582	292	226	322	400	100
	BP3	7.30E+08	1.16E+09	2.50E+06	2.00E+06	582	292	226	322	400	100
	BP4	7.30E+08	1.16E+09	2.50E+06	2.00E+06	582	292	226	322	400	100
	BP5	7.23E+08	1.15E+09	2.50E+06	2.00E+06	577	289	226	322	400	100
Atap	BP1	6.77E+08	8.92E+08	2.00E+06	1.60E+06	557	339	282	402	400	100
	BP2	6.88E+08	9.05E+08	2.00E+06	1.60E+06	566	344	282	402	400	100
	BP3	6.88E+08	9.05E+08	2.00E+06	1.60E+06	566	344	282	402	400	100
	BP4	6.88E+08	9.05E+08	2.00E+06	1.60E+06	566	344	282	402	400	100
	BP5	6.81E+08	8.97E+08	2.00E+06	1.60E+06	561	341	282	402	400	100

Tabel 4.19 Kontrol Tegangan Saat Transfer

Tegangan ijin saat transfer

 $\sigma_{ti} = -1,66 \text{ MPa}$ $\sigma_{ci} = 26,4 \text{ MPa}$ mm^2 mm mm^3 mm^3 $A = 1091784,4$ $e_o = 400$ $Z_t = 3,76\text{E}+08$ $Z_b = 2,01\text{E}+08$

Lantai	Tipe Balok	t (hari)	F_i (kN)	Mmin (kNm)	f_t (MPa)	f_b (MPa)
6	BP1		2500	733,5	1,6	3,6
	BP2		2500	729,1	1,6	3,6
	BP3	0	2500	729,9	1,6	3,6
	BP4		2500	729,8	1,6	3,6
	BP5		2500	723,0	1,6	3,7

Tabel 4.20 Kehilangan Prategang Langsung

$\mu = 0.15$ $K = 0.0016 / m'$

$\alpha = 0.222$ $g = 0.8 \text{ mm}$

$f_{pu} = 270000 \text{ psi} = 1862 \text{ MPa}$

$E_{ps} = 27000000 \text{ psi} = 186200 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	F _i (N)	A _{ps} (mm ²)	fps (N/mm ²)	X (mm)	Δ fps (N/mm ²)	Δ F Slip			Δ F Gesek + Wobble		
							(N)	(kN)	%	(N)	(kN)	%
6	BP1	2.50E+06	1974.3	1266.3	5840.8	50.8	100295.0	100.3	4.0	150000.0	150.0	6.0
	BP2	2.50E+06	1974.3	1266.3	5840.8	50.8	100295.0	100.3	4.0	150000.0	150.0	6.0
	BP3	2.50E+06	1974.3	1266.3	5840.8	50.8	100295.0	100.3	4.0	150000.0	150.0	6.0
	BP4	2.50E+06	1974.3	1266.3	5840.8	50.8	100295.0	100.3	4.0	150000.0	150.0	6.0
	BP5	2.50E+06	1974.3	1266.3	5840.8	50.8	100295.0	100.3	4.0	150000.0	150.0	6.0
Atap	BP1	2.00E+06	1579.4	1266.3	5840.8	50.8	80236.0	80.2	4.0	120000.0	120.0	6.0
	BP2	2.00E+06	1579.4	1266.3	5840.8	50.8	80236.0	80.2	4.0	120000.0	120.0	6.0
	BP3	2.00E+06	1579.4	1266.3	5840.8	50.8	80236.0	80.2	4.0	120000.0	120.0	6.0
	BP4	2.00E+06	1579.4	1266.3	5840.8	50.8	80236.0	80.2	4.0	120000.0	120.0	6.0
	BP5	2.00E+06	1579.4	1266.3	5840.8	50.8	80236.0	80.2	4.0	120000.0	120.0	6.0

Tabel 4.21 Kehilangan Gaya Prategang (Tabap 1)

$f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	A_{ps} (mm^2)	F_i (kN)	f_{st} (MPa)	f_{st}/f_{sy}	RET_1 (MPa)	Total Loss (MPa)	f_{st1} (MPa)	F_1 (kN)	% Loss
6	BP1	1/24	2	1974.3	2500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	2476.7	0.9
	BP2	1/24	2	1974.3	2500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	2476.7	0.9
	BP3	1/24	2	1974.3	2500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	2476.7	0.9
	BP4	1/24	2	1974.3	2500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	2476.7	0.9
	BP5	1/24	2	1974.3	2500	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	2476.7	0.9
Atap	BP1	1/24	2	1579.4	2000	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1981.3	0.9
	BP2	1/24	2	1579.4	2000	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1981.3	0.9
	BP3	1/24	2	1579.4	2000	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1981.3	0.9
	BP4	1/24	2	1579.4	2000	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1981.3	0.9
	BP5	1/24	2	1579.4	2000	1266.3	0.80	11.8	11.8	1254.4	1981.3	0.9

Tabel 4.22 Relaksasi Baja (Tahap 2)
 $f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	Aps (mm^2)	f_{st1} (MPa)	F_1 (kN)	f_{st}/f_{py}	RET_2 (MPa)
6	BP1	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	0.792	7.7
	BP2	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	0.792	7.7
	BP3	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	0.792	7.7
	BP4	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	0.792	7.7
	BP5	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	0.792	7.7

Tabel 4.23 Rangkak Beton (Tahap 2)

$UCR = 11$ $A = 1091784.4 \text{ mm}^2$
 $SCF = 0.680$ $eo = 400 \text{ mm}$
 $I = 1.57E+11 \text{ mm}^4$

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	F_1 (kN)	Mmin (kNm)	MCF	AUC (t_2)	AUC (t_1)	PCR	f_c (MPa)	CR_2 (MPa)
6	BP1	2	28	2476.7	733.5	0.74	0.34	0.15	0.19	2.9	3.1
	BP2	2	28	2476.7	729.1	0.74	0.34	0.15	0.19	2.9	3.1
	BP3	2	28	2476.7	729.9	0.74	0.34	0.15	0.19	2.9	3.1
	BP4	2	28	2476.7	729.8	0.74	0.34	0.15	0.19	2.9	3.1
	BP5	2	28	2476.7	723.0	0.74	0.34	0.15	0.19	3.0	3.1

Tabel 4.24 Susut Beton (Tahap 2)

USH = 97.12

SSF = 0.650

Lantai	Tipe Balok	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)	AUS (t ₂)	AUS (t ₁)	PSH	SH ₂ (MPa)
6	BP1	2	28	0.408	0.12	0.288	18.2
	BP2	2	28	0.408	0.12	0.288	18.2
	BP3	2	28	0.408	0.12	0.288	18.2
	BP4	2	28	0.408	0.12	0.288	18.2
	BP5	2	28	0.408	0.12	0.288	18.2

Tabel 4.25 Kehilangan Prategang Total (Tahap 2)

Lantai	Tipe Balok	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)	Aps (mm ²)	fst ₁ (MPa)	F ₁ (kN)	RET ₂ (MPa)	CR ₂ (MPa)	SH ₂ (MPa)	Total Loss (MPa)	fst ₂ (MPa)	F ₂ (kN)	% Loss
6	BP1	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	7.7	3.1	18.2	29.0	1225.4	2419.4	2.3
	BP2	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	7.7	3.1	18.2	29.0	1225.4	2419.4	2.3
	BP3	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	7.7	3.1	18.2	29.0	1225.4	2419.4	2.3
	BP4	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	7.7	3.1	18.2	29.0	1225.4	2419.4	2.3
	BP5	2	28	1974.3	1254.4	2476.7	7.7	3.1	18.2	29.0	1225.4	2419.3	2.3

Tabel 4.26 Kontrol Tegangan (Tahap 2)

Tegangan ijin saat transfer :

$$\sigma_{ti} = - 1.66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ci} = 26.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ts} = - 3.54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cs} = 22.5 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin saat service :

$$A = 1091784.4 \text{ mm}^2$$

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

$$Z_t = 3.76E+08 \text{ mm}^3$$

$$Z_b = 2.01E+08 \text{ mm}^3$$

Lantai	Tipe Balok	t (hari)	F ₂ (kN)	Mmin (kNm)	M _{perancah} (kNm)	M total (kNm)	f _t (MPa)	f _b (MPa)	Ket.
6	BP1	28	2419.4	733.5	800.2	1533.7	3.7	-0.6	Kondisi Service
	BP2		2419.4	729.1	800.2	1529.3	3.7	-0.6	
	BP3		2419.4	729.9	800.2	1530.1	3.7	-0.6	
	BP4		2419.4	729.8	800.2	1530.0	3.7	-0.6	
	BP5		2419.3	723.0	800.2	1523.2	3.7	-0.5	
Atap	BP1	0	2000	733.5	0.0	733.5	1.7	2.2	Kondisi Transfer
	BP2		2000	729.1	0.0	729.1	1.6	2.2	
	BP3		2000	729.9	0.0	729.9	1.6	2.2	
	BP4		2000	729.8	0.0	729.8	1.6	2.2	
	BP5		2000	723.0	0.0	723.0	1.6	2.2	

Ket : Beban yang bekerja pada lantai 6 = DL + Beban perancah (fresh concrete)

Tabel 4.27 Relaksasi Baja (Tahap 3)

 $f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	A_{ps} (mm^2)	f_{st2} (MPa)	F_2 (kN)	f_{st}/f_{py}	RET_3 (MPa)
6	BP1	28	56	1974.3	1225.4	2419.4	0.774	1.8
	BP2	28	56	1974.3	1225.4	2419.4	0.774	1.8
	BP3	28	56	1974.3	1225.4	2419.4	0.774	1.8
	BP4	28	56	1974.3	1225.4	2419.4	0.774	1.8
	BP5	28	56	1974.3	1225.4	2419.3	0.774	1.8
Atap	BP1	2	28	1974.3	1225.4	2000.0	0.774	7.0
	BP2	2	28	1974.3	1225.4	2000.0	0.774	7.0
	BP3	2	28	1974.3	1225.4	2000.0	0.774	7.0
	BP4	2	28	1974.3	1225.4	2000.0	0.774	7.0
	BP5	2	28	1974.3	1225.4	2000.0	0.774	7.0

Tabel 4.29 Rangkak Beton (Tahap 3)

$$\begin{aligned}
 UCR &= 11 & A &= 1091784.4 \text{ mm}^2 \\
 SCF &= 0.680 & eo &= 400 \text{ mm} \\
 I &= 1.57E+11 & & \text{mm}^4
 \end{aligned}$$

Lantai	Tipe Balok	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)	F ₂ (kN)	Mmin (kNm)	MCF	AUC (t ₂)	AUC (t ₁)	PCR	f _c (MPa)	CR ₃ (MPa)
6	BP1	28	56	2419.4	733.5	0.60	0.437	0.34	0.097	2.8	1.2
	BP2	28	56	2419.4	729.1	0.60	0.437	0.34	0.097	2.8	1.2
	BP3	28	56	2419.4	729.9	0.60	0.437	0.34	0.097	2.8	1.2
	BP4	28	56	2419.4	729.8	0.60	0.437	0.34	0.097	2.8	1.2
	BP5	28	56	2419.3	723.0	0.60	0.437	0.34	0.097	2.8	1.2
Atap	BP1	2	28	2000.0	733.5	0.74	0.34	0.15	0.19	2.0	2.1
	BP2	2	28	2000.0	729.1	0.74	0.34	0.15	0.19	2.0	2.1
	BP3	2	28	2000.0	729.9	0.74	0.34	0.15	0.19	2.0	2.1
	BP4	2	28	2000.0	729.8	0.74	0.34	0.15	0.19	2.0	2.1
	BP5	2	28	2000.0	723.0	0.74	0.34	0.15	0.19	2.0	2.1

Tabel 4.30 Susut Beton (Tahap 3)

USH = 97.12

SSF = 0.650

Lantai	Tipe Balok	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)	AUS (t ₂)	AUS (t ₁)	PSH	SH ₃ (MPa)
6	BP1	28	56	0.533	0.408	0.125	7.9
	BP2	28	56	0.533	0.408	0.125	7.9
	BP3	28	56	0.533	0.408	0.125	7.9
	BP4	28	56	0.533	0.408	0.125	7.9
	BP5	28	56	0.533	0.408	0.125	7.9
Atap	BP1	2	28	0.408	0.120	0.288	18.2
	BP2	2	28	0.408	0.120	0.288	18.2
	BP3	2	28	0.408	0.120	0.288	18.2
	BP4	2	28	0.408	0.120	0.288	18.2
	BP5	2	28	0.408	0.120	0.288	18.2

Tabel 4.31 Kehilangan Prategang Total (Tahap 3)

Lantai	Tipe Balok	t ₁ (hari)	t ₂ (hari)	Aps (mm ²)	fst ₂ (MPa)	F ₂ (kN)	RE _{T3} (MPa)	CR ₃ (MPa)	SH ₃ (MPa)	Total Loss (MPa)	fst ₃ (MPa)	F ₃ (kN)	% Loss
6	BP1	28	56	1974,3	1225,4	2419,4	1,8	1,2	7,9	11,0	1214,5	2397,8	0,9
	BP2	28	56	1974,3	1225,4	2419,4	1,8	1,2	7,9	11,0	1214,5	2397,7	0,9
	BP3	28	56	1974,3	1225,4	2419,4	1,8	1,2	7,9	11,0	1214,5	2397,7	0,9
	BP4	28	56	1974,3	1225,4	2419,4	1,8	1,2	7,9	11,0	1214,5	2397,7	0,9
	BP5	28	56	1974,3	1225,4	2419,3	1,8	1,2	7,9	11,0	1214,4	2397,7	0,9
Atap	BP1	2	28	1579,4	1225,4	2000,0	7,0	2,1	18,2	27,3	1198,2	1892,4	5,4
	BP2	2	28	1579,4	1225,4	2000,0	7,0	2,1	18,2	44,2	1181,2	1865,7	6,7
	BP2	2	28	1579,4	1225,4	2000,0	7,0	2,1	18,2	27,3	1198,1	1892,4	5,4
	BP4	2	28	1579,4	1225,4	2000,0	7,0	2,1	18,2	27,3	1198,1	1892,4	5,4
	BP5	2	28	1579,4	1225,4	2000,0	7,0	2,1	18,2	27,3	1198,1	1892,3	5,4

Tabel 4.32 Kontrol Tegangan (Tahap 3)

Tegangan ijin saat service

$$\sigma_{ts} = -3.54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cs} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$A = 1091784.4 \text{ mm}^2$$

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

$$Z_t = 3.76E+08 \text{ mm}^3$$

$$Z_b = 2.01E+08 \text{ mm}^3$$

Lantai	Tipe Balok	t (hari)	F ₃ (kN)	Mmin (kNm)	f _t (MPa)	f _b (MPa)
6	BP1	56	2397.8	733.5	1.6	3.3
	BP2		2397.7	729.1	1.6	3.3
	BP3		2397.7	729.9	1.6	3.3
	BP4		2397.7	729.8	1.6	3.3
	BP5		2397.7	723.0	1.6	3.4
Atap	BP1	28	1892.4	677.1	1.5	2.1
	BP2		1865.7	687.7	1.6	2.0
	BP3		1892.4	687.8	1.5	2.1
	BP4		1892.4	687.7	1.5	2.1
	BP5		1892.3	681.3	1.5	2.1

Tabel 4.33 Relaksasi Baja (Tahap 4)
 $f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	A_{ps} (mm^2)	f_{st3} (MPa)	F_3 (kN)	f_{st}/f_{py}	RE/T_4 (MPa)
6	BP1	56	365	1974.3	1214.5	2397.8	0.767	4.8
	BP2	56	365	1974.3	1214.5	2397.7	0.767	4.8
	BP3	56	365	1974.3	1214.5	2397.7	0.767	4.8
	BP4	56	365	1974.3	1214.5	2397.7	0.767	4.8
	BP5	56	365	1974.3	1214.4	2397.7	0.767	4.8
Atap	BP1	28	344	1579.4	1198.2	1892.4	0.757	6.0
	BP2	28	344	1579.4	1181.2	1865.7	0.746	5.6
	BP3	28	344	1579.4	1198.1	1892.4	0.757	6.0
	BP4	28	344	1579.4	1198.1	1892.4	0.757	6.0
	BP5	28	344	1579.4	1198.1	1892.3	0.757	6.0

Tabel 4.34 Rangkak Beton (Tahap 4)

$UCR = 11$ $A = 1091784.4 \text{ mm}^2$
 $SCF = 0.680$ $eo = 400 \text{ mm}$
 $I = 1.57E+11 \text{ mm}^4$

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_d (MPa)
6	BP1	56	365	3346.0	1167.2	0.6	0.740	0.437	0.303	3.5	4.8
	BP2	56	365	3346.0	1163.2	0.6	0.740	0.437	0.303	3.5	4.8
	BP3	56	365	3346.0	1164.5	0.6	0.740	0.437	0.303	3.5	4.8
	BP4	56	365	3346.0	1164.3	0.6	0.740	0.437	0.303	3.5	4.8
	BP5	56	365	3346.0	1153.1	0.6	0.740	0.437	0.303	3.5	4.8
Atap	BP1	28	344	2821.6	891.5	0.74	0.725	0.340	0.385	3.2	6.8
	BP2	28	344	2791.9	904.9	0.74	0.725	0.340	0.385	3.1	6.6
	BP3	28	344	2821.6	905.0	0.74	0.725	0.340	0.385	3.2	6.7
	BP4	28	344	2821.6	904.8	0.74	0.725	0.340	0.385	3.2	6.7
	BP5	28	344	2821.6	896.8	0.74	0.725	0.340	0.385	3.2	6.8

Tabel 4.36 Kehilangan Prategang Total (Tahap 4)

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	Aps (mm ²)	fst ₃ (MPa)	F ₃ (kN)	RET ₄ (MPa)	CR ₄ (MPa)	SH ₄ (MPa)	Total Loss (MPa)	fst ₄ (MPa)	F ₄ (kN)	% Loss
6	BP1	56	365	1974,3	1214,5	2397,8	4,8	3,3	20,8	28,9	1185,6	2340,7	2,4
	BP2	56	365	1974,3	1214,5	2397,7	4,8	3,3	20,8	28,9	1185,5	2340,6	2,4
	BP3	56	365	1974,3	1214,5	2397,7	4,8	3,3	20,8	28,9	1185,6	2340,7	2,4
	BP4	56	365	1974,3	1214,5	2397,7	4,8	3,3	20,8	28,9	1185,6	2340,7	2,4
	BP5	56	365	1974,3	1214,4	2397,7	4,8	3,4	20,8	29,0	1185,4	2340,4	2,4
Atap	BP1	28	344	1579,4	1198,2	1892,4	6,8	4,2	29,5	40,5	1157,6	1828,4	3,4
	BP2	28	344	1579,4	1181,2	1865,7	6,6	3,9	29,5	40,1	1141,1	1802,4	3,4
	BP3	28	344	1579,4	1198,1	1892,4	6,7	4,1	29,5	40,3	1157,8	1828,7	3,4
	BP4	28	344	1579,4	1198,1	1892,4	6,7	4,1	29,5	40,3	1157,8	1828,7	3,4
	BP5	28	344	1579,4	1198,1	1892,3	6,8	4,1	29,5	40,4	1157,7	1828,5	3,4

Tabel 4.37 Kontrol Tegangan (Tahap 4)

Tegangan ijin saat service

$$\sigma_{ts} = -3.54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cs} = 22.5 \text{ MPa}$$

$$A = 1091784.4 \text{ mm}^2$$

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

$$Z_1 = 3.76E+08 \text{ mm}^3$$

$$Z_b = 2.01E+08 \text{ mm}^3$$

Lantai	Tipe Balok	t (hari)	F ₄ (kN)	Mmax (kNm)	ft (MPa)	fb (MPa)
6	BP1	365	2340.7	1167.2	2.8	1.0
	BP2		2340.6	1163.2	2.7	1.0
	BP3		2340.7	1164.5	2.8	1.0
	BP4		2340.7	1164.3	2.8	1.0
	BP5		2340.4	1153.1	2.7	1.1
Atap	BP1	56	1828.4	891.5	2.1	0.9
	BP2		1802.4	904.9	2.1	0.7
	BP3		1828.7	905.0	2.1	0.8
	BP4		1828.7	904.8	2.1	0.8
	BP5		1828.5	896.8	2.1	0.9

Tabel 4.38 Relaksasi Baja (Tahap 5)
 $f_{py} = 0.85 f_{pu} = 1583 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	A_{ps} (mm^2)	f_{st,t_2} (MPa)	E_4 (kN)	f_{st}/f_{py}	RET5 (MPa)
6	BP1	365	7300	1974.3	1185.6	2340.7	0.749	6.8
	BP2	365	7300	1974.3	1185.5	2340.6	0.749	6.8
	BP3	365	7300	1974.3	1185.6	2340.7	0.749	6.8
	BP4	365	7300	1974.3	1185.6	2340.7	0.749	6.8
	BP5	365	7300	1974.3	1185.4	2340.4	0.749	6.8
Atap	BP1	344	7279	1579.4	1157.6	1828.4	0.731	6.2
	BP2	344	7279	1579.4	1141.1	1802.4	0.721	5.7
	BP3	344	7279	1579.4	1157.8	1828.7	0.731	6.2
	BP4	344	7279	1579.4	1157.8	1828.7	0.731	6.2
	BP5	344	7279	1579.4	1157.7	1828.5	0.731	6.2

Tabel 4.39 Rangkak Beton (Tahap 5)

$UCR = 11$ $A = 1091784.4 \text{ mm}^2$
 $SCF = 0.680$ $eo = 400 \text{ mm}$
 $I = 1.57E+11 \text{ mm}^4$

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	F4 (kN)	Mmax (kNm)	MCF	AUC (t_2)	AUC (t_1)	PCR	f_c (MPa)	CR5 (MPa)
6	BP1	365	7300	2340.7	1167.2	0.60	1.000	0.740	0.260	1.6	1.8
	BP2	365	7300	2340.6	1163.2	0.60	1.000	0.740	0.260	1.6	1.8
	BP3	365	7300	2340.7	1164.5	0.60	1.000	0.740	0.260	1.6	1.8
	BP3	365	7300	2340.7	1164.3	0.60	1.000	0.740	0.260	1.6	1.8
	BP4	365	7300	2340.4	1153.1	0.60	1.000	0.740	0.260	1.6	1.9
Atap	BP1	344	7279	1828.4	891.5	0.60	1.000	0.725	0.275	1.3	1.6
	BP2	344	7279	1802.4	904.9	0.60	1.000	0.725	0.275	1.2	1.5
	BP3	344	7279	1828.7	905.0	0.60	1.000	0.725	0.275	1.2	1.5
	BP3	344	7279	1828.7	904.8	0.60	1.000	0.725	0.275	1.2	1.5
	BP4	344	7279	1828.5	896.8	0.60	1.000	0.725	0.275	1.3	1.5

Tabel 4.40 Susut Beton (Tahap 5)

USH = 97.12

SSF = 0.650

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	AUS (t_2)	AUS (t_1)	PSH	SH ₅ (MPa)
6	BP1	365	7300	1.000	0.860	0.14	8.8
	BP2	365	7300	1.000	0.860	0.14	8.8
	BP3	365	7300	1.000	0.860	0.14	8.8
	BP4	365	7300	1.000	0.860	0.14	8.8
	BP5	365	7300	1.000	0.860	0.14	8.8
Atap	BP1	344	7279	1.000	0.839	0.161	10.2
	BP2	344	7279	1.000	0.839	0.161	10.2
	BP3	344	7279	1.000	0.839	0.161	10.2
	BP4	344	7279	1.000	0.839	0.161	10.2
	BP5	344	7279	1.000	0.839	0.161	10.2

Tabel 4.41 Kehilangan Prategang Total (Tahap 5)

Lantai	Tipe Balok	t_1 (hari)	t_2 (hari)	A_{ps} (mm^2)	f_{st4} (MPa)	F_4 (kN)	RET_5 (MPa)	CR_5 (MPa)	SH_5 (MPa)	Total Loss (MPa)	f_{st5} (MPa)	F_5 (kN)	% Loss
6	BP1	365	7300	1974.3	1185.6	2340.7	6.8	1.8	8.8	17.5	1168.1	2306.2	1.5
	BP2	365	7300	1974.3	1185.5	2340.6	6.8	1.8	8.8	17.5	1168.1	2306.1	1.5
	BP3	365	7300	1974.3	1185.6	2340.7	6.8	1.8	8.8	17.5	1168.1	2306.1	1.5
	BP4	365	7300	1974.3	1185.6	2340.7	6.8	1.8	8.8	17.5	1168.1	2306.1	1.5
	BP5	365	7300	1974.3	1185.4	2340.4	6.8	1.9	8.8	17.5	1167.9	2305.9	1.5
Atap	BP1	344	7279	1579.4	1157.6	1828.4	6.2	1.6	10.2	17.9	1139.7	1800.2	1.5
	BP2	344	7279	1579.4	1141.1	1802.4	5.7	1.5	10.2	17.4	1123.8	1774.9	1.5
	BP3	344	7279	1579.4	1157.8	1828.7	6.2	1.5	10.2	17.9	1139.9	1800.5	1.5
	BP4	344	7279	1579.4	1157.8	1828.7	6.2	1.5	10.2	17.9	1139.9	1800.5	1.5
	BP5	344	7279	1579.4	1157.7	1828.5	6.2	1.5	10.2	17.9	1139.8	1800.2	1.5

Tabel 4.42 Presentase Kehilangan Prategang

Lantai	Tipe Balok	Slip Angkur (%)	Gesek + Wobble (%)	Kehilangan Tidak Langsung (%)			Total Kehilangan
				RET	CR	SH	
6	BP1	4.0	6	2.7	0.9	4.6	18.1
	BP2	4.0	6	2.7	0.9	4.6	18.1
	BP3	4.0	6	2.7	0.9	4.6	18.1
	BP4	4.0	6	2.7	0.9	4.6	18.1
	BP5	4.0	6	1.7	0.7	4.6	17.0
Atap	BP1	4.0	6	1.6	0.9	4.8	17.3
	BP2	4.0	6	1.5	0.9	4.9	17.3
	BP3	4.0	6	1.6	0.9	4.8	17.3
	BP4	4.0	6	1.6	0.9	4.8	17.3
	BP5	4.0	6	1.6	0.9	4.8	17.3

Tabel 4.43 Kontrol Tegangan (Tahap 5)

Tegangan ijin saat service

$\sigma_{ts} = -3.54 \text{ MPa}$

$\sigma_{cs} = 22.5 \text{ MPa}$

mm^2

mm

mm^3

mm^3

$A = 1091784.4$

$e_o = 400$

$Z_t = 3.76E+08$

$Z_b = 2.01E+08$

Lantai	Tipe Balok	t	F_5 (kN)	Mmax (kNm)	ft (MPa)	fb (MPa)
6	BP1	20 th	2306.2	1167.2	2.8	0.9
	BP2		2306.1	1163.2	2.8	0.9
	BP3		2306.1	1164.5	2.8	0.9
	BP4		2306.1	1164.3	2.8	0.9
	BP5		2305.9	1153.1	2.7	1.0
Atap	BP1	20 th	1800.2	891.5	2.1	0.8
	BP2		1774.9	904.9	2.1	0.7
	BP3		1800.5	905.0	2.1	0.7
	BP4		1800.5	904.8	2.1	0.7
	BP5		1800.2	896.8	2.1	0.8

Tabel 4.44 Perhitungan M_{cr} dan M_n Lapisan Batok Pratekan[illegible]

Tabel 4.47 Pelatungan Tulangan Geser daerah Lapangan

$F = 500$ mm
 $eb = 400$ mm
 $A = 1091784.4$ mm²
 $b = 600$ mm
 $h = 1200$ mm
 $f = 1.570E+11$ mm²
 $yt = 417.82$ mm
 $Zb = 2.01E+08$ mm³
 $et = 160$ mm
 $s = 8000$ mm

Lantai	Tipe Balok	F (N)	Vud (N)	VuL (N)	Mud (Nmm)	Mud (Nmm)	Mada	Vd	Vl	e (mm)	d (mm)	fd (MPa)	fy (MPa)	Mer (Nmm)	Vci (N)	Vu (6000) (N)	Vu(6000)/φ (N)
5	BP1	2.31E+06	2.64E+05	1.50E+05	7.33E+08	4.34E+08	1.57E+09	2.93E+04	1.67E+04	393.8	811.6	5.35	3.37	5.81E+08	2.08E+05	1.75E+04	2.92E+04
	BP2	2.31E+06	2.63E+05	1.51E+05	7.29E+08	4.34E+08	1.57E+09	2.92E+04	1.67E+04	393.8	811.6	5.33	3.34	5.82E+08	2.08E+05	2.00E+04	3.33E+04
	BP3	2.31E+06	2.62E+05	1.50E+05	7.30E+08	4.35E+08	1.57E+09	2.92E+04	1.67E+04	393.8	811.6	5.34	3.35	5.80E+08	2.08E+05	1.74E+04	2.90E+04
	BP4	2.31E+06	2.62E+05	1.50E+05	7.30E+08	4.35E+08	1.57E+09	2.92E+04	1.67E+04	393.8	811.6	5.34	3.35	5.81E+08	2.08E+05	1.74E+04	2.90E+04
	BP5	2.31E+06	2.62E+05	1.51E+05	7.23E+08	4.30E+08	1.56E+09	2.91E+04	1.67E+04	393.8	811.6	5.26	3.32	5.97E+08	2.08E+05	1.74E+04	2.90E+04
Atap	BP1	1.80E+06	2.14E+05	7.22E+04	6.77E+08	2.14E+08	1.16E+09	2.38E+04	8.02E+03	393.8	811.6	3.82	3.14	1.07E+09	2.03E+05	9.56E+03	1.59E+04
	BP2	1.77E+06	2.13E+05	7.23E+04	6.88E+08	2.17E+08	1.17E+09	2.37E+04	8.03E+03	393.8	811.6	3.93	3.19	1.05E+09	2.03E+05	9.82E+03	1.64E+04
	BP3	1.80E+06	2.13E+05	7.22E+04	6.88E+08	2.17E+08	1.17E+09	2.37E+04	8.02E+03	393.8	811.6	3.90	3.19	1.06E+09	2.03E+05	9.47E+03	1.58E+04
	BP4	1.80E+06	2.13E+05	7.22E+04	6.88E+08	2.17E+08	1.17E+09	2.37E+04	8.02E+03	393.8	811.6	3.90	3.19	1.06E+09	2.03E+05	9.46E+03	1.58E+04
	BP5	1.80E+06	2.13E+05	7.23E+04	6.81E+08	2.15E+08	1.16E+09	2.37E+04	8.03E+03	393.8	811.6	3.85	3.16	1.07E+09	2.03E+05	9.49E+03	1.58E+04

Tabel 4.46 Phitungan Tulangan Geser daerah Tumpuan

		$f = 500$	mm	$x = 535$	mm	$y_b = 782.18$	mm ³						
		$A = 1091781.4$	mm ²			$1 = 1.57E+11$	mm ⁴						
		$b = 600$	mm	$e^2 = 100$	mm								
		$h = 1200$	mm	$z_b = 201E+08$	mm								
Lantai	Tipe Balok	F (N)	Vud (N)	VuL (N)	Mud (Nmm)	MuL (Nmm)	p' (N/mm)	Vp' (N)	Vug (N)	Vu (N)	fpe (MPa)	Vp (N)	Vew (N)
6	BP1	2.31E+06	2.64E+05	1.50E+05	4.59E+08	2.43E+08	28.5	2.56E+05	4.14E+05	1.58E+05	2.11	2.41E+05	1.60E+06
	BP2	2.31E+06	2.86E+05	1.51E+05	4.59E+08	2.45E+08	28.5	2.56E+05	4.36E+05	1.80E+05	2.11	2.41E+05	1.60E+06
	BP3	2.31E+06	2.62E+05	1.50E+05	4.52E+08	2.42E+08	28.5	2.56E+05	4.13E+05	1.57E+05	2.11	2.41E+05	1.60E+06
	BP4	2.31E+06	2.62E+05	1.50E+05	4.52E+08	2.42E+08	28.5	2.56E+05	4.13E+05	1.57E+05	2.11	2.41E+05	1.60E+06
	BP5	2.31E+06	2.62E+05	1.51E+05	4.58E+08	2.50E+08	28.5	2.56E+05	4.13E+05	1.57E+05	2.11	2.41E+05	1.60E+06
Atap	BP1	1.80E+06	2.14E+05	7.22E+04	2.90E+08	1.11E+08	22.2	2.00E+05	2.86E+05	8.61E+04	1.65	1.88E+05	1.48E+06
	BP2	1.77E+06	2.13E+05	7.23E+04	2.74E+08	1.08E+08	21.9	1.97E+05	2.86E+05	8.84E+04	1.63	1.85E+05	1.48E+06
	BP3	1.80E+06	2.13E+05	7.22E+04	2.71E+08	1.08E+08	22.2	2.00E+05	2.85E+05	8.52E+04	1.65	1.88E+05	1.48E+06
	BP4	1.80E+06	2.13E+05	7.22E+04	2.71E+08	1.08E+08	22.2	2.00E+05	2.85E+05	8.52E+04	1.65	1.88E+05	1.48E+06
	BP5	1.80E+06	2.13E+05	7.23E+04	2.78E+08	1.08E+08	22.2	2.00E+05	2.85E+05	8.54E+04	1.65	1.88E+05	1.48E+06

Lantai	Tipe Balok	F (N)	M _{maks} (Nmm)	V _d (N)	V _i (N)	d (mm)	fd (MPa)	fpe (MPa)	Mcr (Nmm)	Vci (N)	Vu (535) (N)	Vu(535)/φ (N)	Dipakai
6	BP1	2.31E+06	9.40E+08	2.48E+05	1.42E+05	824.5	3.25	5.64	1.19E+09	6.02E+05	1.48E+05	2.47E+05	φ10 - 200
	BP2	2.31E+06	9.41E+08	2.69E+05	1.42E+05	824.5	3.25	5.65	1.19E+09	6.23E+05	1.69E+05	2.82E+05	φ10 - 200
	BP3	2.31E+06	9.29E+08	2.47E+05	1.41E+05	824.5	3.21	5.59	1.19E+09	6.02E+05	1.47E+05	2.46E+05	φ10 - 200
	BP3	2.31E+06	9.29E+08	2.47E+05	1.41E+05	824.5	3.21	5.59	1.19E+09	6.02E+05	1.47E+05	2.45E+05	φ10 - 200
	BP4	2.31E+06	9.48E+08	2.47E+05	1.42E+05	824.5	3.24	5.68	1.20E+09	6.01E+05	1.48E+05	2.46E+05	φ10 - 200
Atap	BP1	1.80E+06	5.25E+08	2.01E+05	6.79E+04	824.5	2.19	3.36	9.44E+08	4.98E+05	8.10E+04	1.35E+05	φ10 - 200
	BP2	1.77E+06	5.01E+08	2.01E+05	6.80E+04	824.5	2.11	3.24	9.37E+08	5.03E+05	8.31E+04	1.39E+05	φ10 - 200
	BP3	1.80E+06	4.97E+08	2.00E+05	6.79E+04	824.5	2.10	3.23	9.35E+08	5.03E+05	8.01E+04	1.34E+05	φ10 - 200
	BP3	1.80E+06	4.97E+08	2.00E+05	6.79E+04	824.5	2.10	3.23	9.35E+08	5.03E+05	8.01E+04	1.34E+05	φ10 - 200
	BP4	1.80E+06	5.08E+08	2.00E+05	6.80E+04	824.5	2.14	3.28	9.39E+08	5.01E+05	8.03E+04	1.34E+05	φ10 - 200

4.12 Penulangan Lentur Balok Induk

Contoh Perhitungan

Balok induk B1 pada lantai 2, dengan data sbb :

Dimensi balok :	b	= 400 mm
	be	= 1040 mm
	h	= 600 mm
selimut beton		= 40 mm
sengkang		= ϕ 10
mutu beton, f_c'		= 30 Mpa
mutu baja, f_y		= 300 MPa
d	= 600 - 40 - 10 - $\frac{1}{2} \times 25$	= 537.5 mm
d'	= 40 + 10 + $\frac{1}{2} \times 25$	= 62.5 mm

14.12.1.a. Perhitungan Tulangan di Daerah Tumpuan (Momen Negatif)

$$Mu' = 1.72 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$\text{Dipakai } \delta = 0.5 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.3.2})$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.00467 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a})$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f_c' c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.85 \cdot \frac{0.85 \times 30}{300} \frac{600}{600 + 300} = 0.0482$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b = 0.75 \cdot 0.0482 = 0.0362$$

$$Rn = \frac{(1 - \delta)Mu}{\phi b d^2} = \frac{(1 - 0.5) \times 1.72 \text{ E}+8}{0.8 \times 400 \times 537.5^2} = 0.93$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0.93}{300}} \right) = 0.0032$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho' = \frac{\delta Mu}{\phi \times f_y \times (d - d') \times b \times d} = \frac{0.5 \times 1.72 \text{ E}+8}{0.8 \times 300 \times (537.5 - 62.5) \times 400 \times 537.5} = 0.004$$

Menghitung tulangan tarik dan tekan pada tumpuan

Tulangan tumpuan atas :

$$\text{Rasio tulangan tarik} = \rho\delta + \rho' = 0.0032 + 0.004$$

$$\rho = 0.0072 > \rho_{\min} = 0.00467$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0072$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.0072 \times 400 \times 537.5 = 1548 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 4 D-25 ($A_s = 1963.49 \text{ mm}^2$)

Tulangan tumpuan bawah :

$$A_s' = \rho' \cdot b \cdot d = 0.00467 \times 400 \times 537.5 = 1004.05 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 3 D-25 ($A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$)

Tulangan atas : **4 D-25** ($A_s = 1963.49 \text{ mm}^2$)

Tulangan bawah : **3 D-25** ($A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$)

b. Perhitungan Tulangan di Daerah Tumpuan (Momen Positif)

$$M_u^+ = 1.73 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

Dipakai $\delta = 0.5$ (SKSNI 1991 pasal 3.14.3.2)

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.00467 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a})$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.85 \cdot \frac{0.85 \times 30}{300} \frac{600}{600 + 300} = 0.0482$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b = 0.75 \cdot 0.0482 = 0.0362$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta) M_u}{\phi b d^2} = \frac{(1 - 0.5) \times 1.73 \text{ E}+8}{0.8 \times 400 \times 537.5^2} = 0.94$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\rho\delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0.94}{300}} \right) = 0.0032$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho' = \frac{\delta M_u}{\phi \times f_y \times (d - d') \times b \times d} = \frac{0.5 \times 1.73 \text{ E}+8}{0.8 \times 300 \times (537.5 - 62.5) \times 400 \times 537.5} = 0.0035$$

Menghitung tulangan tarik dan tekan pada tumpuan

Tulangan tumpuan bawah :

$$\text{Rasio tulangan tarik} = \rho\delta + \rho' = 0.0032 + 0.0035$$

$$\rho = 0.0067 > \rho_{\min} = 0.00467$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0072$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.0067 \times 400 \times 537.5 = 1440.5 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 3 D-25 ($A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$)

Tulangan tumpuan atas :

$$A_s' = \rho' \cdot b \cdot d = 0.00467 \times 400 \times 537.5 = 1004.05 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 3 D-25 ($A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$)

Tulangan atas : **3 D-25** ($A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$)

Tulangan bawah : **3 D-25** ($A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$)

14.12.2. Perhitungan Tulangan di Daerah Lapangan (Momen Positif)

$$M_u^+ = 1.27 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.00467 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a})$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.85 \cdot \frac{0.85 \times 30}{300} \frac{600}{600 + 300} = 0.0482$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0.75 \cdot \rho_b = 0.75 \cdot 0.0482 = 0.0362$$

$$R_n = \frac{(1 - \delta) M_u}{\phi b d^2} = \frac{(1 - 0.5) \times 1.27 \text{ E}+8}{0.8 \times 400 \times 537.5^2} = 1.375$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 1.375}{300}} \right) = 0.00471$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.00471$$

$$a = \frac{\rho \times d \times f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{0.00471 \times 537.5 \times 300}{0.85 \times 30} = 29.78 \text{ mm} < t = 130 \text{ mm}$$

Berarti penulangan seperti balok persegi dengan mengganti b menjadi be.

$$R_n = 0.529$$

$$\rho = 0.00178 < \rho_{\min} = 0.00467$$

dipakai $\rho_{\min} = 0.00467$

Tulangan lapangan bawah :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.00467 \times 1040 \times 537.5 = 2610.53 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 6 D-25 ($A_s = 2945.24 \text{ mm}^2$)

Tulangan lapangan atas :

$$A_s' = 0.5 \rho \cdot b \cdot d = 0.5 \times 0.00467 \times 1040 \times 537.5 = 1305.27 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 3 D-25 ($A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$)

Tulangan atas : **3 D-25** ($A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$)

Tulangan bawah : **6 D-25** ($A_s = 2945.24 \text{ mm}^2$)

14.12.3. Perhitungan Tulangan Torsi

$$T_u = 1.02 \text{ E}+5 \text{ Nmm}$$

$$\Sigma x^2 y = (400^2 \times 600) + 2(537.5^2 \times 130) = 1.71 \text{ E}+8 \text{ mm}^3$$

$$\Sigma x^2 y = (400^2 \times 470) + (1040^2 \times 130) = 2.16 \text{ E}+8 \text{ mm}^3 \text{ (menentukan)}$$

Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton :

$$\phi T_c = \phi \left(\frac{1}{15} \sqrt{f'_c} \Sigma x^2 y \right) = 0.6 \left(\frac{1}{15} \sqrt{30} \times 2.16 \text{ E}+8 \right) = 4.73 \text{ E}+7 \text{ Nmm}$$

Karena : $T_u < \phi T_c \rightarrow$ Torsi diabaikan !

14.12.4. Perhitungan Geser

Kuat geser yang disumbangkan beton:

$$\phi V_c = \phi \cdot 0.6 \cdot \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \cdot b_w \cdot d = 0.6 \cdot \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) \cdot 400 \cdot 537.5 = 1.18 \text{ E}+5 \text{ N}$$

$$V_u = 1.28 \text{ E}+5 \text{ N}$$

Karena $V_u > \phi V_c$ maka perlu tambahan tulangan untuk menahan geser.

Direncanakan menggunakan tulangan polos $\phi - 10 \text{ mm}$

Jarak antar tulangan geser,

$$s_{max} = d/4 = 537.5/4 = 109.25 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 10 \times \phi \text{ tul. lentur} = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 24 \times \phi \text{ tul. sengkang} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

maka diambil $s = 100 \text{ mm}$

Dipakai tulangan $\phi 10 - 100$



$$V_{s_{perlu}} = V_u - \phi V_c = 1,28E+5 - 1,18E+5 = 1,07E+4N$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 = 2 \times \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 157 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{157 \cdot 300 \cdot 537,5}{100} = 2,53E+5N$$

karena $V_s > V_{s_{perlu}}$ maka tulangan geser polos $\phi - 10 \text{ mm}$ dengan jarak 100 mm telah memenuhi syarat.

14.12.5. Perhitungan Panjang Penyaluran

Perhitungan panjang penyaluran tulangan D-25 berdasarkan SKSNI 1991 pasal 3.5.2 meliputi beberapa hal sebagai berikut :

- (1) Panjang penyaluran tulangan tarik

Panjang penyaluran dasar adalah :

$$l_{db} = \frac{0,02 \cdot A_b \cdot f_y}{\sqrt{f_c'}} = \frac{0,02 \cdot 490,9 \cdot 300}{\sqrt{30}} = 538 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$l_{db} = 0,06 \cdot d_b \cdot f_y = 0,06 \cdot 25 \cdot 300 = 450 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran, $l_d = 1,4 \cdot l_{db} = 1,4 \cdot 538 = 753 \text{ mm}$
 $l_d \geq 300 \text{ mm}$

- (2) Panjang penyaluran tulangan tekan

Panjang penyaluran dasar adalah :

$$l_{db} = \frac{d_b \cdot f_y}{4 \sqrt{f_c'}} = \frac{25 \cdot 300}{4 \cdot \sqrt{30}} = 342 \text{ mm}$$

dan tidak boleh kurang dari :

$$l_{db} = 0,04 \cdot d_b \cdot f_y = 0,04 \cdot 25 \cdot 300 = 300 \text{ mm}$$

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

- (3) Panjang penyaluran kait standar (hook) dalam tarik

Panjang penyaluran dasar hook adalah :

$$l_{hb} = \frac{100 \cdot d_b}{\sqrt{f_c'}} = \frac{100 \cdot 25}{\sqrt{30}} = 456 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran hook :

$$l_{dh} = l_{hb} \left(0.7 \right) \left(\frac{f_y}{400} \right) = 456 \times 0.7 \times \left(\frac{300}{400} \right) = 239 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 8d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

(4) Panjang penyaluran tulangan momem positif

1/3 tulangan momen positif pada tumpuan dan 1/4 tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan ke dalam tumpuan min. sepanjang :

$$- 150 \text{ mm}$$

$$- d = 537.5 \text{ mm}$$

$$- 12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$$

(5) Panjang penyaluran dari tulangan tarik pada momen negatif

1/3 tulangan tarik pada tulangan negatif diteruskan pada jarak terbesar antara :

$$- d = 537.5 \text{ mm}$$

$$- 12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$$

$$- l_n / 16 = 7200 / 16 = 450 \text{ mm}$$

14.12.6. Kontrol Retak

(SKSNI 1991 rumus 3.3.4)

$$f_s = 0.6 f_y = 0.6 \times 300 = 180 \text{ MPa}$$

$$d_c = 40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 62.5 \text{ mm}$$

$$A = \frac{2 d_c b}{n} = \frac{2 \times 62.5 \times 400}{4} = 12500 \text{ mm}^2$$

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} = 180 \times \sqrt[3]{62.5 \times 12500} = 16578 \text{ MPa} < 30 \text{ MN/m (OK)}$$

14.12.7. Kontrol Lendutan

Sesuai dengan SKSNI 1991 tabel 3.2.5(a), maka tebal minimum balok :

$$- \text{balok satu ujung menerus } h_{\min} = L / 18.5$$

$$- \text{untuk } f_y \text{ selain } 400 \text{ MPa, maka harus dikalikan dengan } \left(0.4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

Jadi untuk balok dengan $L = 7200 \text{ mm}$ dengan menggunakan $f_y = 300 \text{ MPa}$, maka $h_{\min}$ adalah :

$$h_{\min} = \frac{L}{18.5} \left(0.4 + \frac{f_y}{700} \right) = \frac{7200}{18.5} \left(0.4 + \frac{300}{700} \right) = 322 \text{ mm}$$

Ketentuan diatas sudah terpenuhi karena $h_{\text{balok}} = 600 \text{ mm}$

Tabel 4.48 Perhitungan Tulangan Balok daerah Tumpuan

$$f_c' = 30 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = 0.00467$$

$$f_y = 300 \text{ MPa} \quad \rho_{\max} = 0.03520$$

$$m = 11.765$$

Lantai	Tipe Balok	Mu (Nmm)	b (mm)	d (mm)	d' (mm)	Rn	ρ	ρ'	ρ	ρ_{pakai}	As atas (mm ²)	Dipasang As	As' (mm ²)	Dipasang As'
1	B1	1.27E+08	400	537.5	62.5	0.68338	0.0026	0.0023	0.00492	0.0049	1053.5	3 D-25	558.2	2 D - 25
	B2	3.63E+08	400	737.5	62.5	1.04183	0.0038	0.0035	0.00734	0.0073	2153.5	5 D-25	1119.3	3 D-25
	B3	1.61E+08	400	737.5	62.5	0.46299	0.0017	0.0016	0.00324	0.00467	1377.7	3 D-25	497.4	2 D - 25
	B4	1.23E+08	300	737.5	62.5	0.47227	0.0017	0.0016	0.00331	0.00467	1033.2	3 D-25	380.6	2 D - 25
	B5	3.17E+08	400	737.5	62.5	0.91123	0.0033	0.0031	0.00641	0.0064	1888.0	3 D-25	979.0	2 D - 25
	B6	1.39E+08	300	537.5	62.5	1.00578	0.0038	0.0034	0.00722	0.0072	1161.0	3 D-25	611.7	2 D - 25
	B7	1.75E+08	300	537.5	62.5	1.26545	0.0048	0.0043	0.0091	0.0091	1467.4	3 D-25	769.7	2 D - 25
2	B1	1.72E+08	400	537.5	62.5	0.92996	0.0035	0.0032	0.00667	0.0067	1440.5	3 D-25	754.2	2 D - 25
	B2	3.93E+08	400	737.5	62.5	1.12826	0.0041	0.0038	0.00796	0.008	2360.0	5 D-25	1212.2	3 D-25
	B3	1.57E+08	400	737.5	62.5	0.45123	0.0016	0.0015	0.00316	0.00467	1377.7	3 D-25	484.8	2 D - 25
	B4	1.21E+08	300	737.5	62.5	0.46376	0.0017	0.0016	0.00325	0.00467	1033.2	3 D-25	373.7	2 D - 25
	B5	3.33E+08	400	737.5	62.5	0.95744	0.0035	0.0033	0.00674	0.0067	1976.5	5 D-25	1028.7	3 D-25
3	B1	1.72E+08	400	537.5	62.5	0.92945	0.0035	0.0032	0.00666	0.0068	1462.0	3 D-25	753.8	2 D - 25
	B2	3.80E+08	400	737.5	62.5	1.09278	0.004	0.0037	0.0077	0.0077	2271.5	5 D-25	1174.1	3 D-25
	B3	1.53E+08	400	737.5	62.5	0.43837	0.0016	0.0015	0.00307	0.00467	1377.7	3 D-25	471.0	2 D - 25
	B4	1.15E+08	300	737.5	62.5	0.4397	0.0016	0.0015	0.00308	0.00467	1033.2	3 D-25	354.3	2 D - 25
	B5	3.60E+08	400	737.5	62.5	1.03334	0.0038	0.0035	0.00728	0.0073	2153.5	5 D-25	1110.2	3 D-25
4	B1	1.72E+08	400	537.5	62.5	0.93189	0.0035	0.0032	0.00668	0.0067	1440.5	3 D-25	755.7	2 D - 25
	B2	3.52E+08	400	737.5	62.5	1.00985	0.0037	0.0034	0.00711	0.0071	2094.5	5 D-25	1085.0	3 D-25
	B3	1.52E+08	400	737.5	62.5	0.43792	0.0016	0.0015	0.00307	0.00467	1377.7	3 D-25	470.5	2 D - 25
	B4	1.15E+08	300	737.5	62.5	0.44167	0.0016	0.0015	0.00309	0.00467	1033.2	3 D-25	355.9	2 D - 25
	B5	3.97E+08	400	737.5	62.5	1.14063	0.0042	0.0039	0.00805	0.008	2360.0	5 D-25	1225.5	3 D-25

5	B1	1.71E+08	400	537.5	62.5	0.92569	0.0031	0.0035	0.00664	0.006	1290.0	3 D-25	750.7	2 D - 25
	B2	4.28E+08	400	737.5	62.5	1.23033	0.0042	0.0045	0.00869	0.0087	2566.5	6 D-25	1321.8	3 D-25
	B3	1.53E+08	400	737.5	62.5	0.43829	0.0015	0.0016	0.00307	0.00467	1377.7	3 D-25	470.9	2 D - 25
	B4	1.15E+08	300	737.5	62.5	0.44078	0.0015	0.0016	0.00309	0.00467	1033.2	3 D-25	355.2	2 D - 25
	B5	3.61E+08	400	737.5	62.5	1.03817	0.0035	0.0038	0.00731	0.0073	2153.5	5 D-25	1115.4	3 D-25
6	B2	2.55E+08	400	737.5	62.5	0.73135	0.0025	0.0027	0.00514	0.0051	1504.5	4 D-25	785.7	2 D - 25
	B3	1.44E+08	400	737.5	62.5	0.41466	0.0014	0.0015	0.0029	0.00467	1377.7	3 D-25	445.5	2 D - 25
	B4	9.52E+07	300	737.5	62.5	0.36478	0.0012	0.0013	0.00255	0.00467	1033.2	3 D-25	293.9	2 D - 25
	B2	2.05E+08	400	737.5	62.5	0.5889	0.002	0.0021	0.00413	0.00467	1377.7	3 D-25	632.7	2 D - 25
Atap	B3	1.08E+08	400	737.5	62.5	0.30944	0.001	0.0011	0.00216	0.00467	1377.7	3 D-25	332.5	2 D - 25
	B4	8.07E+07	300	737.5	62.5	0.3093	0.001	0.0011	0.00216	0.00467	1033.2	3 D-25	249.2	2 D - 25

Tabel 4.49 Perhitungan Tulangan Balok daerah Lapangan

$$f_c' = 30 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = 0.00467$$

$$f_y = 300 \text{ MPa} \quad \rho_{\max} = 0.03620$$

$$m = 11.765$$

Lantai	Type Balok	Mu (Nmm)	b (mm)	be (mm)	d (mm)	Rn	ρ perlu	ρ pakai	a	Rn	ρ perlu	ρ pakai	As bawah (mm ²)	Dipasang As	As atas (mm ²)	Dipasang As'
1	B1	1.05E+08	400	1040	537.5	1.133	0.00386	0.00467	29.53	0.436	0.00146	0.00467	1004.05	3 D - 25	502.025	2 D - 25
	B2	3.7E+08	400	1040	737.5	2.127	0.00741	0.00741	64.29	0.818	0.00277	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B3	1.7E+08	400	1040	737.5	0.952	0.00323	0.00467	40.52	0.366	0.00123	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B4	5.54E+07	300	1040	737.5	0.424	0.00143	0.00467	40.52	0.122	0.00041	0.00467	1033.238	3 D - 25	516.619	2 D - 25
	B5	3.04E+08	400	1040	737.5	1.748	0.00604	0.00604	52.41	0.672	0.00227	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B6	1.21E+08	300	1040	537.5	1.742	0.00602	0.00602	38.07	0.503	0.00169	0.00467	753.0375	2 D - 25	376.519	2 D - 25
	B7	1.61E+08	300	1040	537.5	2.320	0.00812	0.00812	51.35	0.669	0.00226	0.00467	753.0375	2 D - 25	376.519	2 D - 25
2	B1	1.27E+08	400	1040	537.5	1.375	0.00471	0.00471	29.78	0.529	0.00178	0.00467	1004.05	3 D - 25	502.025	2 D - 25
	B2	3.53E+08	400	1040	737.5	2.027	0.00705	0.00705	61.17	0.780	0.00264	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B3	1.60E+08	400	1040	737.5	0.917	0.00311	0.00467	40.52	0.353	0.00118	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B4	5.67E+07	300	1040	737.5	0.434	0.00146	0.00467	40.52	0.125	0.00042	0.00467	1033.238	3 D - 25	516.619	2 D - 25
	B5	2.94E+08	400	1040	737.5	1.688	0.00582	0.00582	50.50	0.649	0.00219	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
3	B1	1.27E+08	400	1040	537.5	1.375	0.00471	0.00471	29.78	0.529	0.00178	0.00467	1004.05	3 D - 25	502.025	2 D - 25
	B2	3.54E+08	400	1040	737.5	2.032	0.00707	0.00707	61.34	0.781	0.00265	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B3	1.60E+08	400	1040	737.5	0.917	0.00312	0.00467	40.52	0.353	0.00118	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B4	5.77E+07	300	1040	737.5	0.442	0.00149	0.00467	40.52	0.128	0.00043	0.00467	1033.238	3 D - 25	516.619	2 D - 25
	B5	2.92E+08	400	1040	737.5	1.677	0.00579	0.00579	50.24	0.645	0.00218	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
4	B1	1.27E+08	400	1040	537.5	1.372	0.00470	0.0047	29.72	0.528	0.00178	0.00467	1004.05	3 D - 25	502.025	2 D - 25
	B2	3.54E+08	400	1040	737.5	2.033	0.00707	0.00707	61.34	0.782	0.00265	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B3	1.60E+08	400	1040	737.5	0.919	0.00312	0.00467	40.52	0.353	0.00119	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B4	5.74E+07	300	1040	737.5	0.440	0.00148	0.00467	40.52	0.127	0.00042	0.00467	1033.238	3 D - 25	516.619	2 D - 25
	B5	2.94E+08	400	1040	737.5	1.692	0.00584	0.00584	50.67	0.651	0.00220	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25

5	B1	1.28E+08	400	1040	537.5	1.385	0.00475	0.00475	0.00475	30.04	0.533	0.00179	0.00467	1004.05	3 D - 25	502.025	2 D - 25
	B2	3.31E+08	400	1040	737.5	1.903	0.00660	0.0066	0.0066	57.26	0.732	0.00248	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B3	1.58E+08	400	1040	737.5	0.909	0.00309	0.00467	0.00467	40.52	0.350	0.00117	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B4	5.78E+07	300	1040	737.5	0.442	0.00149	0.00467	0.00467	40.52	0.128	0.00043	0.00467	1033.238	3 D - 25	516.619	2 D - 25
	B5	2.63E+08	400	1040	737.5	1.513	0.00520	0.0052	0.0052	45.12	0.582	0.00196	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
6	B2	1.67E+08	400	1040	737.5	0.961	0.00327	0.00467	0.00467	40.52	0.370	0.00124	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B3	1.07E+08	400	1040	737.5	0.613	0.00207	0.00467	0.00467	40.52	0.236	0.00079	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B4	7043989	300	1040	737.5	0.054	0.00018	0.00467	0.00467	40.52	0.016	0.00005	0.00467	1033.238	3 D - 25	516.619	2 D - 25
	B2	1.38E+08	400	800	737.5	0.795	0.00269	0.00467	0.00467	40.52	0.397	0.00134	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
Atap	B3	91782778	400	800	737.5	0.527	0.00178	0.00467	0.00467	40.52	0.264	0.00088	0.00467	1377.65	3 D - 25	688.825	2 D - 25
	B4	5588320	300	800	737.5	0.043	0.00014	0.00467	0.00467	40.52	0.016	0.00005	0.00467	1033.238	3 D - 25	516.619	2 D - 25

Tabel 4.50 Perencanaan Geser Balok Induk

$f_c' = 30$ MPa $\rho_{min} = 0.00467$
 $f_y = 300$ MPa $\rho_{maks} = 0.02333$
 $m = 11.765$

Lantai	Tipe	V_u (N)	b (mm)	d (mm)	ϕV_c (N)	V_s perlu (N)	Kontrol	S maks 1 (mm)	S maks 2 (mm)	S maks 3 (mm)	S maks 4 (mm)	S pakai (mm)	A_v mm^2	V_s (N)	Kontrol ($V_s > V_s$ perlu)	Tulangan yang dipakai
1	B1	1.40E+05	400	537.5	1.18E+05	2.25E+04	Perlu	134.375	250	240	300	100	157	2.53E+05	O.K	$\phi 10-100$
	B2	2.76E+05	400	737.5	1.62E+05	1.15E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B3	1.56E+05	400	737.5	1.62E+05	-5.13E+03	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B4	2.51E+05	300	737.5	1.21E+05	1.30E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B5	3.45E+05	400	737.5	1.62E+05	1.83E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B6	1.03E+05	300	537.5	8.83E+04	1.49E+04	Perlu	134.375	250	240	300	100	157	2.53E+05	O.K	$\phi 10-100$
	B7	1.20E+05	300	537.5	8.83E+04	3.20E+04	Perlu	134.375	250	240	300	100	157	2.53E+05	O.K	$\phi 10-100$
2	B1	1.28E+05	400	537.5	1.18E+05	1.07E+04	Perlu	134.375	250	240	300	100	157	2.53E+05	O.K	$\phi 10-100$
	B2	4.15E+05	400	737.5	1.62E+05	2.53E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B3	121967	400	737.5	1.62E+05	-3.96E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B4	9.49E+04	300	737.5	1.21E+05	-2.63E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B5	3.47E+05	400	737.5	1.62E+05	1.85E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
3	B1	1.28E+05	400	537.5	1.18E+05	1.07E+04	Perlu	134.375	250	240	300	100	157	2.53E+05	O.K	$\phi 10-100$
	B2	4.17E+05	400	737.5	1.62E+05	2.56E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B3	314810	400	737.5	1.62E+05	1.53E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B4	9.26E+04	300	737.5	1.21E+05	-2.86E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B5	3.54E+05	400	737.5	1.62E+05	1.92E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
4	B1	1.29E+05	400	537.5	1.18E+05	1.07E+04	Perlu	134.375	250	240	300	100	157	2.53E+05	O.K	$\phi 10-100$
	B2	4.24E+05	400	737.5	1.62E+05	2.62E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B3	277515	400	737.5	1.62E+05	1.16E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B4	9.27E+04	300	737.5	1.21E+05	-2.85E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$
	B5	3.66E+05	400	737.5	1.62E+05	2.04E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	$\phi 10-150$

5	B1	1.29E+05	400	537.5	1.18E+05	1.07E+04	Perlu	134.375	250	240	300	100	157	2.53E+05	O.K	φ10-100
	B2	4.12E+05	400	737.5	1.62E+05	2.50E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
	B3	2.58E+05	400	737.5	1.62E+05	9.63E+04	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
	B4	9.27E+04	300	737.5	1.21E+05	-2.85E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
	B5	3.46E+05	400	737.5	1.62E+05	1.84E+05	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
6	B2	1.84E+05	400	737.5	1.62E+05	2.20E+04	Perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
	B3	1.42E+05	400	737.5	1.62E+05	-1.99E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
	B4	9.03E+04	300	737.5	1.21E+05	-3.08E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
	B2	1.43E+05	400	737.5	1.62E+05	-1.85E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
Atap	B3	1.21E+05	400	737.5	1.62E+05	-4.10E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150
	B4	9.44E+04	300	737.5	1.21E+05	-2.68E+04	Tidak perlu	184.375	250	240	300	150	157	2.32E+05	O.K	φ10-150

4.13. 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	=	300 MPa
Selimut beton	=	40 mm
Tulangan utama	=	D-25 mm
Sengkang	=	ϕ -10 mm
$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} 25$	=	62.5 mm
Tinggi kolom	=	4200 mm
Jenis kolom	=	unbraced (tanpa pengaku)

4.13.1. Penulangan Lentur Aksial Kolom

Dari hasil analisa SAP 2000 diperoleh gaya-gaya dalam yang bekerja pada kolom sebagai berikut :

P_u	=	4.42E+06 N
$M_{2b}(x)$	=	2.80E+08 Nmm
$M_{2s}(x)$	=	4.12E+08 Nmm
$M_{2b}(y)$	=	4.02E+06 Nmm
$M_{2s}(y)$	=	4.16E+08 Nmm

Perhitungan faktor tekuk (k)

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

EI balok (dimensi 400 x 600 mm)

$$I_g = \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 = 7.20 \text{ E+9 mm}^4$$

$$I_{cr} = 0.5 I_g = 3.60 \text{ E+9 mm}^4$$

$$EI \text{ balok} = E_c \times I_{cr} = 9.27 \text{ E+13}$$

EI 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 :

$$\psi_B = \frac{\sum (EI_c / L_c)_{\text{kolom}}}{\sum (EI_b / L_b)_{\text{balok}}} = \frac{(1,55 \text{ E}+14 / 4200) + (1,55 \text{ E}+14 / 4200)}{2 \times (9,27 \text{ E}+13 / 7200) + (9,27 \text{ E}+13 / 9000)} = 1,26$$

Faktor jepitan bawah :

$$\psi_A = 0,61$$

Dari nomogram faktor panjang efektif kolom diperoleh $k = 1,32$

Kontrol Kelangsingan

Jenis kolom adalah kolom tanpa pengaku (*unbraced frame*).

$$\text{Jari-jari girasi, } r = 0,3 h = 0,3 \times 600 = 180 \text{ mm}$$

$$\text{Nilai kelangsingan } \lambda = \frac{k \cdot L_n}{r} = \frac{1,32 \times (4200 - 300)}{210} = 25 > 22$$

(Termasuk kolom panjang, pengaruh kelangsingan diperhitungkan)

Pemilihan Pembesaran Momen

Untuk *unbraced frame* nilai $C_m = 1$ (SKSNI'91 ps. 3.3.11-5-2)

$$P_u = 4,42 \text{ E}+06 \text{ N}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot L_n)^2} = \frac{\pi^2 \times 1,55 \text{ E}+14}{(1,26 \times 6850)^2} = 5,76 \text{ E}+07 \text{ N} \quad (\text{SKSNI'91 ps. 3.3.11-5-1})$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{P_u}{\phi^2 P_c} \right)} = \frac{1}{1 - \left(\frac{4,42 \text{ E}+06}{0,65 \times 5,76 \text{ E}+07} \right)} = 1,13 \quad (\text{SKSNI'91 ps. 3.3.11-5-1})$$

$$\delta_s = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{\sum P_u}{\phi \sum P_c} \right)} = \frac{1}{1 - \left(\frac{8,54 \text{ E}+07}{0,65 \times 1,01 \text{ E}+09} \right)} = 1,15$$

$$M_{ex} = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s} \quad (\text{SKSNI'91 ps. 3.3.11-5-1})$$

$$= (1,13 \times 2,80 \text{ E}+08) + (1,15 \times 4,12 \text{ E}+08) = 7,91 \text{ E}+08 \text{ Nmm}$$

$$M_{ey} = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

$$= (1,13 \times 4,02 \text{ E}+06) + (1,15 \times 4,16 \text{ E}+08) = 4,83 \text{ E}+08 \text{ Nmm}$$

Perhitungan Pny :

$$\frac{M_{ny}}{A_g h} = \frac{4.83E+8}{700^2 \times 700} = 1.41$$

Dari diagram interaksi M-N, dengan $\rho = 0.024$ diperoleh

$$\frac{\phi P_{ny}}{A_g} = 16.5$$

$$P_{ny} = 16.5 \times 700^2 / 0.65 = 1.24 E+7 \text{ N}$$

Maka diperoleh :

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{ob}} = \frac{1}{1.09E+7} + \frac{1}{1.24E+7} - \frac{1}{9.30E+6}$$

$$P_{nb} = 1.55 E+7 \text{ N}$$

$$P_u = 4.42 E+6 \text{ N}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{4.42E+6}{0.65} = 6.80E+6 \text{ N}$$

$$P_{nb} = 1.55 E+7 \text{ N} > P_n = 6.80 E+6 \text{ N} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

4.13.2. Perhitungan Geser dan Torsi

Data-data perencanaan :

$$T_u = 2.65 E+07 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 1.88 E+05 \text{ N}$$

$$N_u = 1.81 E+05 \text{ N}$$

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

$$\text{Tulangan utama} = \text{D-25}$$

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

$$d = 700 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 637.5 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (} f_c' \text{)} = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (} f_y \text{)} = 300 \text{ Mpa}$$

Cek Torsi Minimum

$$\phi T_c = \phi \left(\frac{1}{15} \sqrt{f_c'} \Sigma x^2 y \right) = 0.6 \left(\frac{1}{15} \sqrt{30} \times 700^2 \times 700 \right) \quad (\text{SKSNI '91 ps. 3.4.6-2-6})$$

$$\phi T_c = 7.51 \text{ E}+07 \text{ Nmm}$$

$$T_u = 2.65 \text{ E}+07 \text{ Nmm} < \phi T_c \rightarrow \text{torsi dapat diabaikan. (SKSNI '91 ps. 3.4.6-2-5)}$$

Sumbangan Kekuatan Geser Beton:

(SKSNI '91 ps.3.4.3-1)

$$V_c = 2x \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \left[1 + \frac{Nu}{14 \cdot Ag} \right] = 2x \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 700 \times 637.5 \times \left[1 + \frac{1.81 \text{ E}+5}{14 \times 700^2} \right]$$

$$V_c = 5.02 \text{ E}+05 \text{ N}$$

$$0.5 \phi V_c = 2.51 \text{ E}+05 \text{ N}$$

Karena $V_u < 0.5 \phi V_c$, maka dipasang sengkang minimum sebesar :

$$A_{v \min} = \frac{bw \cdot s}{3 \cdot f_y} \rightarrow s = \frac{A_v \cdot 3 \cdot f_y}{bw} \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.4.5-5})$$

Dipakai sengkang ϕ -10 ($A_s = 78.5 \text{ mm}^2$), maka :

$$s = \frac{2 \times 78.5 \times 3 \times 300}{700} = 201 \text{ mm} \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.4.5-6-2})$$

$$s_{\text{maks}} = 0.5 h = 0.5 \times 600 = 300 \text{ mm}$$

$$= 10 \cdot d_b = 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$$

$$= 200 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan sengkang ϕ 10-200 mm

Tabel 4.51 Perhitungan Tulangan Geser Kolum

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

$$f_v = 300 \text{ MPa}$$

Lantai	Tipe Balok	Tu (Nmm)	Vu (N)	Nu (N)	b (mm)	d (mm)	ϕT_e (Nmm)	Ket	0,5 ϕV_u (N)	ϕV_c (N)	Ket	s (mm)
1	K1	1.98E+07	2.20E+05	3.28E+05	700	637,5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	2.56E+05	5.32E+05	Tulangan geser dipasang praktis	200
	K2	5.15E+06	3.45E+04	1.75E+05	500	637,5	2.74E+07		1.26E+05	2.52E+05		200
	K3	5.15E+06	4.22E+04	2.29E+05	500	437,5	2.74E+07		1.28E+05	2.55E+05		200
	K4	5.15E+06	3.66E+04	2.00E+05	500	437,5	2.74E+07		1.27E+05	2.53E+05		200
2	K1	2.65E+07	1.88E+05	1.81E+05	700	637,5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	2.51E+05	5.02E+05	Tulangan geser dipasang praktis	200
	K2	6.91E+06	3.26E+04	2.96E+05	500	437,5	2.74E+07		1.30E+05	2.60E+05		200
	K3	6.91E+06	4.05E+04	3.68E+05	500	437,5	2.74E+07		1.32E+05	2.65E+05		200
3	K1	2.43E+07	1.71E+05	1.73E+05	700	637,5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	2.51E+05	5.01E+05	Tulangan geser dipasang praktis	200
	K2	6.33E+06	3.22E+04	2.90E+05	500	437,5	8.66E+07		4.10E+05	8.21E+05		200
	K3	6.33E+06	3.77E+04	3.50E+05	500	437,5	2.74E+07		1.32E+05	2.64E+05		200
4	K1	5.54E+06	4.18E+04	1.59E+05	700	637,5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	2.50E+05	5.00E+05	Tulangan geser dipasang praktis	200
	K2	5.54E+06	2.64E+04	2.50E+05	500	437,5	2.74E+07		1.28E+05	2.57E+05		200
	K3	5.54E+06	3.09E+04	3.05E+05	500	437,5	2.74E+07		1.30E+05	2.61E+05		200
5	K1	4.47E+06	2.78E+04	1.29E+05	700	637,5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	2.49E+05	4.98E+05	Tulangan geser dipasang praktis	200
	K2	4.47E+06	1.56E+04	2.04E+05	500	437,5	2.74E+07		1.27E+05	2.54E+05		200
	K3	4.47E+06	2.43E+04	2.94E+05	500	437,5	2.74E+07		1.30E+05	2.60E+05		200
6	K1	2.73E+06	1.64E+04	1.03E+05	700	637,5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	2.48E+05	4.96E+05	Tulangan geser dipasang praktis	200
	K2	2.73E+06	8.95E+03	1.54E+05	500	437,5	2.74E+07		1.25E+05	2.50E+05		200
	K3	2.73E+06	3.06E+04	2.16E+05	500	437,5	2.74E+07		1.27E+05	2.54E+05		200
7	K1	3.73E+06	5.40E+04	2.30E+05	700	637,5	7.51E+07	Tulangan torsi diabaikan	2.53E+05	5.03E+05	Tulangan geser dipasang praktis	200
	K2	9.71E+05	5.84E+03	5.21E+04	500	437,5	2.74E+07		1.22E+05	2.43E+05		200
	K3	9.71E+05	2.99E+03	8.49E+04	500	437,5	2.74E+07		1.23E+05	2.45E+05		200

Tabel 4.53 Perhitungan Tulangan Lentur-Aksial Kolom

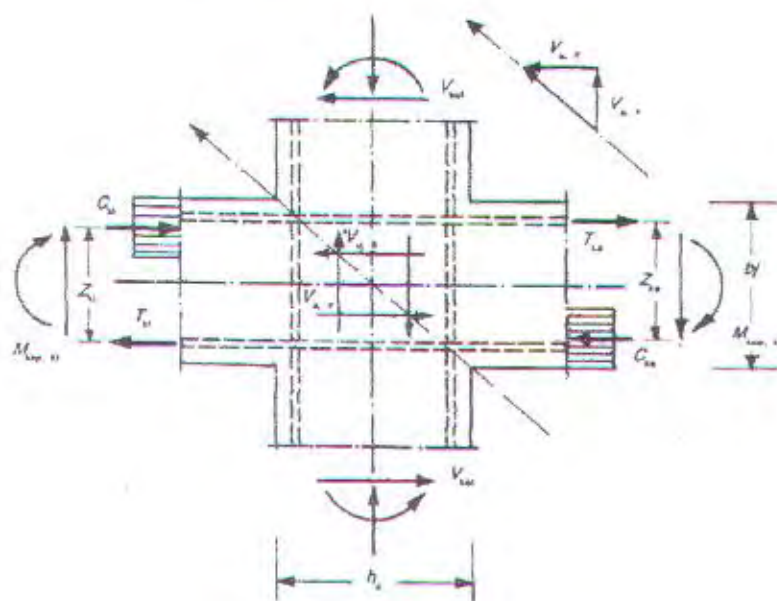
 $f_c' = 30 \text{ MPa}$
 $f_y = 300 \text{ MPa}$

Lantai	Tipe Balok	b = h (mm)	ρ_A	ρ_B	λ	P_u (N)	M_{2b-x} (Nm)	M_{2b-y} (Nm)	M_{2s-x} (Nm)	M_{2b-y} (Nm)	P_e (N)	δ_b	δ_s	ϕ Mn (Nm)	Dipasang	As ada (mm ²)	ρ ada	Pmb (N)	Pn (N)
1	K1	700	0	1.26	22	4.94E+06	1.08E+08	3.28E+06	1.28E+09	7.44E+08	6.97E+07	1.12	1.15	1.72E+09	280-25	13744.5	0.0281	1.22E+07	7.60E+06
	K2	500	0	0.20	1.04	2.06E+06	9.38E+06	2.53E+07	3.65E+08	3.00E+07	2.54E+07	1.14	1.15	2.96E+08	200-25	9817.5	0.0393	5.96E+06	3.16E+06
	K3	500	0	0.26	1.05	2.77E+06	1.78E+07	3.18E+07	5.49E+08	1.44E+08	2.37E+07	1.37	1.15	5.63E+08	240-25	11780.9	0.0471	1.07E+07	6.42E+06
	K4	500	0	0.50	1.09	3.47E+05	4.91E+07	1.55E+06	4.83E+08	7.40E+07	2.20E+07	1.02	1.15	4.13E+08	160-25	7854.0	0.0314	1.20E+07	5.34E+05
2	K1	700	1.26	0.96	1.32	4.42E+06	2.80E+08	4.02E+06	4.12E+08	4.16E+08	5.76E+07	1.13	1.15	9.09E+08	240-25	11780.9	0.0240	1.55E+07	6.80E+06
	K2	500	0.20	0.20	1.07	1.70E+06	2.31E+07	7.50E+07	6.26E+08	7.19E+07	2.40E+07	1.12	1.15	5.68E+08	160-25	7854.0	0.0314	1.14E+07	2.62E+06
	K3	500	0.26	0.38	1.10	3.32E+06	3.12E+07	4.62E+07	7.81E+08	9.04E+07	2.16E+07	1.31	1.15	6.70E+08	200-25	9817.5	0.0393	1.19E+07	5.12E+06
3	K1	700	0.96	0.96	1.31	3.82E+06	2.71E+08	2.68E+06	4.00E+08	3.79E+08	5.85E+07	1.11	1.12	8.31E+08	240-25	11780.9	0.0240	1.56E+07	5.87E+06
	K2	500	0.20	0.20	1.07	1.36E+06	3.63E+07	6.14E+07	6.07E+08	6.94E+07	2.40E+07	1.10	1.12	5.33E+08	160-25	7854.0	0.0314	1.12E+07	2.10E+06
	K3	500	0.38	0.38	1.12	2.49E+06	2.42E+07	4.34E+07	7.38E+08	8.20E+07	2.08E+07	1.23	1.12	6.07E+08	200-25	9817.5	0.0393	1.19E+07	3.81E+06
4	K1	700	0.96	0.96	1.31	3.21E+06	2.87E+08	9.38E+05	3.60E+08	3.54E+08	5.85E+07	1.09	1.12	7.84E+08	240-25	11780.9	0.0240	1.56E+07	4.94E+06
	K2	500	0.20	0.20	1.07	1.00E+06	4.01E+07	6.58E+07	5.26E+08	6.23E+07	2.40E+07	1.07	1.12	4.81E+08	160-25	7854.0	0.0314	1.12E+07	1.55E+06
	K3	500	0.38	0.38	1.12	1.66E+06	2.46E+07	4.19E+07	6.43E+08	7.11E+07	2.08E+07	1.14	1.12	5.30E+08	200-25	9817.5	0.0393	1.01E+07	2.55E+06
5	K1	700	0.96	0.96	1.18	2.61E+06	2.51E+08	4.76E+05	2.64E+08	2.91E+08	7.21E+07	1.06	1.06	6.03E+08	240-25	11780.9	0.0240	1.78E+07	4.01E+06
	K2	500	0.20	0.20	1.18	7.10E+05	4.43E+07	4.31E+07	4.31E+08	3.67E+07	1.98E+07	1.06	1.06	3.93E+08	160-25	7854.0	0.0314	1.12E+07	1.09E+06
	K3	500	0.38	0.38	1.12	8.19E+05	3.13E+07	6.38E+07	6.57E+08	6.03E+07	2.08E+07	1.06	1.06	5.25E+08	200-25	9817.5	0.0393	1.01E+07	1.26E+06
6	K1	700	0.96	0.96	1.16	1.99E+06	4.10E+08	1.54E+06	2.37E+08	2.77E+08	8.75E+07	1.04	1.04	6.50E+08	280-25	13744.5	0.0281	1.73E+07	3.07E+06
	K2	500	0.20	0.56	1.13	3.87E+05	4.85E+07	1.50E+07	3.19E+08	1.34E+07	2.05E+07	1.03	1.04	2.34E+08	160-25	7854.0	0.0314	6.92E+06	5.96E+05
	K3	500	0.23	0.39	1.09	7.03E+05	1.07E+07	1.83E+07	4.30E+08	8.12E+07	2.32E+07	1.05	1.04	3.50E+08	200-25	9817.5	0.0393	5.83E+06	1.08E+06
7	K1	700	0.26	0.00	1.25	8.79E+05	1.09E+09	1.80E+06	4.30E+08	1.74E+08	7.54E+07	1.02	1.02	1.01E+09	280-25	13744.5	0.0281	1.94E+07	1.15E+06
	K2	500	0.85	0.00	1.08	1.68E+05	6.09E+07	7.70E+06	1.03E+08	2.30E+07	2.24E+07	1.01	1.02	1.21E+08	160-25	7854.0	0.0314	9.43E+06	2.58E+05
	K3	500	0.34	0.00	1.06	3.11E+05	3.82E+05	1.32E+07	1.58E+08	2.83E+07	2.45E+07	1.02	1.02	1.29E+08	200-25	9817.5	0.0393	1.01E+07	4.78E+05

4.14. 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

4.14.1 Langkah-langkah perhitungan beam column joint :

- (1) Gaya geser horisontal yang bekerja pada joint :

$$V_{jh} = C_{ki} + T_{ka} - V_k \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.14-6})$$

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

$$= \frac{0.7 \left(\frac{L_{ki}}{Ln_{ki}} M_{kap,ki} + \frac{L_{ka}}{Ln_{ka}} M_{kap,ka} \right)}{1/2(h_{ka} + h_{kb})} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-7})$$

$L_{ki,ka}$ = jarak as ke as kiri dan kanan joint yang ditinjau

$Ln_{ki,ka}$ = jarak bersih balok kiri dan kanan joint yang ditinjau

h_{ka}, h_{kb} = jarak as ke as kolom atas dan bawah joint yang ditinjau

(2) Tegangan geser nominal yang terjadi pada joint :

$$v_{jt} = \frac{V_{jt}}{b_j \cdot h_k} \leq 1.5 \sqrt{f'c'} \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.14.6-1})$$

dimana :

b_j = lebar efektif joint yang dicari dari nilai terkecil di bawah ini :

$$\begin{aligned} & b_j = b_k \\ \text{bila } b_k > b_b & b_j = b_b + 0.5h_k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & b_j = b_b \\ \text{bila } b_k \leq b_b & b_j = b_k + 0.5h_k \end{aligned}$$

h_k = tinggi kolom

(3) Gaya geser yang mampu dipikul beton :

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0.1 f'c'} \times b_j \cdot h_k \quad (\text{SKSNI '91 3.14-10})$$

(4) Penulangan geser pada joint :

$$V_{sh} + V_{ch} = V_{jt} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-13})$$

$$A_{jt} = \frac{V_{sh}}{f_y} \quad (\text{SKSNI '91 3.14-14})$$

4.14.2 Contoh perhitungan pertemuan balok-kolom Di Lantai 1

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 = 300 MPa

P_u = 4.42 E+6 N

$$d = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 537.5 \text{ mm}$$

$$A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$$

Momen kapasitas balok dalam tarik :

(SKSNI '91 ps.3.14.6)

$$a_{ki,ka} = \frac{1.25 \times 1472.62 \times 300}{0.85 \times 30 \times 400} = 54.14 \text{ mm}$$

$$M_{kap,ka,ki} = 1.25 \times 1472.62 \times 300 \times \left(537.5 - \frac{54.14}{2} \right) = 2.82E + 08 \text{ Nmm}$$

Gaya geser kolom yang bekerja pada joint :

(SKSNI '91 ps.3.14.6-1)

$$V_k = \frac{0.7 \left(\frac{L_{ki}}{L_{n_{ki}}} M_{kap,ki} + \frac{L_{ka}}{L_{n_{ka}}} M_{kap,ka} \right)}{1/2(h_{ka} + h_{kb})} = \frac{0.7 \left(2 \times \frac{7200}{6500} \times 2.82E + 08 \right)}{1/2(4200 + 4200)}$$

$$V_k = 5.2E + 4N$$

Gaya geser dan tegangan yang terjadi :

(SKSNI '91 ps.3.14.6)

$$z_{ki} = z_{ka} = d - a/2 = 537.5 - 54.11/2 = 510.45 \text{ mm}$$

$$C_{ki} = 0.7 \frac{M_{kap,ki}}{z_{ki}} = 0.7 \times \frac{2.82E + 8}{510.45} = 5.52E + 05 N$$

$$T_{ka} = 0.7 \frac{M_{kap,ka}}{z_{ka}} = 0.7 \times \frac{2.82E + 8}{510.45} = 5.52E + 05 N$$

$$V_{jt} = C_{ki} + T_{ka} - V_k = 5.52E + 05 + 5.52E + 05 - 5.52E + 04$$

$$= 1.05 E + 6 N$$

$$\text{Untuk } b_k > b_t, \quad b_j = b_k = 700 \text{ mm}$$

$$b_j = b_b + 0.5h_k = 400 + 0.5 \times 4200 = 2500 \text{ mm}$$

$$v_{jt} = \frac{V_{jt}}{b_j \cdot h_k} = \frac{1.05E + 6}{2500 \times 4200} = 0.1 \text{ MPa} < 1.5\sqrt{f_c'} = 8.2 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

Gaya geser yang dipikul beton :

(SKSNI '91 3.14.7)

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0.1 \cdot f_c'} \times b_j \cdot h_k = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{4.42E + 6}{700 \times 700} - 0.1 \times 30} \times 700 \times 4200$$

$$V_{ch} = 4.81E + 6N$$

$$V_{ch} > V_{jt} \rightarrow \text{dipasang tulangan praktis}$$

$$\text{Dipasang tulangan : } \phi 10 - 100$$

4.15. Perencanaan Pondasi

4.15.1. Daya dukung tiang pancang berdasarkan kekuatan bahan

Perhitungan daya dukung tiang pancang direncanakan memakai tiang pancang produksi WIKA 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/cm² at 28 days)

Klasifikasi tiang pancang :

As	= 4.62 cm ²	M crack	= 5.5 tm
Ac	= 765.77 cm ²	M ultimate	= 8.25 tm
W	= 5405.79 cm ³	P _{ijin 1 tiang}	= 112.87 ton
D	= 40 cm		

4.15.2. Daya dukung tiang pancang berdasarkan kekuatan tanah

Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji CPT menurut Van Der Ween .

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

dimana :

$$(Q_p)_a = \frac{(q_c)_m}{3\alpha} \cdot A_p$$

dengan :

$(q_c)_m$ = harga rata-rata CPT disekitar 3,5B diatas hingga B dibawah dasar tiang pondasi (B = diameter pondasi).

$$= \frac{1}{4,5B} \int_{-B}^{3,5B} q_c(z) dz$$

A_p = luas penampang ujung tiang

3 = angka keamanan unsur Q_p

α = Koefisien yang tergantung dari jenis tanah dan tanah

$$= 76.41 \text{ ton}$$

Beban maksimum tiang

$$\begin{aligned}\Sigma P_u &= P_u + \text{Berat poer} \\ &= 230.01 + (2.4 \times 3.0 \times 2.0 \times 1.0) = 244.41 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\Sigma x^2 = 4 \times 1.0^2 = 4.0 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 6 \times 0.5^2 = 1.5 \text{ m}^2$$

$$X_{\max} = 1.0 \text{ m} \quad Y_{\max} = 0.5 \text{ m}$$

$$n = 6 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}P_{\max} &= \frac{\Sigma P_u}{n} + \frac{M_y \times X_{\max}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \times Y_{\max}}{\Sigma y^2} \leq P_{\text{ijin group}} \\ &= \frac{244.41}{6} + \frac{183.46 \times 1.0}{4} + \frac{75.15 \times 0.5}{1.5} \\ &= 70.37 \text{ ton} < P_{\text{ijin group}} = 76.41 \text{ ton} \dots\dots\dots (\text{OK})\end{aligned}$$

4.15.4. Kontrol kekuatan tiang terhadap gaya lateral

$$H_x = 24.28 \text{ t}$$

$$H_y = 21.94 \text{ t}$$

$$\begin{aligned}H_o &= \sqrt{H_x^2 + H_y^2} = \sqrt{24.28^2 + 21.94^2} = 32.72 \text{ ton} \quad (\text{untuk 6 tiang}) \\ &= 5.45 \text{ ton} \quad (\text{untuk 1 tiang})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_u &= 10 \text{ N} \quad (\text{korelasi Terzaghi \& Peck untuk tanah lempung berlanau}) \\ &= 10 \times 15.3 = 153 \text{ KPa} = 1.53 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$C_r = 0.5 C_u = 0.5 \times 1.53 = 7.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$F = \frac{H_o}{6 \times C_r \times D} = \frac{5.45}{6 \times 7.65 \times 0.4} = 0.30$$

$$L_1 = F + 1.5D = 0.30 + 1.5 \times 0.4 = 0.9 \text{ m}$$

$$L_2 = 2.2L_1 = 2.2 \times 0.9 = 1.98 \text{ m} < h_{\text{pemancangan}} = 15 \text{ m}$$

Termasuk dalam kategori tiang panjang.

Untuk tiang pancang yang ujungnya tertahan (restraint pile) diperoleh harga kuat geser tanah :

$$\begin{aligned}H_o \text{ 1 tiang} &= 6 \times C_u \times D \times (L_1 - 1.5D) \\ &= 6 \times 15.3 \times 0.40 \times (0.90 - 1.5 \times 0.40)\end{aligned}$$

$$= 11.016 \text{ ton} > H_o \text{ terjadi} = 5.45 \text{ ton} \dots\dots (\text{OK})$$

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M_{\text{ult aktual}} &= H_o \times (1.5D + 0.5F) = 5.45 \times (1.5 \times 0.40 + 0.5 \times 0.3) \\ &= 4.09 \text{ tm} < M_{\text{crack}} = 5.5 \text{ tm} \\ &< M_{\text{ultimate}} = 8.25 \text{ tm} \dots\dots\dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

4.15.5. Perencanaan Poer (Pile Cap)

Data-data perencanaan poer :

Pu	= 230.01 ton
Dimensi	= 3.0 x 2.0 x 1.0 m
Jumlah tiang pancang	= 6 buah
Dimensi kolom	= 700 x 700 mm
Mutu beton f_c	= 30 MPa
Mutu baja f_y	= 300 MPa
Tulangan pokok	= D-25
Selimut beton	= 70 mm
Tinggi efektif d	= $1000 - 70 - 25 - \frac{1}{2} 25 = 892.5 \text{ mm}$

Kontrol Geser Pons

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi (SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.11-2). Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan sebagai berikut :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_o \times d$$

tetapi tidak melebihi dari :

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \times \beta_c, \quad \text{dimana :}$$

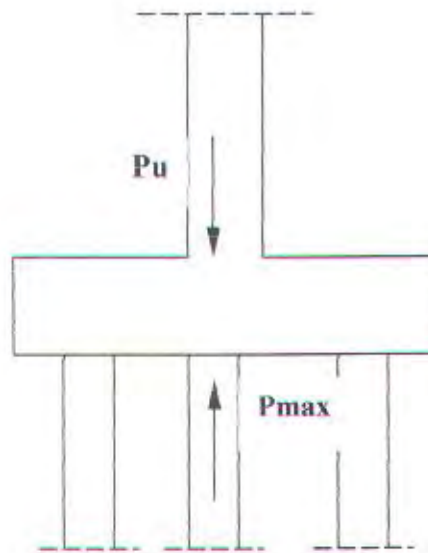
β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

b_o = keliling penampang kritis pada poer.

Contoh perhitungan :

Keliling penampang kritis :

$$\begin{aligned} b_o &= 2d + 700 + 700 = (2 \times 892.5) + 1400 \\ &= 3185 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.7 Kontrol Geser Pons

Kuat geser pons :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6}\right) \times 3185 \times 892.5 = 7.78E+06N \quad (\text{SKSNI '91 ps.3.4.11-2})$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{30} \times 3185 \times 892.5 \times 1 = 5.19E+06N \quad \rightarrow \text{menentukan}$$

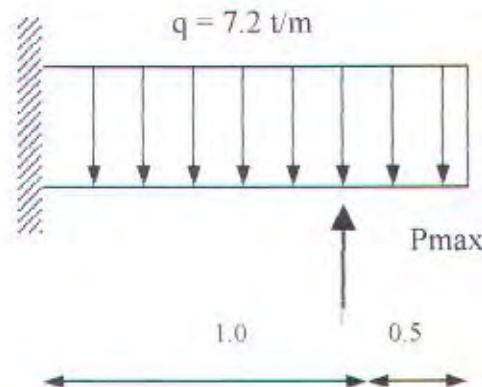
$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0.6 \times 5.19E+06 \\ &= 3.11E+06 N = 311.39 \text{ ton} > P_u - P_{\max} = 111.65 \text{ ton (OK)} \end{aligned}$$

Selain itu dimensi poer (tebal poer) direncanakan juga dengan mempertimbangkan panjang penyaluran tiang pancang yaitu sebesar :

$$\begin{aligned}
 &= 40 \times D_{\text{tiang pancang}} \\
 &= 40 \times 19 \text{ mm} = 760 \text{ mm} > t_{\text{rencana poer}} = 1000 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan lentur Poer

Pada penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q. Perhitungan gaya dalam pada poer diperoleh dengan mekanika statis tertentu.



Gambar 4.8 Pemodelan Poer Arah Sumbu X

Penulangan poer arah sumbu x

$$P_{\max} = 111.65 \text{ ton}$$

$$q = 2.4 \times 3.0 \times 1.0 = 7.2 \text{ t/m}^2$$

Momen yang bekerja :

$$\begin{aligned}
 M_u &= (P_{\max} \cdot 1.0) - (1/2 \cdot q \cdot 1.5^2) \\
 &= 215.2 \text{ tm} = 2.15 \text{ E}+09 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.0047 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.3.5-1})$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{2.15 \text{ E}+09}{0.8 \times 3000 \times 892.5^2} = 1.126 \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.2.3 -2})$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 1.126}{300}} \right) = 0.0038$$

Dipakai $\rho_{min} = 0.0047$

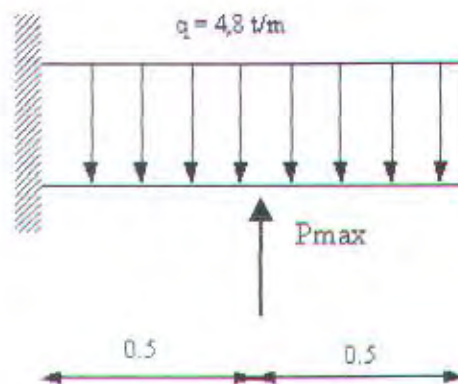
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.0047 \times 3000 \times 892.5 = 12495 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan **26 D-25**

Jarak pemasangan tulangan :

$$s = \frac{3000 - (2 \times 70)}{26} = 110 \text{ mm}$$

Penulangan poer arah sumbu y



Gambar 4.9 Pemodelan Poer Arah Sumbu Y

$$P_{max} = 111.65 \text{ ton}$$

$$q = 2.4 \times 2.0 \times 1.0 = 4.8 \text{ t/m}^2$$

Momen yang bekerja :

$$\begin{aligned} M_u &= (P_{max} \cdot 0.5) - \left(\frac{1}{2} \cdot q \cdot 1.0^2 \right) \\ &= 53.43 \text{ tm} = 5.34 \text{ E}+08 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.0047 \quad (\text{SKSNI 1991 pasal 3.3.5-1})$$

$$Rn = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{5.34 \text{ E}+08}{0.8 \times 2000 \times 892.5^2} = 0.419 \quad (\text{SKSNI '91 ps 3.2.3 -2})$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{300}{0.85 \times 30} = 11.765$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{11.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.765 \times 0.419}{300}} \right) = 0.0008$$

Dipakai $\rho_{min} = 0.0047$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0.0047 \times 2000 \times 892.5 = 8330 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan **17 D-25**

Jarak pemasangan tulangan :

$$s = \frac{3000 - (2 \times 70)}{17} = 109.4 \text{ mm}$$

4.15.6. Perencanaan Sloof (Tie Beam)

Data-data perencanaan sloof :

Pu	= 10 % x 230.01 ton	= 23 ton
Panjang sloof		= 5.0 m
Dimensi sloof		= 400 x 600 mm
Mutu beton f_c		= 30 MPa
Mutu baja f_y		= 300 MPa
Tulangan pokok		= D-25
Sengkang		= ϕ -10
Selimut beton		= 50 mm
Tinggi efektif d	= 600 - 50 - 10 - $\frac{1}{2}$ 25	= 527.5 mm

Kontrol dimensi sloof :

Tegangan ijin tarik beton :

$$f_r = 0.70 \sqrt{f_c'} = 0.70 \sqrt{30} = 3.83 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik yang terjadi :

$$f_r = \frac{P_u}{\phi b h} = \frac{2.30 \text{ k} + 4}{0.8 \times 400 \times 600} = 1.20 \text{ MPa} < f_r \text{ ijin} = 3.83 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

Jadi dimensi sloof telah memenuhi.

Penulangan lentur sloof

Penulangan sloof didasarkan pada kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti pada penulangan kolom.

Beban yang bekerja pada sloof :

$$\text{Berat sendiri } q_u = 1.2 \times 0.4 \times 0.6 \times 24 = 6.912 \text{ kg/m}$$

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M_u &= 1/12 \times q_u \times l^2 = 1/12 \times 6.912 \times 7.2^2 \\ &= 29.86 \text{ kgm} = 2.99 \text{ E}+5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan

$$\begin{aligned} k_x &= \frac{M_u}{A_g \cdot h} = \frac{2.99 \text{ E}+05}{(400 \times 600) \times 600} = 0.002 \\ k_y &= \frac{P_u}{A_g} = \frac{2.30 \text{ E}+04}{400 \times 600} = 0.958 \end{aligned}$$

Dari diagram interaksi M-N, diperoleh $\rho = 0.0100$

Sehingga diperoleh :

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times A_g = 0.0100 \times 400 \times 600 = 2400.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang tulangan } \mathbf{6 \text{ D-25}} \quad (A_s = 2945.24 \text{ mm}^2)$$

Tabel 4.52 Perhitungan Daya Dukung Tanah
Metode Van Der Ween

H (m)	H-B (m) H+3,5B (m)	q_c (kg/cm ²)	q_c (rata-rata)	α	A_p (cm ²)	Q_p (kg)	P cm	β	q_s (kg/cm ²)	Q_s (kg)	Q_u (kg)	Q_u ijin (ton)
3	2.6 4.4	45.0 110.0	77.5	1.5	1256.64	21642.13	251.33	40.00	1.938	7304.28	28946.4	28.9
6	5.6 7.4	190.0 400.0	295.0	1.5	1256.64	82379.73	251.33	40.00	7.375	55606.76	137986.5	138.0
9	8.6 10.4	160.0 220.0	190.0	1.5	1256.64	53058.13	251.33	40.00	4.75	53721.79	106779.9	106.8
12	11.6 13.4	350.0 130.0	240.0	1.5	1256.64	67020.80	251.33	40.00	6	90478.80	157499.6	157.5
15	14.6 16.4	190.0 300.0	245.0	1.5	1256.64	68417.07	251.33	40.00	6.125	115454.72	183871.8	183.9

Tabel 4.53 Perhitungan Daya Dukung Tiang
 $d = 40$ cm
 Tipe tiang pancang Tipe 400 A2

Joint	Pu (t)	Mx (tm)	My (tm)	Hx (t)	Hy (t)	n (buah)	W poer (t)	ΣPu (t)	X max (m)	Y max (m)	Σx^2	Σy^2	P max (t)	eff	Pijin group (t)
1	42.17	23.47	38.65	13.54	6.74	4	9.6	51.8	0.50	0.50	1.00	1.00	44.0	0.758	139.4
9	178.70	75.60	123.98	33.57	22.24	6	14.4	193.1	1.00	0.50	4.00	4.00	88.4	0.677	124.5
17	252.20	75.91	134.52	33.46	22.45	6	14.4	266.6	1.00	0.50	4.00	4.00	103.4	0.677	124.5
25	242.67	75.63	151.08	38.57	22.27	6	14.4	257.1	1.00	0.50	4.00	4.00	105.8	0.677	124.5
33	233.69	76.59	167.03	43.26	22.93	6	14.4	248.1	1.00	0.50	4.00	4.00	108.6	0.677	124.5
41	230.01	75.15	183.46	48.28	21.94	6	14.4	244.4	1.00	0.50	4.00	4.00	111.7	0.677	124.5
49	93.82	21.52	66.92	21.98	8.46	4	9.6	103.4	1.00	0.50	4.00	4.00	49.8	0.677	124.5
73	274.00	16.89	55.96	23.39	4.30	6	14.4	288.4	1.00	0.50	4.00	4.00	67.7	0.677	124.5
81	323.36	17.87	62.03	25.90	6.48	6	14.4	337.8	1.00	0.50	4.00	4.00	77.8	0.677	124.5
89	319.93	18.26	68.28	28.52	6.75	6	14.4	334.3	1.00	0.50	4.00	4.00	78.9	0.677	124.5
97	332.08	17.72	73.93	30.73	6.38	6	14.4	346.5	1.00	0.50	4.00	4.00	82.1	0.677	124.5
105	269.27	15.30	76.81	31.07	6.26	6	14.4	283.7	1.00	0.50	4.00	4.00	71.6	0.677	124.5
113	203.97	10.93	39.61	16.73	2.28	4	9.6	213.6	0.50	0.50	1.00	1.00	78.7	0.688	126.5
121	451.97	34.45	135.64	42.79	9.64	6	14.4	466.4	1.00	0.50	4.00	4.00	123.1	0.677	124.5
129	439.25	35.15	150.63	47.88	10.12	6	14.4	453.6	1.00	0.50	4.00	4.00	125.0	0.688	126.5
137	454.01	34.06	156.53	47.18	9.37	8	19.2	473.2	1.50	1.50	10.00	10.00	116.7	0.697	128.2
145	463.09	34.66	172.38	51.79	9.78	8	19.2	477.5	1.00	0.50	4.00	4.00	122.7	0.677	124.5
153	486.59	33.98	189.71	57.44	9.32	8	19.2	505.8	1.50	1.50	10.00	10.00	91.7	0.697	128.2
161	290.68	8.86	64.88	25.35	3.91	4	9.6	300.3	0.50	0.50	1.00	1.00	107.5	0.785	144.4
321	262.13	14.29	49.54	21.40	6.65	4	9.6	271.7	0.50	0.50	1.00	1.00	92.7	0.785	144.4
323	245.46	11.58	50.62	20.64	5.82	4	9.6	255.1	0.50	0.50	1.00	1.00	89.1	0.785	144.4
329	27.69	6.05	43.05	19.39	0.58	2	4.8	32.5	0.50	0.00	0.50	0.00	59.3	0.879	161.6
330	41.15	7.54	46.97	20.43	3.12	2	4.8	45.9	0.50	0.00	0.50	0.00	69.9	0.879	161.6
331	30.89	6.56	51.81	22.10	3.97	2	4.8	35.7	0.50	0.00	0.50	0.00	69.7	0.879	161.6
360	112.05	57.87	126.31	43.62	12.78	4	9.6	121.7	0.50	0.50	1.00	1.00	93.6	0.785	144.4
361	218.56	17.32	46.13	17.83	3.51	4	9.6	228.2	0.50	0.50	1.00	1.00	80.1	0.785	144.4

Perencanaan Poer

$$m = 11.765$$

$$p \text{ min} = 0.0047$$

Tabel 4.54 Penulangan Poer Arah X

Joint	Pu (t)	Dimensi Poer (m)	Kontrol Geser Pons		Mu (tm)	Mu (Nmm)	Rn	p pakai	As perlu	Dipasang	s (mm)
1	42.17	2 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	85.60	8.56E+08	0.672	0.0047	8330	20 D-25	109.4
9	178.70	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	168.66	1.69E+09	0.882	0.0047	12495	26 D-25	110.0
17	252.20	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	198.63	1.99E+09	1.039	0.0047	12495	26 D-25	110.0
25	242.67	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	203.55	2.04E+09	1.065	0.0047	12495	26 D-25	110.0
33	233.69	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	209.17	2.09E+09	1.094	0.0047	12495	26 D-25	110.0
41	230.01	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	215.20	2.15E+09	1.126	0.0047	12495	26 D-25	110.0
49	93.82	2 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	95.91	9.59E+08	0.502	0.0047	12495	26 D-25	110.0
73	274.00	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	127.27	1.27E+09	0.666	0.0047	12495	26 D-25	110.0
81	323.36	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	147.42	1.47E+09	0.771	0.0047	12495	26 D-25	110.0
89	319.93	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	149.66	1.50E+09	0.783	0.0047	12495	26 D-25	110.0
97	332.08	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	156.17	1.56E+09	0.817	0.0047	12495	26 D-25	110.0
105	269.27	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	135.06	1.35E+09	0.706	0.0047	12495	26 D-25	110.0
113	203.97	2 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	154.32	1.54E+09	0.969	0.0047	10413	17 D-25	138.8
121	451.97	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	238.14	2.38E+09	1.246	0.0047	12495	26 D-25	110.0
129	439.25	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	241.86	2.42E+09	1.265	0.0047	12495	26 D-25	110.0
137	454.01	4 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	225.88	2.26E+09	0.886	0.0047	16660	35 D-25	110.3
145	463.09	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	237.25	2.37E+09	1.241	0.0047	12495	26 D-25	110.0
153	486.59	4 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	178.56	1.79E+09	0.701	0.0047	16660	35 D-25	110.3
161	290.68	2 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	213.82	2.14E+09	3.355	0.0120	10743	10 D-25	107.5
321	262.13	2 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	184.20	1.84E+09	2.891	0.0103	9152	10 D-25	107.5
323	245.46	2 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	176.95	1.77E+09	2.777	0.0098	8768	10 D-25	107.5
329	27.69	2 x 1 x 1	2.72E+06	272.29	117.39	1.17E+09	1.842	0.0064	5694	10 D-25	107.5
330	41.15	2 x 1 x 1	2.72E+06	272.29	138.68	1.39E+09	2.18	0.0076	6777	10 D-25	107.5
331	30.89	2 x 1 x 1	2.72E+06	272.29	138.11	1.38E+09	2.17	0.0076	6748	10 D-25	107.5
360	112.05	2 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	184.73	1.85E+09	1.45	0.0050	8884	17 D-25	103.3
361	218.56	2 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	157.81	1.58E+09	1.24	0.0047	8330	17 D-25	109.4



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

Tabel 4.55 Penulangan Poer Arah Y

Joint	Pu (t)	Dimensi Poer (m)	Kontrol Geser Poer		Mu (tm)	Mu (Nmm)	Rn	ρ pakai	As perlu	Dipasang
			φ Vc (N)	φ Vc (t)						
1	42.17	2 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	19.60	1.96E+08	0.154	0.0047	8330	20 D-25
9	178.70	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	41.79	4.18E+08	0.328	0.0047	8330	20 D-25
17	252.20	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	49.28	4.93E+08	0.387	0.0047	8330	20 D-25
25	242.67	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	50.51	5.05E+08	0.396	0.0047	8330	20 D-25
33	233.69	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	51.92	5.19E+08	0.407	0.0047	8330	20 D-25
41	230.01	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	53.43	5.34E+08	0.419	0.0047	8330	20 D-25
49	93.82	2 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	22.48	2.25E+08	0.176	0.0047	8330	20 D-25
73	274.00	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	31.44	3.14E+08	0.247	0.0047	8330	20 D-25
81	323.36	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	36.48	3.65E+08	0.286	0.0047	8330	20 D-25
89	319.93	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	37.04	3.70E+08	0.291	0.0047	8330	20 D-25
97	332.08	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	38.67	3.87E+08	0.303	0.0047	8330	20 D-25
105	269.27	3 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	33.39	3.34E+08	0.262	0.0047	8330	20 D-25
113	203.97	2 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	36.93	3.69E+08	0.290	0.0047	8330	17 D-25
121	451.97	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	59.16	5.92E+08	0.464	0.0047	8330	17 D-25
129	439.25	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	60.09	6.01E+08	0.471	0.0047	8330	17 D-25
137	454.01	4 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	55.95	5.59E+08	0.439	0.0047	8330	17 D-25
145	463.09	3 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	58.94	5.89E+08	0.462	0.0047	8330	10 D-25
153	486.59	4 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	43.44	4.34E+08	0.341	0.0047	8330	10 D-25
161	290.68	2 x 2 x 1	3.11E+06	311.39	51.35	5.14E+08	0.403	0.0120	8330	10 D-25
321	262.13	2 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	43.95	4.40E+08	0.345	0.0103	8330	10 D-25
323	245.46	2 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	42.14	4.21E+08	0.331	0.0098	8330	10 D-25
329	27.69	2 x 1 x 1	2.72E+06	272.29	28.45	2.84E+08	0.446	0.0064	4165	10 D-25
330	41.15	2 x 1 x 1	2.72E+06	272.29	33.77	3.38E+08	0.53	0.0076	4165	10 D-25
331	30.89	2 x 1 x 1	2.72E+06	272.29	33.63	3.36E+08	0.53	0.0076	4165	10 D-25
360	112.05	2 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	44.38	4.44E+08	0.35	0.0050	8330	10 D-25
361	218.56	2 x 2 x 1	2.72E+06	272.29	37.65	3.77E+08	0.30	0.0047	8330	10 D-25

Pu (t)	10% Pu (t)	10% Pu (N)	fr (MPa)	Mu (kgm)	Mu (Nmm)	ky	kx	p	As	Dipakai
42.17	4.22	4.22E+04	0.22	28.224	2.82E+01	0.18	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
178.70	17.87	1.79E+05	0.93	28.224	2.82E+01	0.74	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
252.20	25.22	2.52E+05	1.31	28.224	2.82E+01	1.05	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
242.67	24.27	2.43E+05	1.26	28.224	2.82E+01	1.01	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
233.69	23.37	2.34E+05	1.22	28.224	2.82E+01	0.97	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
230.01	23.00	2.30E+05	1.20	28.224	2.82E+01	0.96	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
93.82	9.38	9.38E+04	0.49	28.224	2.82E+01	0.39	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
274.00	27.40	2.74E+05	1.43	28.224	2.82E+01	1.14	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
323.36	32.34	3.23E+05	1.68	28.224	2.82E+01	1.35	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
319.93	31.99	3.20E+05	1.67	28.224	2.82E+01	1.33	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
332.08	33.21	3.32E+05	1.73	28.224	2.82E+01	1.38	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
269.27	26.93	2.69E+05	1.40	28.224	2.82E+01	1.12	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
203.97	20.40	2.04E+05	1.06	28.224	2.82E+01	0.85	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
451.97	45.20	4.52E+05	2.35	28.224	2.82E+01	1.88	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
439.25	43.92	4.39E+05	2.29	28.224	2.82E+01	1.83	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
454.01	45.40	4.54E+05	2.36	28.224	2.82E+01	1.89	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
463.09	46.31	4.63E+05	2.41	28.224	2.82E+01	1.93	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
486.59	48.66	4.87E+05	2.53	28.224	2.82E+01	2.03	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
290.68	29.07	2.91E+05	1.51	28.224	2.82E+01	1.21	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
262.13	26.21	2.62E+05	1.37	28.224	2.82E+01	1.09	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
245.46	24.55	2.45E+05	1.28	28.224	2.82E+01	1.02	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
27.69	2.77	2.77E+04	0.14	28.224	2.82E+01	0.12	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
41.15	4.11	4.11E+04	0.21	28.224	2.82E+01	0.17	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
30.89	3.09	3.09E+04	0.16	28.224	2.82E+01	0.13	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
112.05	11.21	1.12E+05	0.58	28.224	2.82E+01	0.47	0.002	0.010	2400.0	5 D-25
218.56	21.86	2.19E+05	1.14	28.224	2.82E+01	0.91	0.002	0.010	2400.0	5 D-25

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 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 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.

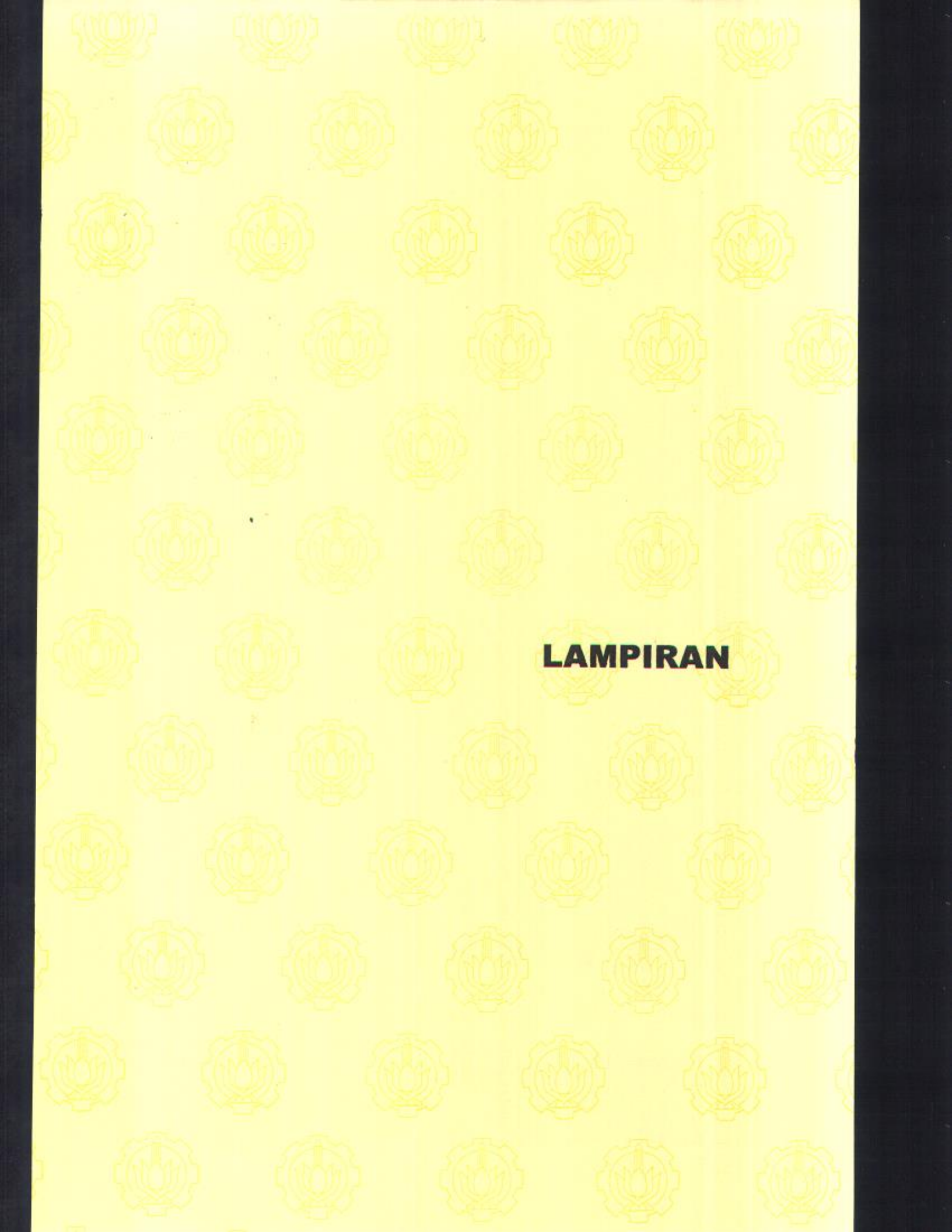
5.2 Saran

- (1). 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.
- (2). 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

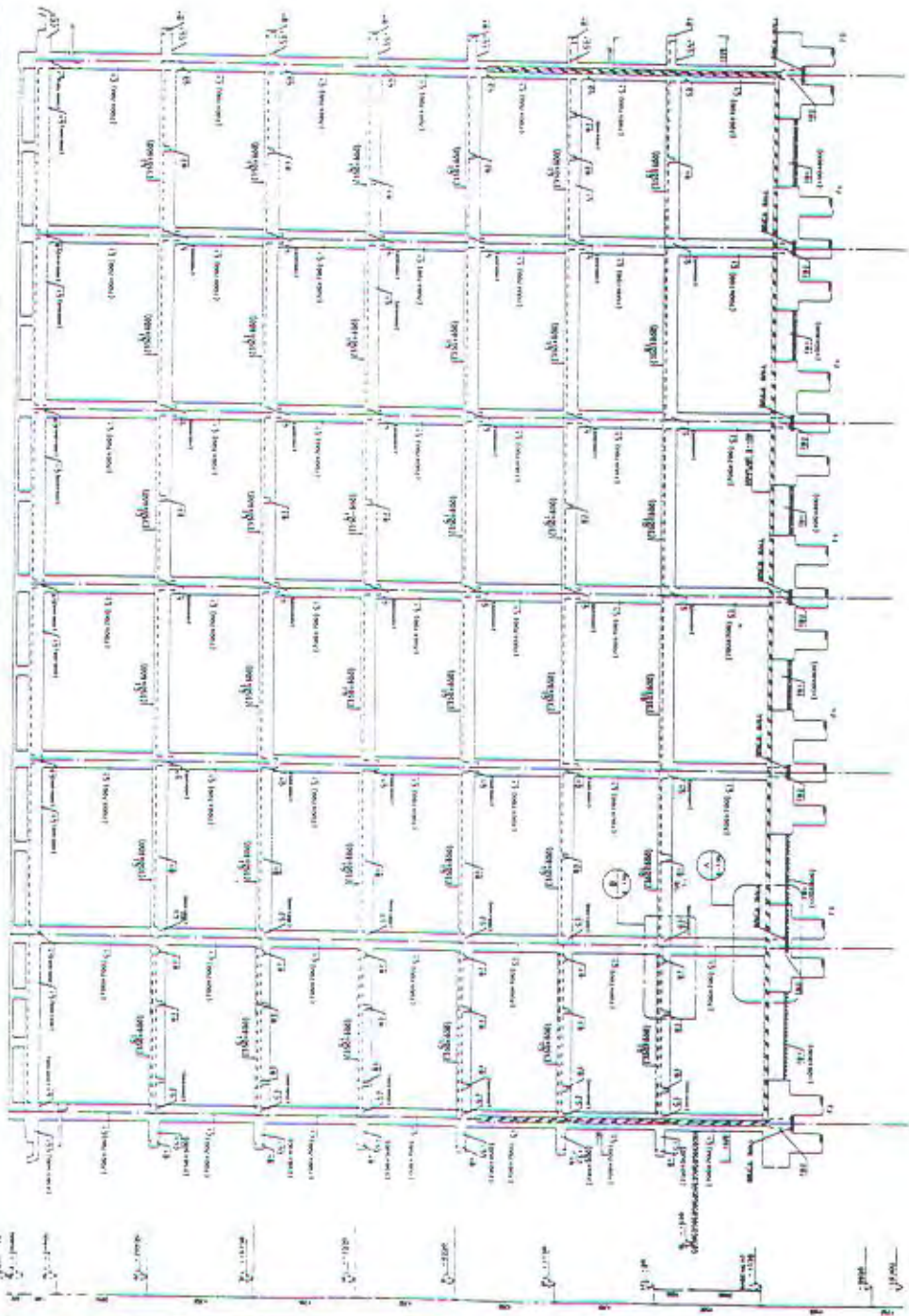
DAFTAR PUSTAKA

- 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 Andriono, 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 4th 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.

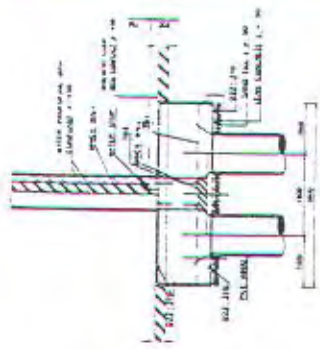


LAMPIRAN

LAMPIRAN A
DATA-DATA GEDUNG



FRAME ELEVATION AS Y-0
SCALE 1:100



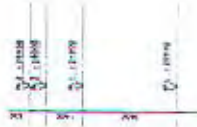
DE (A)
SCALE 1:50

PROJECT 10
FACULTY OF
FORE STORY
BUILDING OF LABORATORIES

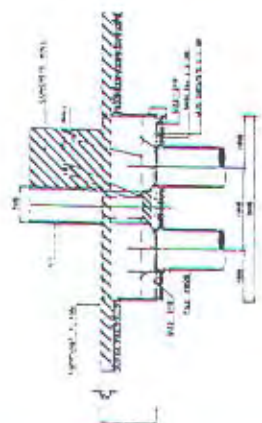
FRAME ELEVATION
AS Y-0

SCALE 1:100
DATE 10/10/2020
BY 10/10/2020

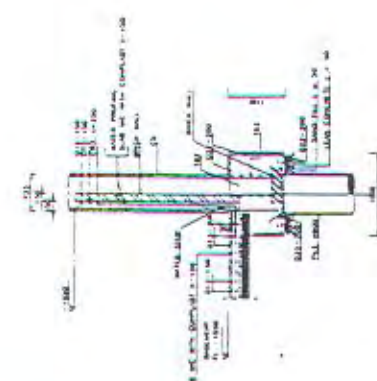
NOTES:
1. ALL DIMENSIONS ARE IN METERS
2. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
3. MATERIALS TO BE USED



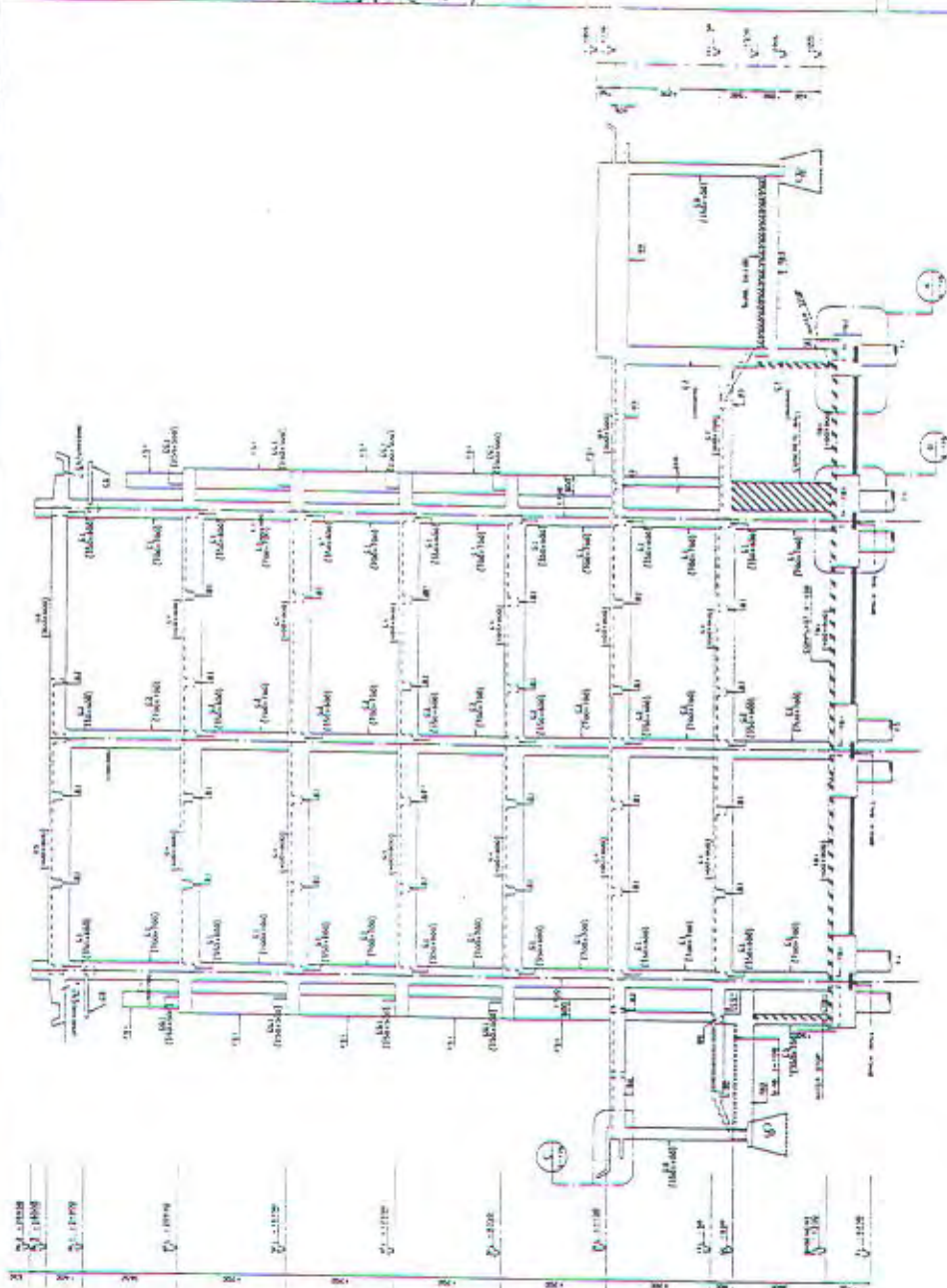
DETAILED
SCALE 1/20



DETAILED
SCALE 1/20



DETAILED
SCALE 1/20



FRAME ELEVATION AXIS X-2
SCALE 1/100

NOTES
1. ALL DIMENSIONS ARE IN METERS
2. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
3. MATERIALS SPECIFIED

FACULTY OF
FORESTRY
(BUILDING LABORATORIES)

FRAME ELEVATION
AS X-2

DATE: 1978
BY: [Signature]
NOTED

ITEM	QUANTITY	UNIT	PRICE	TOTAL
1. CONCRETE	1.00	m ³	10.00	10.00
2. REINFORCEMENT	1.00	m ³	10.00	10.00
3. FORMWORK	1.00	m ²	10.00	10.00
4. LABOR	1.00	hr	10.00	10.00
5. MATERIALS	1.00	kg	10.00	10.00
6. TRANSPORT	1.00	km	10.00	10.00
7. UTILITIES	1.00	hr	10.00	10.00
8. INSURANCE	1.00	hr	10.00	10.00
9. TAXES	1.00	hr	10.00	10.00
10. TOTAL				100.00



SHOP DRAWING



GADJAH MADA UNIVERSITY
DEVELOPMENT PROJECT
(GMP LIVING NO. 1000)

DATE: 10/10/2018
BY: [Signature]
CHECKED: [Signature]
APPROVED: [Signature]

PROJECT: GADJAH MADA UNIVERSITY
DEVELOPMENT PROJECT
(GMP LIVING NO. 1000)

CONSTRUCTION OF BUILDING FOR
FACULTY OF
FORESTRY

STRUCTURAL WORKS
BOTTOM REINFORCEMENT
SLAB 1ST FLOOR PLAN
(WIRE MESH MODULE)
(SHEET 2)

PT. WILAYA BARTYA
Building Construction Division

DATE: 10/10/2018
BY: [Signature]
CHECKED: [Signature]
APPROVED: [Signature]

CONSTRUCTION OF BUILDING FOR
FACULTY OF
FORESTRY

STRUCTURAL WORKS
BOTTOM REINFORCEMENT
SLAB 1ST FLOOR PLAN
(WIRE MESH MODULE)
(SHEET 2)

PT. WILAYA BARTYA
Building Construction Division

DATE: 10/10/2018
BY: [Signature]
CHECKED: [Signature]
APPROVED: [Signature]

CONSTRUCTION OF BUILDING FOR
FACULTY OF
FORESTRY

STRUCTURAL WORKS
BOTTOM REINFORCEMENT
SLAB 1ST FLOOR PLAN
(WIRE MESH MODULE)
(SHEET 2)

PT. WILAYA BARTYA
Building Construction Division

DATE: 10/10/2018
BY: [Signature]
CHECKED: [Signature]
APPROVED: [Signature]

CONSTRUCTION OF BUILDING FOR
FACULTY OF
FORESTRY

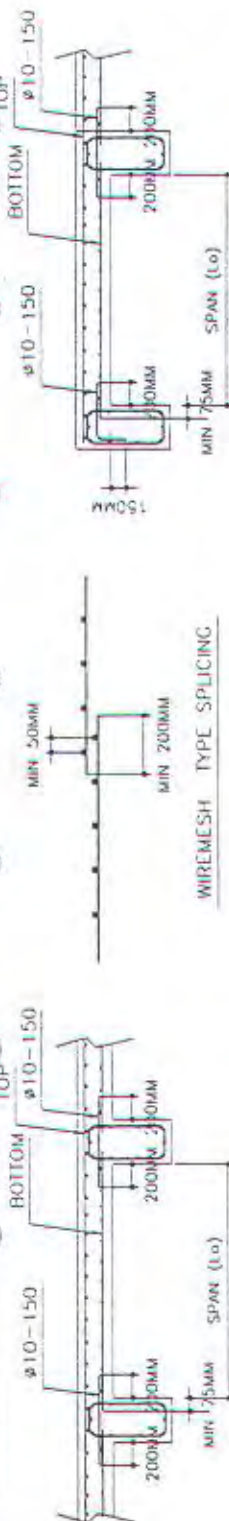
STRUCTURAL WORKS
BOTTOM REINFORCEMENT
SLAB 1ST FLOOR PLAN
(WIRE MESH MODULE)
(SHEET 2)

PT. WILAYA BARTYA
Building Construction Division

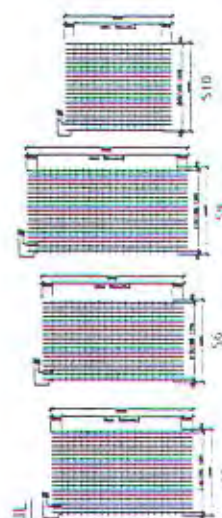
DATE: 10/10/2018
BY: [Signature]
CHECKED: [Signature]
APPROVED: [Signature]



NOTES :

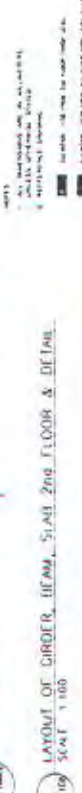


MID SECTION WIREMESH PLACING DETAIL



END SECTION WIREMESH PLACING DETAIL

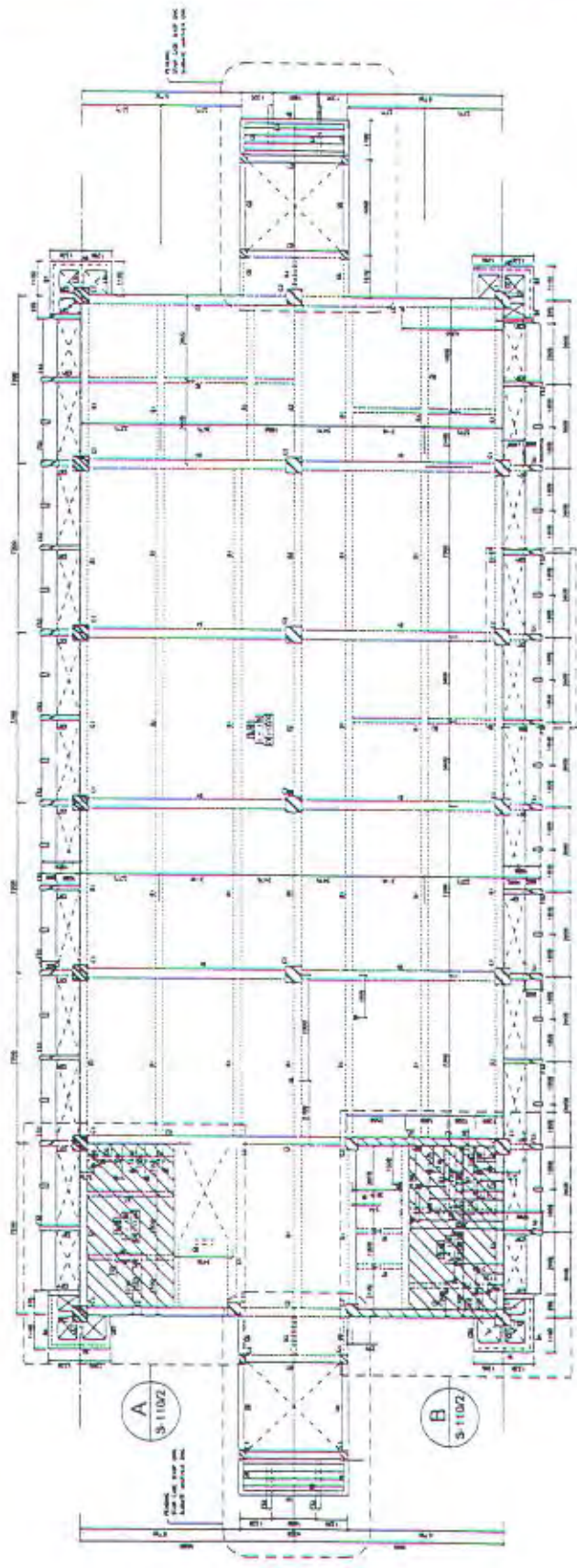


[illegible]

COLUMN SCHEDULE					SCREEN SCHEDULE				
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Screen	Size
									
1/2" x 1/2" 1/4" x 1/4" 1/8" x 1/8" 1/16" x 1/16" 1/32" x 1/32" 1/64" x 1/64" 1/128" x 1/128" 1/256" x 1/256" 1/512" x 1/512" 1/1024" x 1/1024" 1/2048" x 1/2048" 1/4096" x 1/4096" 1/8192" x 1/8192" 1/16384" x 1/16384" 1/32768" x 1/32768" 1/65536" x 1/65536" 1/131072" x 1/131072" 1/262144" x 1/262144" 1/524288" x 1/524288" 1/1048576" x 1/1048576" 1/2097152" x 1/2097152" 1/4194304" x 1/4194304" 1/8388608" x 1/8388608" 1/16777216" x 1/16777216" 1/33554432" x 1/33554432" 1/67108864" x 1/67108864" 1/134217728" x 1/134217728" 1/268435456" x 1/268435456" 1/536870912" x 1/536870912" 1/1073741824" x 1/1073741824" 1/2147483648" x 1/2147483648" 1/4294967296" x 1/4294967296" 1/8589934592" x 1/8589934592" 1/17179869184" x 1/17179869184" 1/34359738368" x 1/34359738368" 1/68719476736" x 1/68719476736" 1/137438953472" x 1/137438953472" 1/274877906944" x 1/274877906944" 1/549755813888" x 1/549755813888" 1/1099511627776" x 1/1099511627776" 1/2199023255552" x 1/2199023255552" 1/4398046511104" x 1/4398046511104" 1/8796093022208" x 1/8796093022208" 1/17592186044416" x 1/17592186044416" 1/35184372088832" x 1/35184372088832" 1/70368744177664" x 1/70368744177664" 1/140737488355328" x 1/140737488355328" 1/281474976710656" x 1/281474976710656" 1/562949953421312" x 1/562949953421312" 1/1125899906842624" x 1/1125899906842624" 1/2251799813685248" x 1/2251799813685248" 1/4503599627370496" x 1/4503599627370496" 1/9007199254740992" x 1/9007199254740992" 1/18014398509481984" x 1/18014398509481984" 1/36028797018963968" x 1/36028797018963968" 1/72057594037927936" x 1/72057594037927936" 1/144115188075855872" x 1/144115188075855872" 1/288230376151711744" x 1/288230376151711744" 1/576460752303423488" x 1/576460752303423488" 1/1152921504606846976" x 1/1152921504606846976" 1/2305843009213693952" x 1/2305843009213693952" 1/4611686018427387904" x 1/4611686018427387904" 1/9223372036854775808" x 1/9223372036854775808" 1/18446744073709551616" x 1/18446744073709551616" 1/36893488147419103232" x 1/36893488147419103232" 1/73786976294838206464" x 1/73786976294838206464" 1/147573952589676412928" x 1/147573952589676412928" 1/295147905179352825856" x 1/295147905179352825856" 1/590295810358705651712" x 1/590295810358705651712" 1/1180591620717411303424" x 1/1180591620717411303424" 1/2361183241434822606848" x 1/2361183241434822606848" 1/4722366482869645213696" x 1/4722366482869645213696" 1/9444732965739290427392" x 1/9444732965739290427392" 1/18889465931478580854784" x 1/18889465931478580854784" 1/37778931862957161709568" x 1/37778931862957161709568" 1/75557863725914323419136" x 1/75557863725914323419136" 1/151115727451828646838272" x 1/151115727451828646838272" 1/302231454903657293676544" x 1/302231454903657293676544" 1/604462909807314587353088" x 1/604462909807314587353088" 1/1208925819614629174706176" x 1/1208925819614629174706176" 1/2417851639229258349412352" x 1/2417851639229258349412352" 1/4835703278458516698824704" x 1/4835703278458516698824704" 1/9671406556917033397649408" x 1/9671406556917033397649408" 1/19342813113834066795298816" x 1/19342813113834066795298816" 1/38685626227668133590597632" x 1/38685626227668133590597632" 1/77371252455336267181195264" x 1/77371252455336267181195264" 1/154742504910672534362390528" x 1/154742504910672534362390528" 1/309485009821345068724781056" x 1/309485009821345068724781									

THE BEAM, GIRDER & BEAM SCHEDULE

[illegible]



C
S-1102

3-1102
A
S-1102

B
S-1102

3-1102
A
S-1102

COLUMN SCHEDULE

Column	2nd - 5th FLOOR	2nd - 5th FLOOR	2nd - 5th FLOOR
C1	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C2	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C3	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C4	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C5	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C6	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C7	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C8	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C9	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C10	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C11	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C12	300 x 300	300 x 300	300 x 300
C13	300 x 300	300 x 300	300 x 300

BEAM, GIRDER & SLAB SCHEDULE

Beam/Girder/Slab	2nd - 5th FLOOR	2nd - 5th FLOOR	2nd - 5th FLOOR
G1	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G2	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G3	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G4	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G5	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G6	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G7	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G8	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G9	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G10	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G11	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G12	300 x 300	300 x 300	300 x 300
G13	300 x 300	300 x 300	300 x 300



PROJECT NO. 3-1102
DATE: 10/10/2023
DRAWN BY: [Name]
CHECKED BY: [Name]
APPROVED BY: [Name]

STOP DRAWING

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

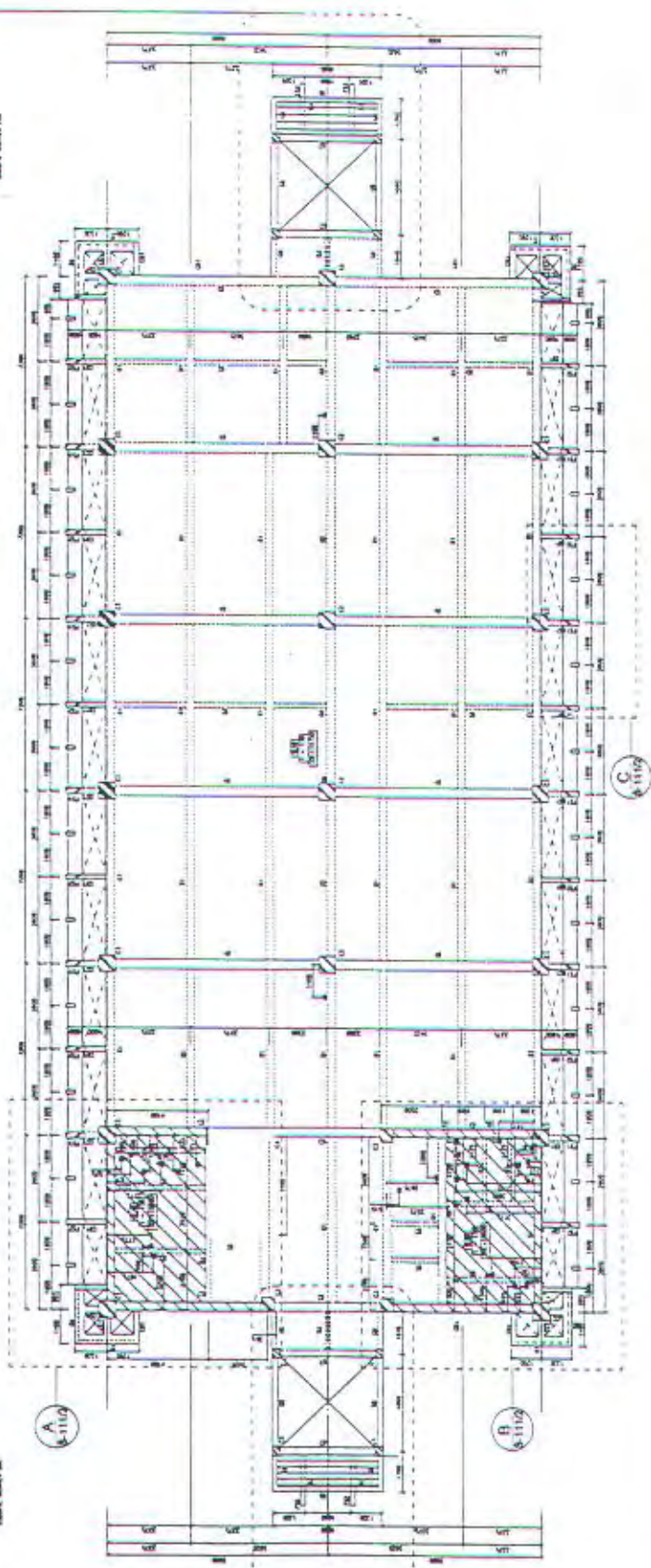
PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division



ALL-SCALE 1/100
LAYOUT OF GIRDER, BEAM & SLAB 5th FLOOR

[illegible][illegible]

THE BEAM & BEAM SCHEDULE

[illegible]

SHOP DRAWING:



Q101	At 1000 Hz, the phase shift is	1000 Hz
Q102	At 1000 Hz, the phase shift is	1000 Hz

$\frac{1}{2} \log \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log \frac{1}{2} = -1$

1. $\frac{1}{2}$ of the total population is 100,000.

100



PT. WIJAYA KARYA
Building Construction Division

Case No.	Case Name	Case Description	Case Status
1	Case 1	Case 1 Description	Case 1 Status
2	Case 2	Case 2 Description	Case 2 Status
3	Case 3	Case 3 Description	Case 3 Status
4	Case 4	Case 4 Description	Case 4 Status
5	Case 5	Case 5 Description	Case 5 Status
6	Case 6	Case 6 Description	Case 6 Status
7	Case 7	Case 7 Description	Case 7 Status
8	Case 8	Case 8 Description	Case 8 Status
9	Case 9	Case 9 Description	Case 9 Status
10	Case 10	Case 10 Description	Case 10 Status

CONSTRUCTION OF BUILDING FOR
FACULTY OF
FORESTRY

STRUCTURAL WORKS
LAYOUT OF GIRDER, BEAM
AND SCHEDULE BEAM
SLAB 5TH FLOOR

[illegible]

1. <i>Adiantum</i>	2. <i>Adiantum</i>	3. <i>Adiantum</i>	4. <i>Adiantum</i>	5. <i>Adiantum</i>	6. <i>Adiantum</i>	7. <i>Adiantum</i>	8. <i>Adiantum</i>	9. <i>Adiantum</i>	10. <i>Adiantum</i>	11. <i>Adiantum</i>	12. <i>Adiantum</i>	13. <i>Adiantum</i>	14. <i>Adiantum</i>	15. <i>Adiantum</i>	16. <i>Adiantum</i>	17. <i>Adiantum</i>	18. <i>Adiantum</i>	19. <i>Adiantum</i>	20. <i>Adiantum</i>	21. <i>Adiantum</i>	22. <i>Adiantum</i>	23. <i>Adiantum</i>	24. <i>Adiantum</i>	25. <i>Adiantum</i>	26. <i>Adiantum</i>	27. <i>Adiantum</i>	28. <i>Adiantum</i>	29. <i>Adiantum</i>	30. <i>Adiantum</i>	31. <i>Adiantum</i>	32. <i>Adiantum</i>	33. <i>Adiantum</i>	34. <i>Adiantum</i>	35. <i>Adiantum</i>	36. <i>Adiantum</i>	37. <i>Adiantum</i>	38. <i>Adiantum</i>	39. <i>Adiantum</i>	40. <i>Adiantum</i>	41. <i>Adiantum</i>	42. <i>Adiantum</i>	43. <i>Adiantum</i>	44. <i>Adiantum</i>	45. <i>Adiantum</i>	46. <i>Adiantum</i>	47. <i>Adiantum</i>	48. <i>Adiantum</i>	49. <i>Adiantum</i>	50. <i>Adiantum</i>	51. <i>Adiantum</i>	52. <i>Adiantum</i>	53. <i>Adiantum</i>	54. <i>Adiantum</i>	55. <i>Adiantum</i>	56. <i>Adiantum</i>	57. <i>Adiantum</i>	58. <i>Adiantum</i>	59. <i>Adiantum</i>	60. <i>Adiantum</i>	61. <i>Adiantum</i>	62. <i>Adiantum</i>	63. <i>Adiantum</i>	64. <i>Adiantum</i>	65. <i>Adiantum</i>	66. <i>Adiantum</i>	67. <i>Adiantum</i>	68. <i>Adiantum</i>	69. <i>Adiantum</i>	70. <i>Adiantum</i>	71. <i>Adiantum</i>	72. <i>Adiantum</i>	73. <i>Adiantum</i>	74. <i>Adiantum</i>	75. <i>Adiantum</i>	76. <i>Adiantum</i>	77. <i>Adiantum</i>	78. <i>Adiantum</i>	79. <i>Adiantum</i>	80. <i>Adiantum</i>	81. <i>Adiantum</i>	82. <i>Adiantum</i>	83. <i>Adiantum</i>	84. <i>Adiantum</i>	85. <i>Adiantum</i>	86. <i>Adiantum</i>	87. <i>Adiantum</i>	88. <i>Adiantum</i>	89. <i>Adiantum</i>	90. <i>Adiantum</i>	91. <i>Adiantum</i>	92. <i>Adiantum</i>	93. <i>Adiantum</i>	94. <i>Adiantum</i>	95. <i>Adiantum</i>	96. <i>Adiantum</i>	97. <i>Adiantum</i>	98. <i>Adiantum</i>	99. <i>Adiantum</i>	100. <i>Adiantum</i>
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------



THE BEAM & BEAM SCHEDULE	
Beam	Schedule
01	01
02	02
03	03
04	04
05	05
06	06
07	07
08	08
09	09
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100



SLAB 2ND FLOOR
SHEET 1

1000

LAMPIRAN B
PERENCANAAN PELAT

Ikhtisar momen-momen dan gaya-gaya melintang menurut Pasal 13.2
akibat beban terbagi rata

Momen = Koefisien $\times ql^2$
Gaya melintang = Koefisien $\times ql$



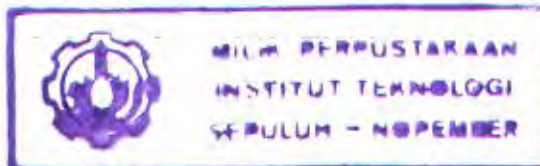
LUAS PENAMPANG TULANGAN BAJA PER METER PANJANG PLAT

diameter batang (mm)	Luas Penampang (mm²)								
	Jarak Spasi p.k.p (mm)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
6	585,5	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	142,6	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	2010,6	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	1258,6	1047,2	897,5	785,4	698,1
22		3801,3	2534,2	1900,7	1520,5	1257,1	1066,1	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	2251,9
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

Momen di dalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya
akibat beban terbagi rata

		l_y/l_x		aktual beban terbagi rata																	
				1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5	
I		Mlx	= + 0.001 qlx ² X	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125	
	Mly	= + 0.001 qlx ² X	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25		
II		Mlx	= + 0.001 qlx ² X	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42	
	Mly	= + 0.001 qlx ² X	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8	8	
		Mlx	= - 0.001 qlx ² X	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	
	Mly	= - 0.001 qlx ² X	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	
III		Mlx	= + 0.001 qlx ² X	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63	
	Mtx	= + 0.001 qlx ² X	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13	13	
		Mtx	= - 0.001 qlx ² X	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125	
	Mty	= - 0.001 qlx ² X	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79	79	
IVA		Mlx	= + 0.001 qlx ² X	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
	Mly	= + 0.001 qlx ² X	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25	25	
		Mty	= - 0.001 qlx ² X	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	125	
	Mlx	= + 0.001 qlx ² X	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
IVB		Mly	= + 0.001 qlx ² X	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	8	8	
	Mtx	= - 0.001 qlx ² X	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83	
VA		Mtx	= + 0.001 qlx ² X	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
	Mly	= + 0.001 qlx ² X	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25	25	
		mtx	= - 0.001 qlx ² X	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125	
	Mlx	= + 0.001 qlx ² X	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63	63	
VB		Mly	= + 0.001 qlx ² X	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13	
	Mtx	= - 0.001 qlx ² X	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	123	124	125	
VIA		Mlx	= + 0.001 qlx ² X	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63	
	Mly	= + 0.001 qlx ² X	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13	13	
		Mtx	= - 0.001 qlx ² X	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125	
	Mty	= - 0.001 qlx ² X	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79	79	
VIB		Mlx	= + 0.001 qlx ² X	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	
	Mly	= + 0.001 qlx ² X	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	10	10	10	10	10	8	8	
		Mtx	= - 0.001 qlx ² X	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	
	Mty	= - 0.001 qlx ² X	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	

— = Terletak bebas
— = Terjepit penuh



Momen di dalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya
akibat beban terbagi rata

		l_y/l_x	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5
I		$(M_{lx}) = 0.001 q l x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125
		$(M_{ly}) = 0.001 q l x^2 X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	34	32	32
II		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0.001 q l x^2 X$	36	42	46	50	53	56	58	59	60	61	62	62	62	63	63	63	63
		$(M_{ly}) = - (M_{ty}) = 0.001 q l x^2 X$	36	37	38	38	38	37	36	36	35	35	35	34	34	34	34	34	34
III		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0.001 q l x^2 X$	48	55	61	67	71	76	79	82	84	86	88	89	90	91	92	92	94
		$(M_{ly}) = - (M_{ty}) = 0.001 q l x^2 X$	48	50	51	51	51	51	51	50	50	49	49	49	49	48	48	47	47
IVA		$(M_{lx}) = 0.001 q l x^2 X$	22	28	34	41	48	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125
		$(M_{ly}) = 0.001 q l x^2 X$	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79
IVB		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0.001 q l x^2 X$	51	57	62	67	70	73	75	77	78	79	79	79	79	79	79	79	75
		$(M_{ly}) = - (M_{ty}) = 0.001 q l x^2 X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	9
VA		$(M_{lx}) = 0.001 q l x^2 X$	31	38	45	53	59	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125
		$(M_{ly}) = 0.001 q l x^2 X$	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	79
VB		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0.001 q l x^2 X$	60	65	69	73	75	77	78	79	79	80	80	80	79	79	79	79	75
		$(M_{ly}) = - (M_{ty}) = 0.001 q l x^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	12
VIA		$(M_{lx}) = 0.001 q l x^2 X$	38	46	53	59	65	69	73	77	80	83	85	86	87	88	89	90	54
		$(M_{ly}) = 0.001 q l x^2 X$	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	50	49	49	48	48	48
VIB		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0.001 q l x^2 X$	43	46	48	50	51	51	51	51	50	50	50	49	49	48	48	48	56
		$(M_{ly}) = - (M_{ty}) = 0.001 q l x^2 X$	13	48	51	55	57	58	60	61	62	62	62	62	63	63	63	63	63
VIB		$(M_{lx}) = 0.001 q l x^2 X$	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33	33	13
		$(M_{ly}) = 0.001 q l x^2 X$	38	39	38	38	37	36	36	35	35	34	34	34	34	33	33	33	33

— = Terletak bebas
— = Menerus atau terjepit elastis

LAMPIRAN C
PEMBEBANAN

Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai I

Jenis Beban		W (kg)	x (m)	y (m)	W.x (kg.m)	W.y (kg.m)
Beban Lantai 2 - atap		8979475.2	21.06	9.77	189107747.7	87729472.7
Pelat (13 cm)	21*43,2*0,13*2400	283046.4	21.6	10.5	6113802.24	2971987.2
Spesi (2 cm)	21*43,2*0,2*2100	381024	21.6	10.5	8230118.4	4000752
Plafon+penggantung	21*43,2*(7+11)	16329.6	21.6	10.5	352719.36	171460.8
Aspal (1 cm)	21*43,2*0,1*1400	127008	21.6	10.5	2743372.8	1333584
Peralatan M & E	21*43,2*40	36288	21.6	10.5	783820.8	381024
Beban hidup pelat	18*43,2*120	93312	21.6	10.5	2015539.2	979776
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	21.6	0.75	2939328	102060
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	20.25	10.5	2755620	1428840
Balok A	21*0,4*0,6*2400	12096	43.2	10.5	522547.2	127008
Balok C	21*0,4*0,6*2400	12096	36	10.5	435456	127008
Balok D	21*0,4*0,6*2400	12096	28.8	10.5	348364.8	127008
Balok F	21*0,4*0,6*2400	12096	21.6	10.5	261273.6	127008
Balok G	21*0,4*0,6*2400	12096	14.4	10.5	174182.4	127008
Balok I	21*0,4*0,6*2400	12096	7.2	10.5	87091.2	127008
Balok J	21*0,4*0,6*2400	12096	0	10.5	0	127008
Balok l	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	0	537477.12	0
Balok 3	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	6.75	14929.92	27993.6
Balok 4	28,8*0,4*0,6*2400	16588.8	28.8	10.5	477757.44	174182.4
Balok 5	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	12.75	14929.92	52876.8
Balok 7	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	19.5	537477.12	485222.4
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	39.6	15	42768	16200
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	25.2	15	27216	16200
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	25.2	4.875	20412	3948.75
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	10.8	4.875	8748	3948.75
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	4.875	21.6	88452	391910.4
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	6.75	381024	102060
Balok anak 350/500	14,4*0,35*0,5*2400	6048	10.5	7.2	63504	43545.6
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	12.75	381024	192780
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	21.6	16.125	391910.4	292572
Dinding Lift	12,9*0,35*0,5*4*2400	21672	5.1	11.625	110527.2	251937
Kolom A1	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	1.5	103680	3600
Kolom A4	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	10.5	103680	25200
Kolom A7	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	19.5	103680	46800
Kolom C1	4*0,5*0,5*2400	2400	36	1.5	86400	3600
Kolom C4	4*0,5*0,5*2400	2400	36	10.5	86400	25200
Kolom C7	4*0,5*0,5*2400	2400	36	19.5	86400	46800
Kolom D1	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	1.5	69120	3600
Kolom D4	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	10.5	69120	25200
Kolom D7	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	19.5	69120	46800
Kolom F1	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	1.5	51840	3600
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	10.5	51840	25200
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	19.5	51840	46800
Kolom G1	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	1.5	34560	3600
Kolom G4	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	10.5	34560	25200
Kolom G7	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	19.5	34560	46800
Kolom I1	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	1.5	17280	3600
Kolom I3	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	8.25	17280	19800
Kolom I5	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	12.75	17280	30600
Kolom I7	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	19.5	17280	46800
Kolom J1	4*0,5*0,5*2400	2400	0	1.5	0	3600
Kolom J3	4*0,4*0,4*2400	1536	0	8.25	0	12672
Kolom J5	4*0,4*0,4*2400	1536	0	12.75	0	19584
Kolom J7	4*0,5*0,5*2400	2400	0	19.5	0	46800
		10499464.8			2.21E+08	1.03E+08

x= 21.06 m

y= 9.77 m

Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai 2

Jenis Beban		W (kg)	x (m)	y (m)	W.x (kg.m)	W.y (kg.m)
Beban Lantai 3 - atap		7459485.6	21.07	9.77	157171361.6	72879174.31
Pelat (13 cm)	21*43,2*0,13*2400	283046.4	21.6	10.5	6113802.24	2971987.2
Spesi (2 cm)	21*43,2*0,2*2100	381024	21.6	10.5	8230118.4	4000752
Plafon + penggantung	21*43,2*0,7*11	16329.6	21.6	10.5	352719.36	171460.8
Aspal (1 cm)	21*43,2*0,1*1400	127008	21.6	10.5	2743372.8	1333584
Peralatan M & E	21*43,2*40	36288	21.6	10.5	783820.8	381024
Beban hidup pelat	18*43,2*120	93312	21.6	10.5	2015539.2	979776
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	21.6	0.75	2939328	102060
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	20.25	10.5	2755620	1428840
Balok A	21*0,4*0,6*2400	12096	43.2	10.5	522547.2	127008
Balok C	21*0,4*0,6*2400	12096	36	10.5	435456	127008
Balok D	21*0,4*0,6*2400	12096	28.8	10.5	348364.8	127008
Balok F	21*0,4*0,6*2400	12096	21.6	10.5	261273.6	127008
Balok G	21*0,4*0,6*2400	12096	14.4	10.5	174182.4	127008
Balok I	21*0,4*0,6*2400	12096	7.2	10.5	87091.2	127008
Balok J	21*0,4*0,6*2400	12096	0	10.5	0	127008
Balok l	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	0	537477.12	0
Balok 3	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	6.75	14929.92	27993.6
Balok 4	28,8*0,4*0,6*2400	16588.8	28.8	10.5	477757.44	174182.4
Balok 5	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	12.75	14929.92	52876.8
Balok 7	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	19.5	537477.12	485222.4
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	39.6	15	42768	16200
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	25.2	15	27216	16200
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	25.2	4.875	20412	3948.75
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	10.8	4.875	8748	3948.75
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	4.875	21.6	88452	391910.4
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	6.75	381024	102060
Balok anak 350/500	14,4*0,35*0,5*2400	6048	10.5	7.2	63504	43545.6
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	12.75	381024	192780
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	21.6	16.125	391910.4	292572
Dinding Lift	12,9*0,35*0,5*4*2400	21672	5.1	11.625	110527.2	251937
Kolom A1	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	1.5	103680	3600
Kolom A4	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	10.5	103680	25200
Kolom A7	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	19.5	103680	46800
Kolom C1	4*0,5*0,5*2400	2400	36	1.5	86400	3600
Kolom C4	4*0,5*0,5*2400	2400	36	10.5	86400	25200
Kolom C7	4*0,5*0,5*2400	2400	36	19.5	86400	46800
Kolom D1	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	1.5	69120	3600
Kolom D4	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	10.5	69120	25200
Kolom D7	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	19.5	69120	46800
Kolom F1	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	1.5	51840	3600
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	10.5	51840	25200
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	19.5	51840	46800
Kolom G1	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	1.5	34560	3600
Kolom G4	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	10.5	34560	25200
Kolom G7	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	19.5	34560	46800
Kolom I1	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	1.5	17280	3600
Kolom I3	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	8.25	17280	19800
Kolom I5	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	12.75	17280	30600
Kolom I7	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	19.5	17280	46800
Kolom J1	4*0,5*0,5*2400	2400	0	1.5	0	3600
Kolom J3	4*0,4*0,4*2400	1536	0	8.25	0	12672
Kolom J5	4*0,4*0,4*2400	1536	0	12.75	0	19584
Kolom J7	4*0,5*0,5*2400	2400	0	19.5	0	46800
		8979475.2			1.89E+08	87754548

 $x = 21.06 \text{ m}$
 $y = 9.77 \text{ m}$

Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai 3

Jenis Beban		W (kg)	x (m)	y (m)	W x (kg.m)	W y (kg.m)
Beban Lantai 4 - atap		5939496	21.08	9.77	125204575.7	58028875.92
Pelat (13 cm)	21*43,2*0,13*2400	283046.4	21.6	10.5	6113802.24	2971987.2
Spesi (2 cm)	21*43,2*0,2*2100	381024	21.6	10.5	8230118.4	4000752
Plafon+penggantung	21*43,2*(7+11)	16329.6	21.6	10.5	352719.36	171460.8
Aspal (1 cm)	21*43,2*0,1*1400	127008	21.6	10.5	2743372.8	1333584
Peralatan M & E	21*43,2*40	36288	21.6	10.5	783820.8	381024
Beban hidup pelat	18*43,2*120	93312	21.6	10.5	2015539.2	979776
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	21.6	0.75	2939328	102060
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	20.25	10.5	2755620	1428840
Balok A	21*0,4*0,6*2400	12096	43.2	10.5	522547.2	127008
Balok C	21*0,4*0,6*2400	12096	36	10.5	435456	127008
Balok D	21*0,4*0,6*2400	12096	28.8	10.5	348364.8	127008
Balok F	21*0,4*0,6*2400	12096	21.6	10.5	261273.6	127008
Balok G	21*0,4*0,6*2400	12096	14.4	10.5	174182.4	127008
Balok I	21*0,4*0,6*2400	12096	7.2	10.5	87091.2	127008
Balok J	21*0,4*0,6*2400	12096	0	10.5	0	127008
Balok 1	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	0	537477.12	0
Balok 3	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	6.75	14929.92	27993.6
Balok 4	28,8*0,4*0,6*2400	16588.8	28.8	10.5	477757.44	174182.4
Balok 5	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	12.75	14929.92	52876.8
Balok 7	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	19.5	537477.12	485222.4
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	39.6	15	42768	16200
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	25.2	15	27216	16200
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	25.2	4.875	20412	3948.75
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	10.8	4.875	8748	3948.75
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	4.875	21.6	88452	391910.4
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	6.75	381024	102060
Balok anak 350/500	14,4*0,35*0,5*2400	6048	10.5	7.2	63504	43545.6
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	12.75	381024	192780
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	21.6	16.125	391910.4	292572
Dinding Lift	12,9*0,35*0,5*4*2400	21672	5.1	11.625	110527.2	251937
Kolom A1	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	1.5	103680	3600
Kolom A4	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	10.5	103680	25200
Kolom A7	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	19.5	103680	46800
Kolom C1	4*0,5*0,5*2400	2400	36	1.5	86400	3600
Kolom C4	4*0,5*0,5*2400	2400	36	10.5	86400	25200
Kolom C7	4*0,5*0,5*2400	2400	36	19.5	86400	46800
Kolom D1	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	1.5	69120	3600
Kolom D4	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	10.5	69120	25200
Kolom D7	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	19.5	69120	46800
Kolom F1	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	1.5	51840	3600
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	10.5	51840	25200
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	19.5	51840	46800
Kolom G1	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	1.5	34560	3600
Kolom G4	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	10.5	34560	25200
Kolom G7	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	19.5	34560	46800
Kolom I1	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	1.5	17280	3600
Kolom I3	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	8.25	17280	19800
Kolom I5	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	12.75	17280	30600
Kolom I7	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	19.5	17280	46800
Kolom J1	4*0,5*0,5*2400	2400	0	1.5	0	3600
Kolom J3	4*0,4*0,4*2400	1536	0	8.25	0	12672
Kolom J5	4*0,4*0,4*2400	1536	0	12.75	0	19584
Kolom J7	4*0,5*0,5*2400	2400	0	19.5	0	46800
		7459485.6			1.57E+08	72904250

 $x = 21.07 \text{ m}$
 $y = 9.77 \text{ m}$

Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai 4

Jenis Beban		W (kg)	x (m)	y (m)	W.x (kg.m)	W.y (kg.m)
Beban Lantai 5,6, atap		4419506.4	21.1	9.76	93251585.04	43134382.46
Pelat (13 cm)	21*43.2*0.13*2400	283046.4	21.6	10.5	6113802.24	2971987.2
Spesi (2 cm)	21*43.2*0.2*2100	381024	21.6	10.5	8230118.4	4000752
Plafon+penggantung	21*43.2*(7+11)	16329.6	21.6	10.5	352719.36	171460.8
Aspal (1 cm)	21*43.2*0.1*1400	127008	21.6	10.5	2743372.8	1333584
Peralatan M & E	21*43.2*40	36288	21.6	10.5	783820.8	381024
Beban hidup pelat	18*43.2*120	93312	21.6	10.5	2015539.2	979776
Beban hidup kantilever	1.5*43.2*200	136080	21.6	0.75	2939328	102060
Beban hidup kantilever	1.5*43.2*200	136080	20.25	10.5	2755620	1428840
Balok A	21*0.4*0.6*2400	12096	43.2	10.5	522547.2	127008
Balok C	21*0.4*0.6*2400	12096	36	10.5	435456	127008
Balok D	21*0.4*0.6*2400	12096	28.8	10.5	348364.8	127008
Balok E	21*0.4*0.6*2400	12096	21.6	10.5	261273.6	127008
Balok G	21*0.4*0.6*2400	12096	14.4	10.5	174182.4	127008
Balok I	21*0.4*0.6*2400	12096	7.2	10.5	87091.2	127008
Balok J	21*0.4*0.6*2400	12096	0	10.5	0	127008
Balok I	43.2*0.4*0.6*2400	24883.2	21.6	0	537477.12	0
Balok 3	7.2*0.4*0.6*2400	4147.2	3.6	6.75	14929.92	27993.6
Balok 4	28.8*0.4*0.6*2400	16588.8	28.8	10.5	477757.44	174182.4
Balok 5	7.2*0.4*0.6*2400	4147.2	3.6	12.75	14929.92	52876.8
Balok 7	43.2*0.4*0.6*2400	24883.2	21.6	19.5	537477.12	485222.4
Balok anak 200/250	9*0.2*0.25*2400	1080	39.6	15	42768	16200
Balok anak 200/250	9*0.2*0.25*2400	1080	25.2	15	27216	16200
Balok anak 200/250	6.75*0.2*0.25*2400	810	25.2	4.875	20412	3948.75
Balok anak 200/250	6.75*0.2*0.25*2400	810	10.8	4.875	8748	3948.75
Balok anak 350/500	43.2*0.35*0.5*2400	18144	4.875	21.6	88452	391910.4
Balok anak 350/500	36*0.35*0.5*2400	15120	25.2	6.75	381024	102060
Balok anak 350/500	14.4*0.35*0.5*2400	6048	10.5	7.2	63504	43545.6
Balok anak 350/500	36*0.35*0.5*2400	15120	25.2	12.75	381024	192780
Balok anak 350/500	43.2*0.35*0.5*2400	18144	21.6	16.125	391910.4	292572
Dinding Lafi	12.9*0.35*0.5*4*2400	21672	5.1	11.625	110527.2	251937
Kolom A1	4*0.5*0.5*2400	2400	43.2	1.5	103680	3600
Kolom A4	4*0.5*0.5*2400	2400	43.2	10.5	103680	25200
Kolom A7	4*0.5*0.5*2400	2400	43.2	19.5	103680	46800
Kolom C1	4*0.5*0.5*2400	2400	36	1.5	86400	3600
Kolom C4	4*0.5*0.5*2400	2400	36	10.5	86400	25200
Kolom C7	4*0.5*0.5*2400	2400	36	19.5	86400	46800
Kolom D1	4*0.5*0.5*2400	2400	28.8	1.5	69120	3600
Kolom D4	4*0.5*0.5*2400	2400	28.8	10.5	69120	25200
Kolom D7	4*0.5*0.5*2400	2400	28.8	19.5	69120	46800
Kolom F1	4*0.5*0.5*2400	2400	21.6	1.5	51840	3600
Kolom F4	4*0.5*0.5*2400	2400	21.6	10.5	51840	25200
Kolom F4	4*0.5*0.5*2400	2400	21.6	19.5	51840	46800
Kolom G1	4*0.5*0.5*2400	2400	14.4	1.5	34560	3600
Kolom G4	4*0.5*0.5*2400	2400	14.4	10.5	34560	25200
Kolom G7	4*0.5*0.5*2400	2400	14.4	19.5	34560	46800
Kolom I1	4*0.5*0.5*2400	2400	7.2	1.5	17280	3600
Kolom I3	4*0.5*0.5*2400	2400	7.2	8.25	17280	19800
Kolom I5	4*0.5*0.5*2400	2400	7.2	12.75	17280	30600
Kolom I7	4*0.5*0.5*2400	2400	7.2	19.5	17280	46800
Kolom J1	4*0.5*0.5*2400	2400	0	1.5	0	3600
Kolom J3	4*0.4*0.4*2400	1536	0	8.25	0	12672
Kolom J5	4*0.4*0.4*2400	1536	0	12.75	0	19584
Kolom J7	4*0.5*0.5*2400	2400	0	19.5	0	46800
		5939496			1.25E+08	58009756

x= 21.08 m

y= 9.77 m

Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai 5

Jenis Beban		W (kg)	x (m)	y (m)	W x (kg m)	W y (kg m)
Beban Lantai 6. atap		2899516.8	21.14	9.74	61295785.15	28241293.63
Pelat (13 cm)	21*43,2*0,13*2400	283046.4	21.6	10.5	6113802.24	2971987.2
Spesi (2 cm)	21*43,2*0,2*2100	381024	21.6	10.5	8230118.4	4000752
Plafon-penggantung	21*43,2*(7+11)	16329.6	21.6	10.5	352719.36	171460.8
Aspal (1 cm)	21*43,2*0,1*1400	127008	21.6	10.5	2743372.8	1333584
Perniatan M & E	21*43,2*40	36288	21.6	10.5	783820.8	381024
Beban hidup pelat	18*43,2*120	93312	21.6	10.5	2015539.2	979776
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	21.6	0.75	2939328	102060
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	20.25	10.5	2755620	1428840
Balok A	21*0,4*0,6*2400	12096	43.2	10.5	522547.2	127008
Balok C	21*0,4*0,6*2400	12096	36	10.5	435456	127008
Balok D	21*0,4*0,6*2400	12096	28.8	10.5	348364.8	127008
Balok F	21*0,4*0,6*2400	12096	21.6	10.5	261273.6	127008
Balok G	21*0,4*0,6*2400	12096	14.4	10.5	174182.4	127008
Balok I	21*0,4*0,6*2400	12096	7.2	10.5	87091.2	127008
Balok J	21*0,4*0,6*2400	12096	0	10.5	0	127008
Balok 1	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	0	537477.12	0
Balok 3	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	6.75	14929.92	27993.6
Balok 4	28,8*0,4*0,6*2400	16588.8	28.8	10.5	477757.44	174182.4
Balok 5	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	12.75	14929.92	52876.8
Balok 7	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	19.5	537477.12	485222.4
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	39.6	15	42768	16200
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	25.2	15	27216	16200
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	25.2	4.875	20412	3948.75
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	10.8	4.875	8748	3948.75
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	4.875	21.6	88452	391910.4
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	6.75	381024	102060
Balok anak 350/500	14,4*0,35*0,5*2400	6048	10.5	7.2	63504	43545.6
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	12.75	381024	192780
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	21.6	16.125	391910.4	292572
Dinding Lift	12,9*0,35*0,5*4*2400	21672	5.1	11.625	110527.2	251937
Kolom A1	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	1.5	103680	3600
Kolom A4	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	10.5	103680	25200
Kolom A7	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	19.5	103680	46800
Kolom C1	4*0,5*0,5*2400	2400	36	1.5	86400	3600
Kolom C4	4*0,5*0,5*2400	2400	36	10.5	86400	25200
Kolom C7	4*0,5*0,5*2400	2400	36	19.5	86400	46800
Kolom D1	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	1.5	69120	3600
Kolom D4	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	10.5	69120	25200
Kolom D7	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	19.5	69120	46800
Kolom F1	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	1.5	51840	3600
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	10.5	51840	25200
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	19.5	51840	46800
Kolom G1	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	1.5	34560	3600
Kolom G4	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	10.5	34560	25200
Kolom G7	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	19.5	34560	46800
Kolom I1	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	1.5	17280	3600
Kolom I3	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	8.25	17280	19800
Kolom I5	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	12.75	17280	30600
Kolom I7	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	19.5	17280	46800
Kolom J1	4*0,5*0,5*2400	2400	0	1.5	0	3600
Kolom J3	4*0,4*0,4*2400	1536	0	8.25	0	12672
Kolom J5	4*0,4*0,4*2400	1536	0	12.75	0	19584
Kolom J7	4*0,5*0,5*2400	2400	0	19.5	0	46800
		4419506.4			93263098	43116667

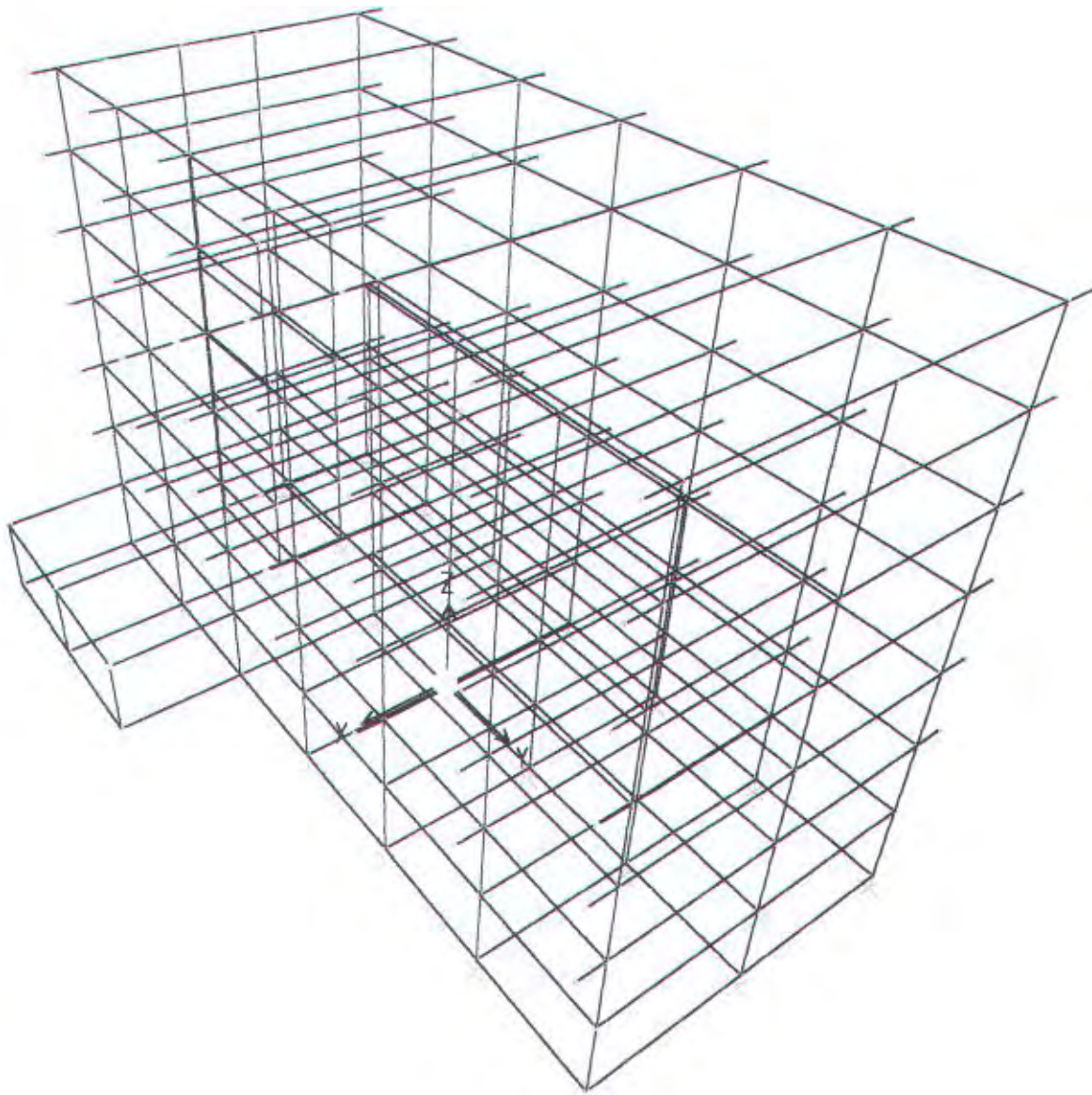
 $x = 21.10 \text{ m}$
 $y = 9.76 \text{ m}$

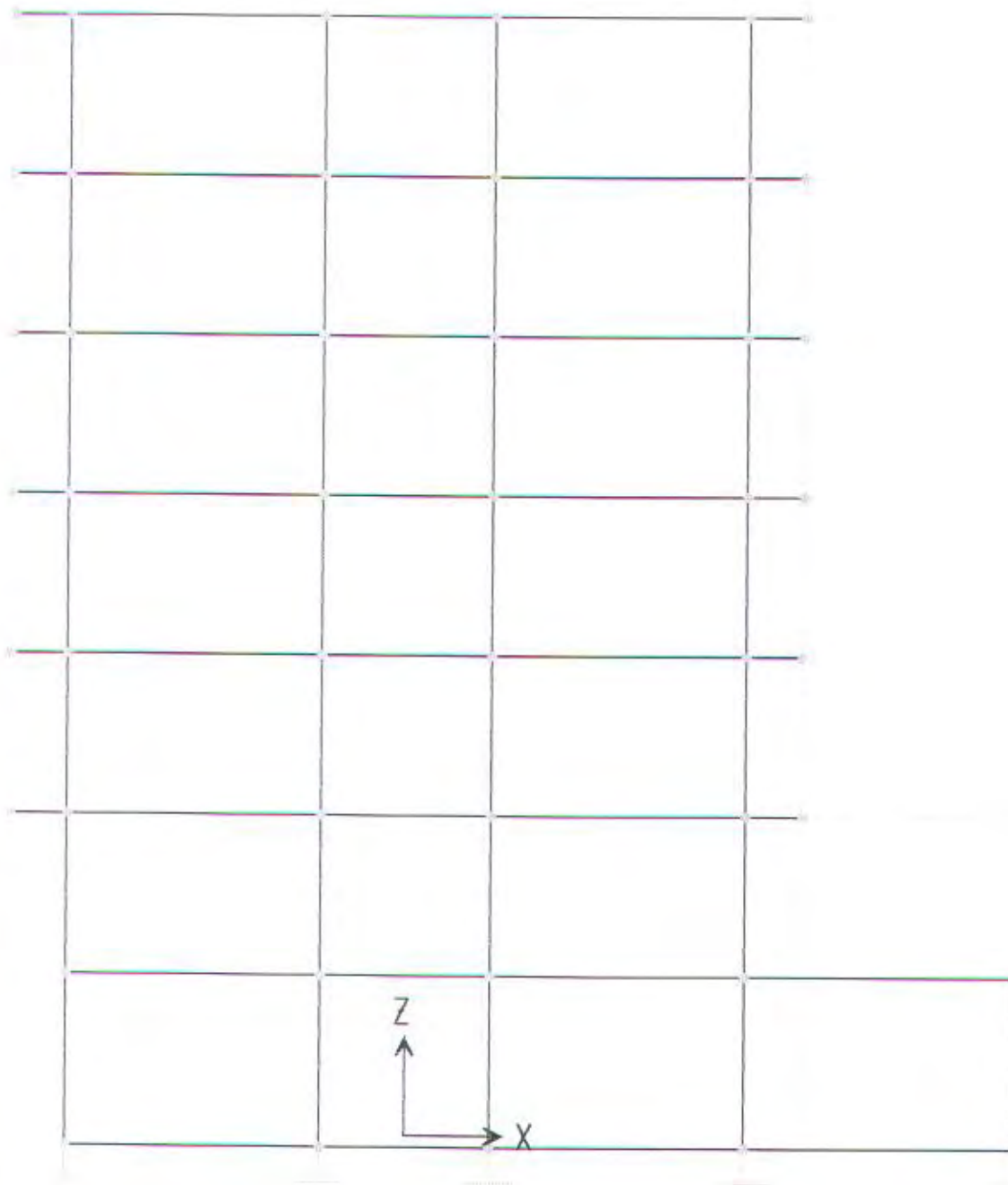
Penentuan Lokasi Pusat Massa di Lantai 6

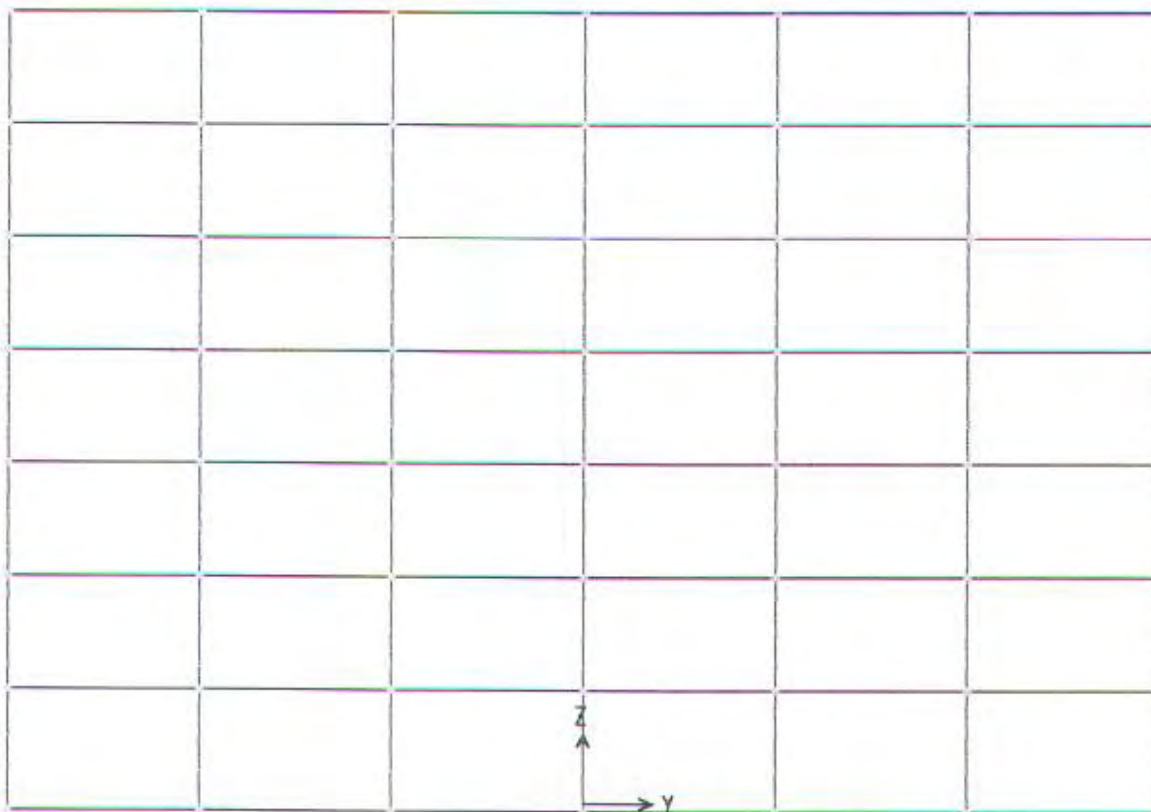
Jenis Beban		W (kg)	x (m)	y (m)	W.x (kg.m)	W.y (kg.m)
Beban Lantai atap		1379527.2	21.27	9.7	29342543.54	13381413.84
Pelat (13 cm)	21*43,2*0,13*2400	283046.4	21.6	10.5	6113802.24	2971987.2
Spesi (2 cm)	21*43,2*0,2*2100	381024	21.6	10.5	8230118.4	4000752
Plafon+penggantung	21*43,2*(7+11)	16329.6	21.6	10.5	352719.36	171460.8
Aspal (1 cm)	21*43,2*0,1*1400	127008	21.6	10.5	2743372.8	1333584
Peralatan M & E	21*43,2*40	36288	21.6	10.5	783820.8	381024
Beban hidup pelat	18*43,2*120	93312	21.6	10.5	2015539.2	979776
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	21.6	0.75	2939328	102060
Beban hidup kantilever	1,5*43,2*200	136080	20.25	10.5	2755620	1428840
Balok A	21*0,4*0,6*2400	12096	43.2	10.5	522547.2	127008
Balok C	21*0,4*0,6*2400	12096	36	10.5	435456	127008
Balok D	21*0,4*0,6*2400	12096	28.8	10.5	348364.8	127008
Balok E	21*0,4*0,6*2400	12096	21.6	10.5	261273.6	127008
Balok G	21*0,4*0,6*2400	12096	14.4	10.5	174182.4	127008
Balok I	21*0,4*0,6*2400	12096	7.2	10.5	87091.2	127008
Balok J	21*0,4*0,6*2400	12096	0	10.5	0	127008
Balok 1	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	0	537477.12	0
Balok 3	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	6.75	14929.92	27993.6
Balok 4	28,8*0,4*0,6*2400	16588.8	28.8	10.5	477757.44	174182.4
Balok 5	7,2*0,4*0,6*2400	4147.2	3.6	12.75	14929.92	52876.8
Balok 7	43,2*0,4*0,6*2400	24883.2	21.6	19.5	537477.12	485222.4
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	39.6	15	42768	16200
Balok anak 200/250	9*0,2*0,25*2400	1080	25.2	15	27216	16200
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	25.2	4.875	20412	3948.75
Balok anak 200/250	6,75*0,2*0,25*2400	810	10.8	4.875	8748	3948.75
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	4.875	21.6	88452	391910.4
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	6.75	381024	102060
Balok anak 350/500	14,4*0,35*0,5*2400	6048	10.5	7.2	63504	43545.6
Balok anak 350/500	36*0,35*0,5*2400	15120	25.2	12.75	381024	192780
Balok anak 350/500	43,2*0,35*0,5*2400	18144	21.6	16.125	391910.4	292572
Dinding Lift	12,9*0,35*0,5*4*2400	21672	5.1	11.625	110527.2	251937
Kolom A1	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	1.5	103680	3600
Kolom A4	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	10.5	103680	25200
Kolom A7	4*0,5*0,5*2400	2400	43.2	19.5	103680	46800
Kolom C1	4*0,5*0,5*2400	2400	36	1.5	86400	3600
Kolom C4	4*0,5*0,5*2400	2400	36	10.5	86400	25200
Kolom C7	4*0,5*0,5*2400	2400	36	19.5	86400	46800
Kolom D1	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	1.5	69120	3600
Kolom D4	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	10.5	69120	25200
Kolom D7	4*0,5*0,5*2400	2400	28.8	19.5	69120	46800
Kolom F1	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	1.5	51840	3600
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	10.5	51840	25200
Kolom F4	4*0,5*0,5*2400	2400	21.6	19.5	51840	46800
Kolom G1	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	1.5	34560	3600
Kolom G4	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	10.5	34560	25200
Kolom G7	4*0,5*0,5*2400	2400	14.4	19.5	34560	46800
Kolom I1	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	1.5	17280	3600
Kolom I3	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	8.25	17280	19800
Kolom I5	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	12.75	17280	30600
Kolom I7	4*0,5*0,5*2400	2400	7.2	19.5	17280	46800
Kolom J1	4*0,5*0,5*2400	2400	0	1.5	0	3600
Kolom J3	4*0,4*0,4*2400	1536	0	8.25	0	12672
Kolom J5	4*0,4*0,4*2400	1536	0	12.75	0	19584
Kolom J7	4*0,5*0,5*2400	2400	0	19.5	0	46800
		2899516.8			61309857	28256788

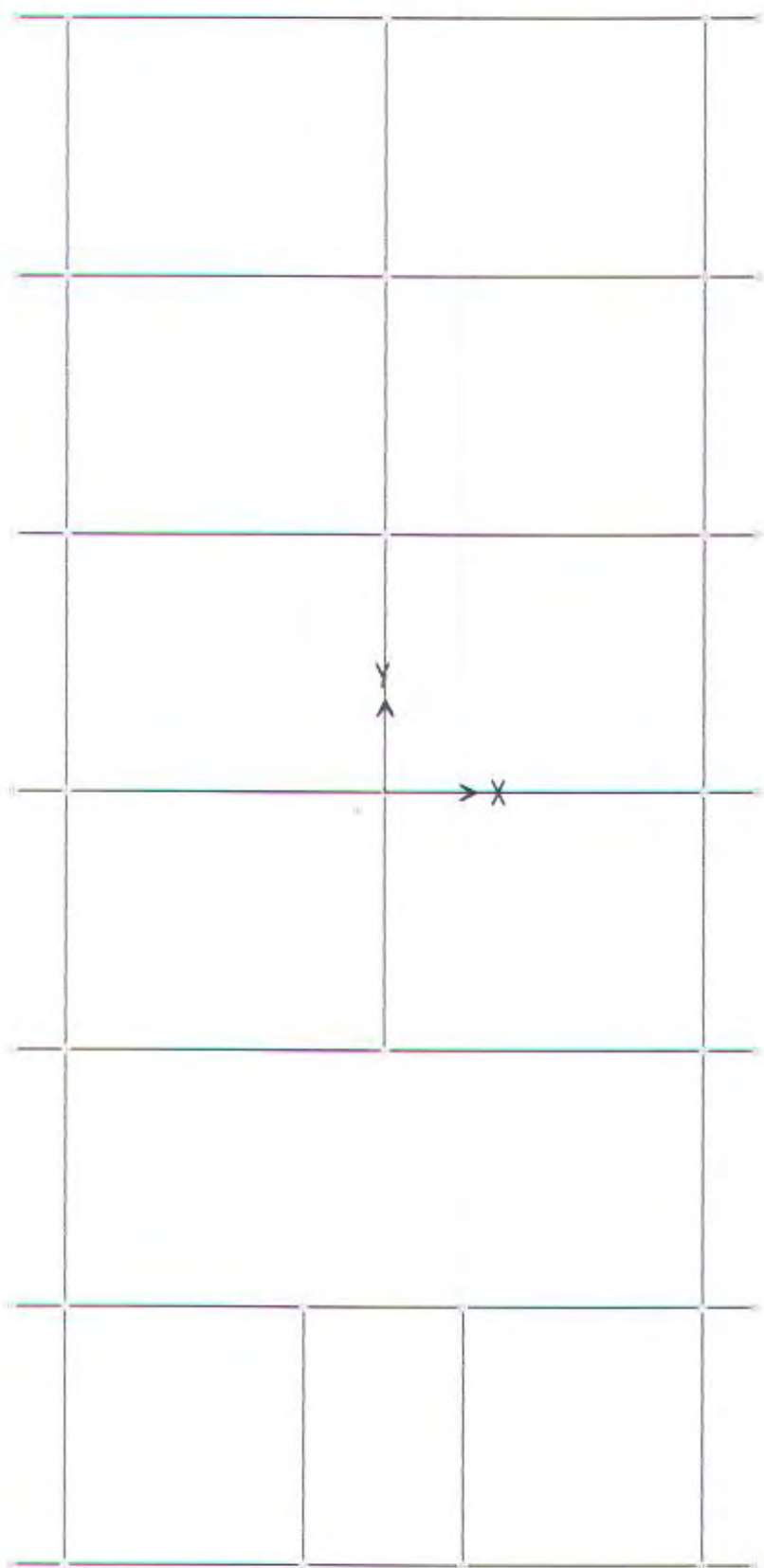
 $x = 21,14 \text{ m}$
 $y = 9,74 \text{ m}$

LAMPIRAN D
ANALISA STRUKTUR UTAMA









STATIC LOAD CASES

STATIC CASE	CASE TYPE	SELF WT FACTOR
LOAD1	DEAD	1.0000
LOAD2	LIVE	0.0000
LOAD3	WIND	0.0000
LOAD4	QUAKE	0.0000

RESPONSE SPECTRUM CASES

SPECTRUM CASE	EXCITATION ANGLE	MODAL COMBO	DIRECTION COMBO
PPKGURG	0.0000	CQC	SRSS

JOINT DATA

JOINT	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	RESTRAINTS	ANGLE-A	ANGLE-B	ANGLE-C
1	-9000.00000	-21600.00000	-300.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
2	-9000.00000	-21600.00000	4200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
3	-9000.00000	-21600.00000	8400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
4	-9000.00000	-21600.00000	12600.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
5	-9000.00000	-21600.00000	16800.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
6	-9000.00000	-21600.00000	21000.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
7	-9000.00000	-21600.00000	25200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
8	-9000.00000	-21600.00000	29400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
9	-9000.00000	-14400.00000	-300.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
10	-9000.00000	-14400.00000	4200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
11	-9000.00000	-14400.00000	8400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
12	-9000.00000	-14400.00000	12600.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
13	-9000.00000	-14400.00000	16800.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
14	-9000.00000	-14400.00000	21000.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
15	-9000.00000	-14400.00000	25200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
16	-9000.00000	-14400.00000	29400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
17	-9000.00000	-7200.00000	-300.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
18	-9000.00000	-7200.00000	4200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
19	-9000.00000	-7200.00000	8400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
20	-9000.00000	-7200.00000	12600.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
21	-9000.00000	-7200.00000	16800.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
22	-9000.00000	-7200.00000	21000.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
23	-9000.00000	-7200.00000	25200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
24	-9000.00000	-7200.00000	29400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
25	-9000.00000	0.00000	-300.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
26	-9000.00000	0.00000	4200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
27	-9000.00000	0.00000	8400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
28	-9000.00000	0.00000	12600.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
29	-9000.00000	0.00000	16800.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
30	-9000.00000	0.00000	21000.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
31	-9000.00000	0.00000	25200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
32	-9000.00000	0.00000	29400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
33	-9000.00000	7200.00000	-300.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
34	-9000.00000	7200.00000	4200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
35	-9000.00000	7200.00000	8400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
36	-9000.00000	7200.00000	12600.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
37	-9000.00000	7200.00000	16800.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
38	-9000.00000	7200.00000	21000.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
39	-9000.00000	7200.00000	25200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
40	-9000.00000	7200.00000	29400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
41	-9000.00000	14400.00000	-300.00000	1 1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
42	-9000.00000	14400.00000	4200.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
43	-9000.00000	14400.00000	8400.00000	0 0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000

44	-9000.00000	14400.00000	12600.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
45	-9000.00000	14400.00000	16800.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
46	-9000.00000	14400.00000	21000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
47	-9000.00000	14400.00000	25200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
48	-9000.00000	14400.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
49	-9000.00000	21600.00000	-300.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
50	-9000.00000	21600.00000	4200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
51	-9000.00000	21600.00000	8400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
52	-9000.00000	21600.00000	12600.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
53	-9000.00000	21600.00000	16800.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
54	-9000.00000	21600.00000	21000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
55	-9000.00000	21600.00000	25200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
56	-9000.00000	21600.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
57	0.00000	21600.00000	25200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
58	0.00000	21600.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
59	-970.00000	-330.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
60	-740.00000	-460.00000	25200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
61	-2250.00000	-21600.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
62	2250.00000	-21600.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
63	-2250.00000	-21600.00000	25200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
64	2250.00000	-21600.00000	25200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
65	-10500.00000	21600.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
66	-760.00000	-500.00000	21000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
67	-770.00000	-520.00000	16800.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
68	-770.00000	-530.00000	12600.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
69	-770.00000	-540.00000	8400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
70	-770.00000	-540.00000	4200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
71	-10500.00000	14400.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
72	-10500.00000	7200.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
73	0.00000	-7200.00000	-300.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
74	0.00000	-7200.00000	4200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
75	0.00000	-7200.00000	8400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
76	0.00000	-7200.00000	12600.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
77	0.00000	-7200.00000	16800.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
78	0.00000	-7200.00000	21000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
79	-10500.00000	0.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
80	-10500.00000	-7200.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
81	0.00000	0.00000	-300.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
82	0.00000	0.00000	4200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
83	0.00000	0.00000	8400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
84	0.00000	0.00000	12600.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
85	0.00000	0.00000	16800.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
86	0.00000	0.00000	21000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
87	-10500.00000	-14400.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
88	-10500.00000	-21600.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
89	0.00000	7200.00000	-300.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
90	0.00000	7200.00000	4200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
91	0.00000	7200.00000	8400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
92	0.00000	7200.00000	12600.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
93	0.00000	7200.00000	16800.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
94	0.00000	7200.00000	21000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
95	10500.00000	-21600.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
96	10500.00000	-14400.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
97	0.00000	14400.00000	-300.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
98	0.00000	14400.00000	4200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
99	0.00000	14400.00000	8400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
100	0.00000	14400.00000	12600.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
101	0.00000	14400.00000	16800.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
102	0.00000	14400.00000	21000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
103	10500.00000	-7200.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
104	10500.00000	0.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
105	0.00000	21600.00000	-300.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
106	0.00000	21600.00000	4200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
107	0.00000	21600.00000	8400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
108	0.00000	21600.00000	12600.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
109	0.00000	21600.00000	16800.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
110	0.00000	21600.00000	21000.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
111	10500.00000	7200.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
112	10500.00000	14400.00000	29400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
113	9000.00000	-21600.00000	-300.00000	1 1 1 1 1	0.000	0.000	0.000
114	9000.00000	-21600.00000	4200.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000
115	9000.00000	-21600.00000	8400.00000	0 0 0 0 0	0.000	0.000	0.000

115 DIAPH2
123 DIAPH2
131 DIAPH2
139 DIAPH2
147 DIAPH2
155 DIAPH2
163 DIAPH2
189 DIAPH2
190 DIAPH2
191 DIAPH2
192 DIAPH2
69 DIAPH2
4 DIAPH3
12 DIAPH3
20 DIAPH3
28 DIAPH3
36 DIAPH3
44 DIAPH3
52 DIAPH3
76 DIAPH3
84 DIAPH3
92 DIAPH3
100 DIAPH3
108 DIAPH3
116 DIAPH3
124 DIAPH3
132 DIAPH3
140 DIAPH3
148 DIAPH3
156 DIAPH3
164 DIAPH3
185 DIAPH3
186 DIAPH3
187 DIAPH3
188 DIAPH3
68 DIAPH3
5 DIAPH4
13 DIAPH4
21 DIAPH4
29 DIAPH4
37 DIAPH4
45 DIAPH4
53 DIAPH4
77 DIAPH4
85 DIAPH4
93 DIAPH4
101 DIAPH4
109 DIAPH4
117 DIAPH4
125 DIAPH4
133 DIAPH4
141 DIAPH4
149 DIAPH4
157 DIAPH4
165 DIAPH4
181 DIAPH4
182 DIAPH4
183 DIAPH4
184 DIAPH4
67 DIAPH4
6 DIAPH5
14 DIAPH5
22 DIAPH5
30 DIAPH5
38 DIAPH5
46 DIAPH5
54 DIAPH5
78 DIAPH5
86 DIAPH5
94 DIAPH5
102 DIAPH5
110 DIAPH5

118 DIAPH5
126 DIAPH5
134 DIAPH5
142 DIAPH5
150 DIAPH5
158 DIAPH5
166 DIAPH5
177 DIAPH5
178 DIAPH5
179 DIAPH5
180 DIAPH5
66 DIAPH5
7 DIAPH6
15 DIAPH6
23 DIAPH6
31 DIAPH6
39 DIAPH6
47 DIAPH6
55 DIAPH6
119 DIAPH6
127 DIAPH6
135 DIAPH6
143 DIAPH6
151 DIAPH6
159 DIAPH6
167 DIAPH6
57 DIAPH6
63 DIAPH6
64 DIAPH6
60 DIAPH6
8 DIATAP
16 DIATAP
24 DIATAP
32 DIATAP
40 DIATAP
48 DIATAP
56 DIATAP
120 DIATAP
128 DIATAP
136 DIATAP
144 DIATAP
152 DIATAP
160 DIATAP
168 DIATAP
58 DIATAP
61 DIATAP
62 DIATAP
59 DIATAP
245 DIAPH2
246 DIAPH2
247 DIAPH2
248 DIAPH2
249 DIAPH2
250 DIAPH2
251 DIAPH2
252 DIAPH2
253 DIAPH2
254 DIAPH2
255 DIAPH2
256 DIAPH2
257 DIAPH2
259 DIAPH2
231 DIAPH3
232 DIAPH3
233 DIAPH3
234 DIAPH3
235 DIAPH3
236 DIAPH3
237 DIAPH3
238 DIAPH3
239 DIAPH3
240 DIAPH3

241 DIAPH3
 242 DIAPH3
 243 DIAPH3
 244 DIAPH3
 214 DIAPH4
 215 DIAPH4
 216 DIAPH4
 220 DIAPH4
 221 DIAPH4
 222 DIAPH4
 223 DIAPH4
 224 DIAPH4
 225 DIAPH4
 226 DIAPH4
 227 DIAPH4
 228 DIAPH4
 229 DIAPH4
 230 DIAPH4
 200 DIAPH5
 201 DIAPH5
 202 DIAPH5
 203 DIAPH5
 204 DIAPH5
 205 DIAPH5
 206 DIAPH5
 207 DIAPH5
 208 DIAPH5
 209 DIAPH5
 210 DIAPH5
 211 DIAPH5
 212 DIAPH5
 213 DIAPH5
 170 DIAPH6
 171 DIAPH6
 172 DIAPH6
 173 DIAPH6
 174 DIAPH6
 175 DIAPH6
 176 DIAPH6
 193 DIAPH6
 194 DIAPH6
 195 DIAPH6
 196 DIAPH6
 197 DIAPH6
 198 DIAPH6
 199 DIAPH6
 65 DIATAP
 71 DIATAP
 72 DIATAP
 79 DIATAP
 80 DIATAP
 87 DIATAP
 88 DIATAP
 95 DIATAP
 96 DIATAP
 103 DIATAP
 104 DIATAP
 111 DIATAP
 112 DIATAP
 169 DIATAP

SAP2000 v7.42 File: SAP PRATEKAN 4 N-mm Units PAGE 5
 12/30/03 16:41:41

FRAME ELEMENT DATA

FRAME	INT-1	INT-2	SECTION	AREA	RELEASES	SEGMENTS	R1	R2	FACTOR	LENGTH
1	1	2	XXLMM	8,000	000000	1	0,000	0,000	1.000	4200,000
2	1	3	XXLMM	8,000	000000	1	0,000	0,000	1.000	4200,000
3	2	3	XXLMM	8,000	000000	1	0,000	0,000	1.000	4200,000
4	1	4	XXLMM	8,000	000000	1	0,000	0,000	1.000	4200,000
5	2	4	XXLMM	8,000	000000	1	0,000	0,000	1.000	4200,000

170	175	63	K760X700	0.000	000000	1	0.000	0.000	1.000	4200.000
171	63	61	K760X700	0.000	000000	1	0.000	0.000	1.000	4200.000
172	180	64	KOLCH	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	4200.000
173	64	62	KOLCH	0.000	000000	2	0.000	0.000	1.000	4200.000
174	363	114	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	6750.000
175	36	65	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
176	48	71	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
177	40	72	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
178	32	59	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
179	24	60	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
180	16	67	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
181	8	68	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
182	120	45	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
183	120	46	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
184	136	103	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
185	144	104	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
186	152	111	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
187	160	112	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
188	168	114	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
189	55	115	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
190	47	116	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
191	39	117	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
192	31	118	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
193	23	119	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
194	15	120	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
195	7	121	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
196	119	122	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
197	121	123	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
198	128	124	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
199	143	125	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
200	151	126	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
201	159	127	FRATE	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
202	167	128	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
203	51	129	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
204	46	130	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
205	38	131	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
206	30	132	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
207	22	133	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
208	14	134	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
209	6	135	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
210	119	136	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
211	124	137	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
212	134	138	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
213	142	139	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
214	150	140	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
215	158	141	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
216	166	142	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
217	53	143	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
218	45	144	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
219	37	145	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
220	29	146	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
221	21	147	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
222	13	148	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
223	5	149	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
224	117	150	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
225	105	151	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
226	133	152	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
227	141	153	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
228	149	154	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
229	157	155	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
230	165	156	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
231	50	157	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
232	40	158	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
233	38	159	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
234	28	160	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
235	20	161	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
236	12	162	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
237	4	163	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
238	116	164	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
239	124	165	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
240	132	166	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
241	140	167	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
242	148	168	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
243	156	169	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
244	164	170	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
245	51	171	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
246	43	172	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
247	35	173	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
248	27	174	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
249	19	175	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000
250	11	176	B400X800	0.000	000000	4	0.000	0.000	1.000	1500.000

440	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
473	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
506	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
539	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
584	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
442	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
475	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
508	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
541	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
886	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.2144	1.0000	-7.2144
50	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
53	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
56	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
59	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
162	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
51	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.4051	1.0000	-2.4051
54	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.4051	1.0000	-2.4051
57	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.4051	1.0000	-2.4051
60	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.4051	1.0000	-2.4051
163	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-2.4051	1.0000	-2.4051
52	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
55	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
58	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
61	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
174	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-3.6077	1.0000	-3.6077
441	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.8102	1.0000	-4.8102
474	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.8102	1.0000	-4.8102
507	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.8102	1.0000	-4.8102
540	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.8102	1.0000	-4.8102
916	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-4.8102	1.0000	-4.8102
438	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
471	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
504	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
537	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
939	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
439	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
472	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
505	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
538	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
940	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.3413	1.0000	-11.3413
429	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
431	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
462	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
464	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
495	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
497	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
528	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
530	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
875	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
877	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-7.9605	1.0000	-7.9605
428	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
430	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
461	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
463	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
494	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
496	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
527	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
529	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
874	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
876	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.3071	1.0000	-9.3071
879	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.3991	1.0000	-6.3991
881	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-6.3991	1.0000	-6.3991
878	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.2528	1.0000	-9.2528
880	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.2528	1.0000	-9.2528
882	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.2528	1.0000	-9.2528
883	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-9.2528	1.0000	-9.2528
158	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.8311	1.0000	-11.8311
159	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.8311	1.0000	-11.8311
164	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.8311	1.0000	-11.8311
165	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.8311	1.0000	-11.8311
166	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-11.8311	1.0000	-11.8311
922	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-23.6621	1.0000	-23.6621

473	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-62972.3255
506	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-125944.651
506	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-62972.3255
539	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-125944.651
539	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-62972.3255
884	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-125944.651
884	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-62972.3255
442	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-105398.542
475	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-105398.542
508	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-105398.542
541	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-105398.542
886	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-105398.542
50	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
53	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
56	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
59	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
162	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
51	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
54	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
57	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
60	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
163	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
52	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
55	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
58	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
61	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
174	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-62972.3255
441	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-125944.651
441	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-105398.542
474	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-125944.651
474	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-105398.542
507	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-125944.651
507	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-105398.542
540	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-125944.651
540	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-105398.542
916	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-125944.651
916	FORCE	GLOBAL-Z	1.0000	-105398.542
429	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
431	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
462	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
464	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
495	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
497	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
528	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
530	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
875	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
877	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-29446.7228
879	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
881	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
532	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
534	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
524	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37764.6254
526	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37764.6254
458	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37764.6254
460	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37764.6254
466	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
468	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
491	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37764.6254
493	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37764.6254
499	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
501	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
425	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37755.6033
427	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-37755.6033
433	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690
435	FORCE	GLOBAL-Z	0.5000	-28323.4690

LAMPIRAN E
PERENCANAAN BALOK PRATEKAN

Sistem Multistrand*

* Strand 7-kawat 270-k untuk beton prategang dengan tegangan batas (f'_s) sebesar 270.000 psi diproduksi dan diuji menurut persyaratan-persyaratan ASTM A-416. Sifat-sifat fisik dari strand 270K diameter $\frac{1}{2}$ in. yang tak dilapisi dan stress-relieved adalah sebagai berikut:

Kekuatan batas	41.300 lb
Kekuatan leleh (pada perpanjangan 1%)	35.100 lb
Modulus elastisitas pendekatan	27.000.000 psi ²
Perpanjangan minimum pada keadaan runtuh	3,5% dalam 24 in.

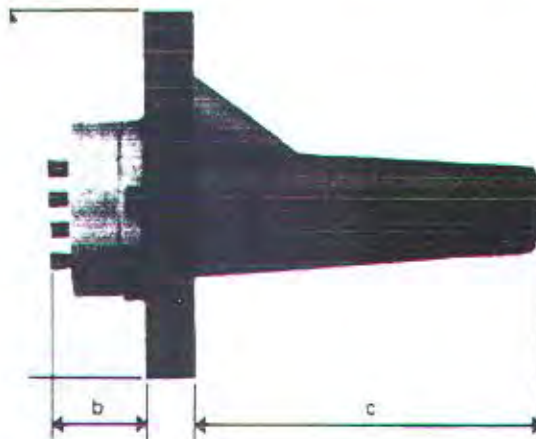


Angkur

Angkur Tegangan VSL Tipe E Angkur tegangan VSL tipe E terdiri dari sebuah kepala ankur, pemegang VSL, pelat bantalan dan klep.

Angkur ini dapat juga digunakan sebagai ankur tetap (ankur mati) bila suatu gaya prategang penuh diperlukan segera pada ujung komponen-struktur yang akan diprategang.

Pelat bantalan yang diperlihatkan adalah dari jenis standar dan didasarkan pada suatu tegangan bantalan sebesar 3000 psi pada gaya kerja. Kekuatan-tekan



Unit	a	b	c
E5-3	$5\frac{1}{4} \times 5\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	4
E5-4	$6\frac{1}{8} \times 6\frac{1}{8}$	$3\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$
E5-7	8×8	$3\frac{1}{2}$	8
E5-12	$10\frac{1}{2} \times 10\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	12
E5-19	$13\frac{1}{4} \times 13\frac{1}{4}$	4	23
E5-22	$14\frac{1}{4} \times 14\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{2}$	26
E5-31	17×17	5	34
E5-55	23×23	8	42

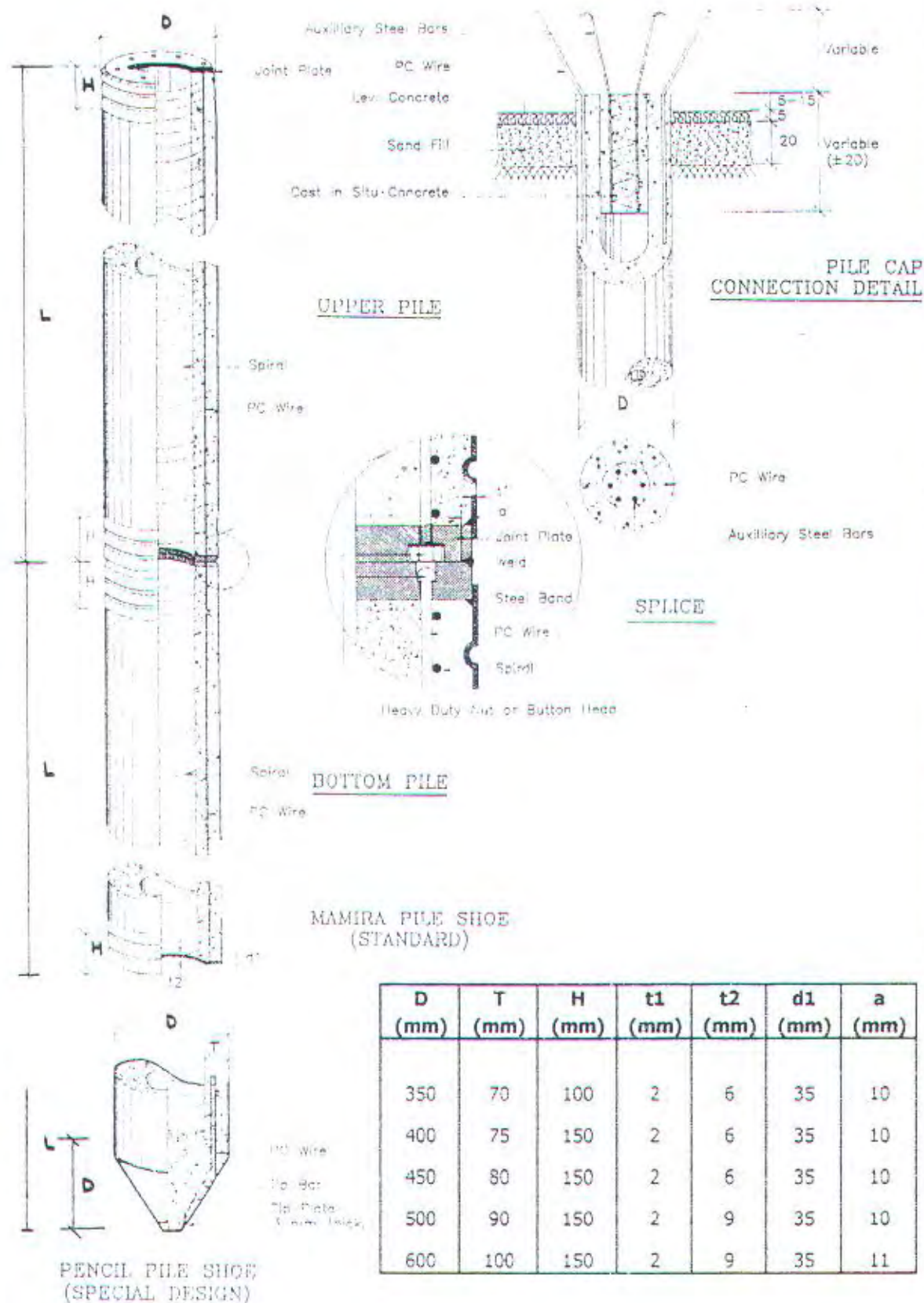
Dimensi dalam inci (1 in. = 25,4 mm)

*Digunakan atas izin VSL corporation. Konversi S.I. menggunakan faktor konversi hal. 361.

²Pabrik yang berbeda mungkin memiliki gamhar yang agak berbeda.

LAMPIRAN F
PERENCANAAN PONDASI

PILE HEAD, SPLICE & SHOE



MIKA PILE CLASSIFICATION

No.	Pile Diameter (mm)	Thick (mm)	Class	PC Wire		Area of Steel (cm ²)	Area of Concrete (cm ²)	Section Modulus (cm ³)	Effective Prestress (Kg/cm ²)	Allowable Axial (Tf)	Bending Moment	
				D(mm)	Numb						Crack (Tfm)	Ult (Tfm)
1	350	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
2	400	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
3	450	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
				9	20	12.72	929.91	7669.56	108.62	123.85	12.50	25.00
			C	9	24	15.27	1159.25	10362.44	49.45	172.66	10.50	15.75
4	500	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
				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
			B	9	24	15.27	1570.80	17490.53	80.13	221.12	25.00	45.00
5	600	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
				9	20	12.72	1570.80	17411.58	66.82	226.69	22.00	33.00
			A3	7	32	12.32	1570.80	17398.90	69.38	225.62	22.00	33.00
				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
			B	9	24	15.27	1570.80	17490.53	80.13	221.12	25.00	45.00
				9	32	20.36	1570.80	17648.44	102.89	211.60	29.00	58.00

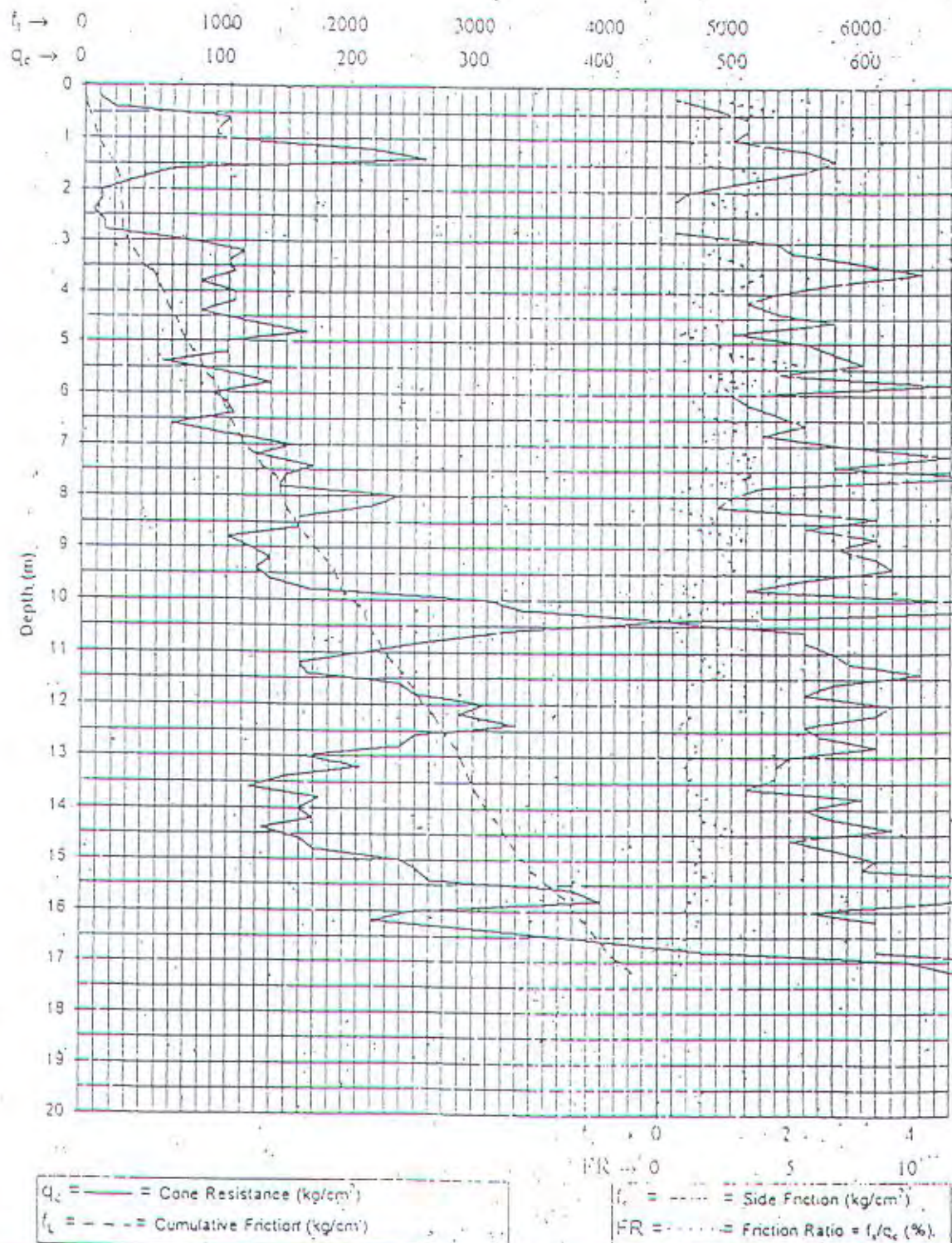
Notes :

1. Piles generally comply to JIS A 5335 - 1987 and modified to suit ACI 543 - 1979 & P.B.I 71.
2. Specified Concrete cube Compressive strength is 600 Kg/cm² at 28 days.
3. Allowable axial load is applicable to pile acting as a short strut.

CONE PENETRATION TEST (10 TON)

Project
Location : Zone B
Test no. : SND-2 (Fac. of Forestry)
Elevation :

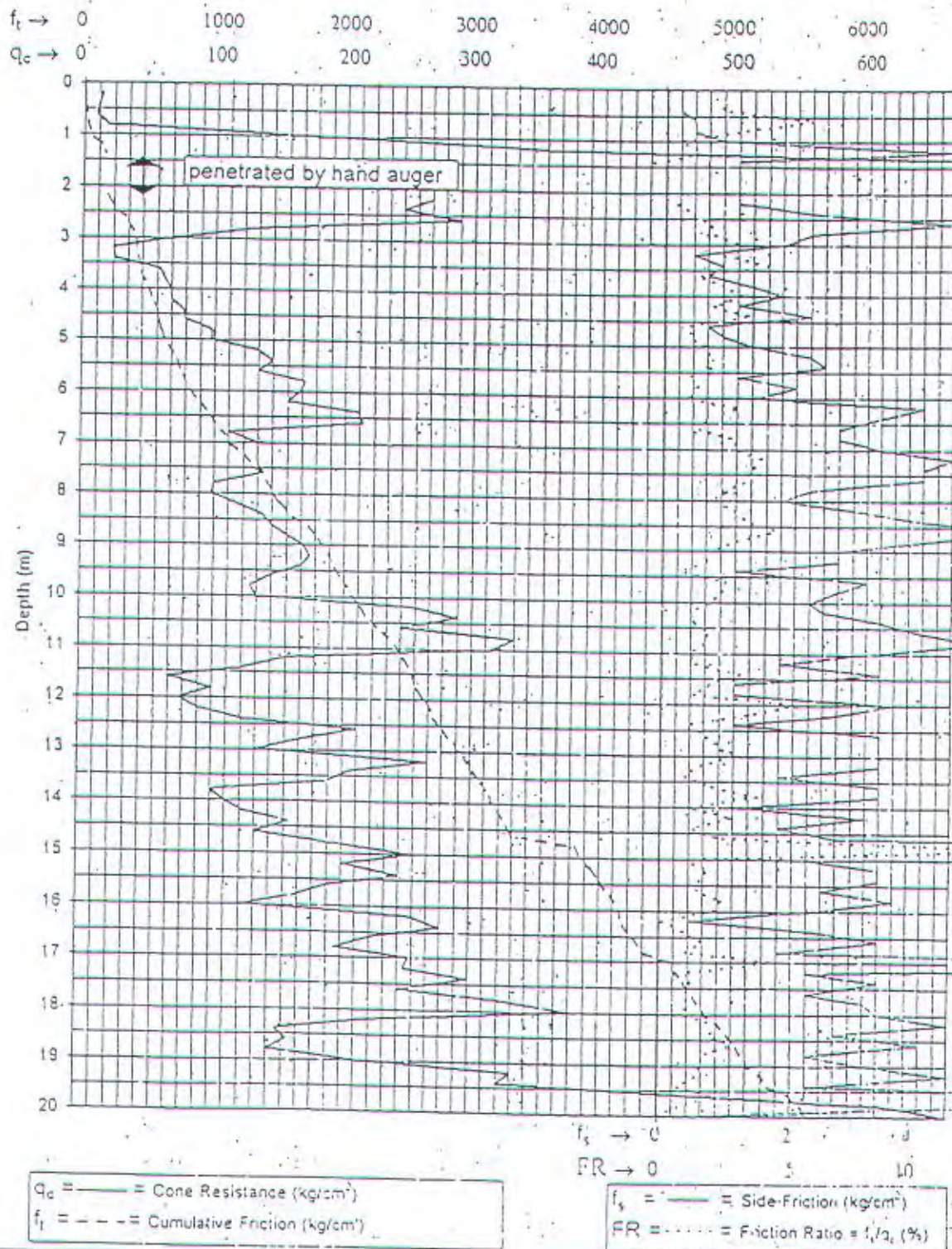
Weather : Clouded
Date : January, 18, 2000
Tested by : Mulyono



CONE PENETRATION TEST (10 TON)

Project
Location : Zone B
Test no. : SND-1 (Fac. of Agriculture Technology)
Elevation :

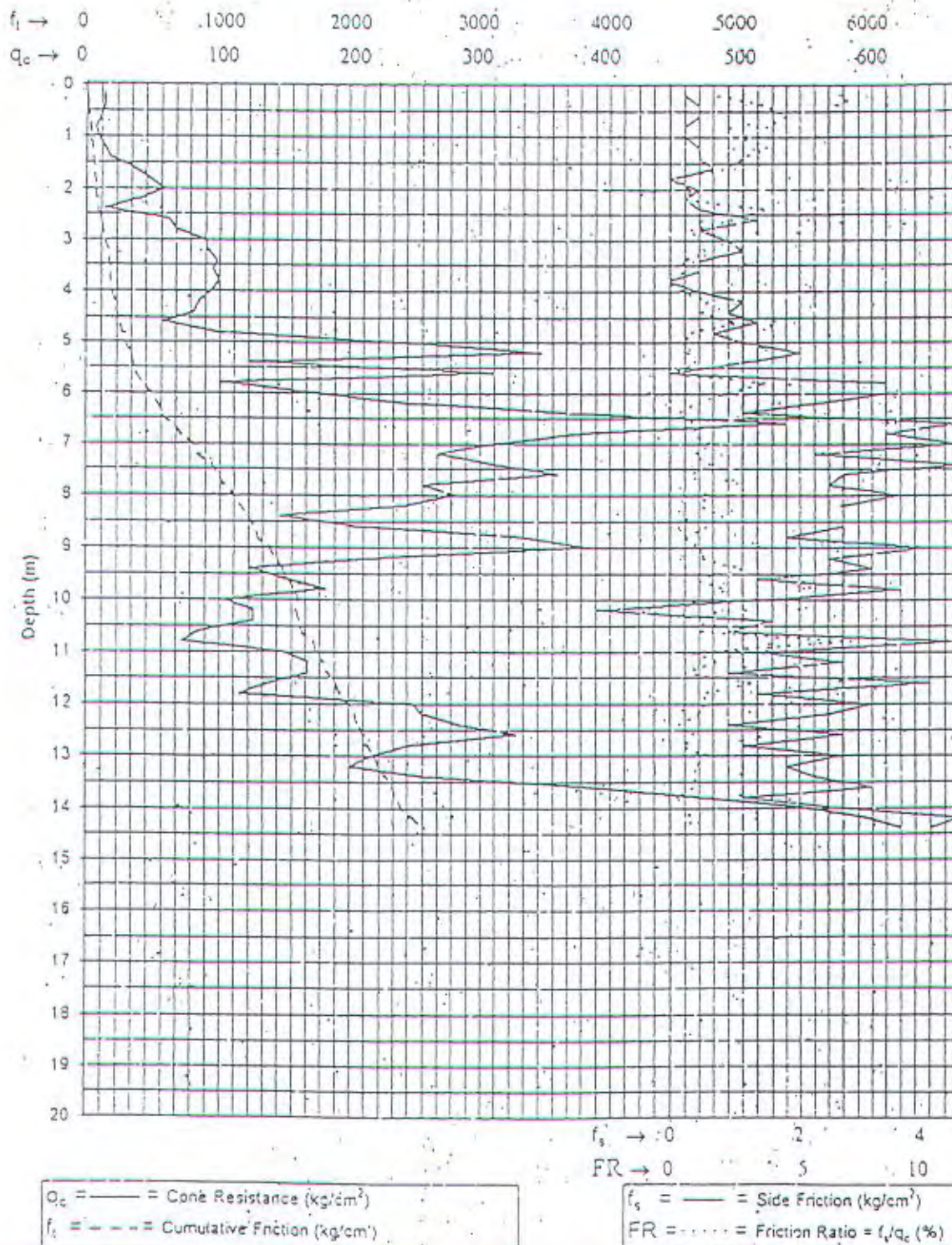
Weather : Rainy
Date : January, 20, 2000
Tested by : Mulyono



CONE PENETRATION TEST (10 TON)

Project
 Location : Zone C
 Test no. : SND-6 (Fac. of Animal Husbandry)
 Elevation :

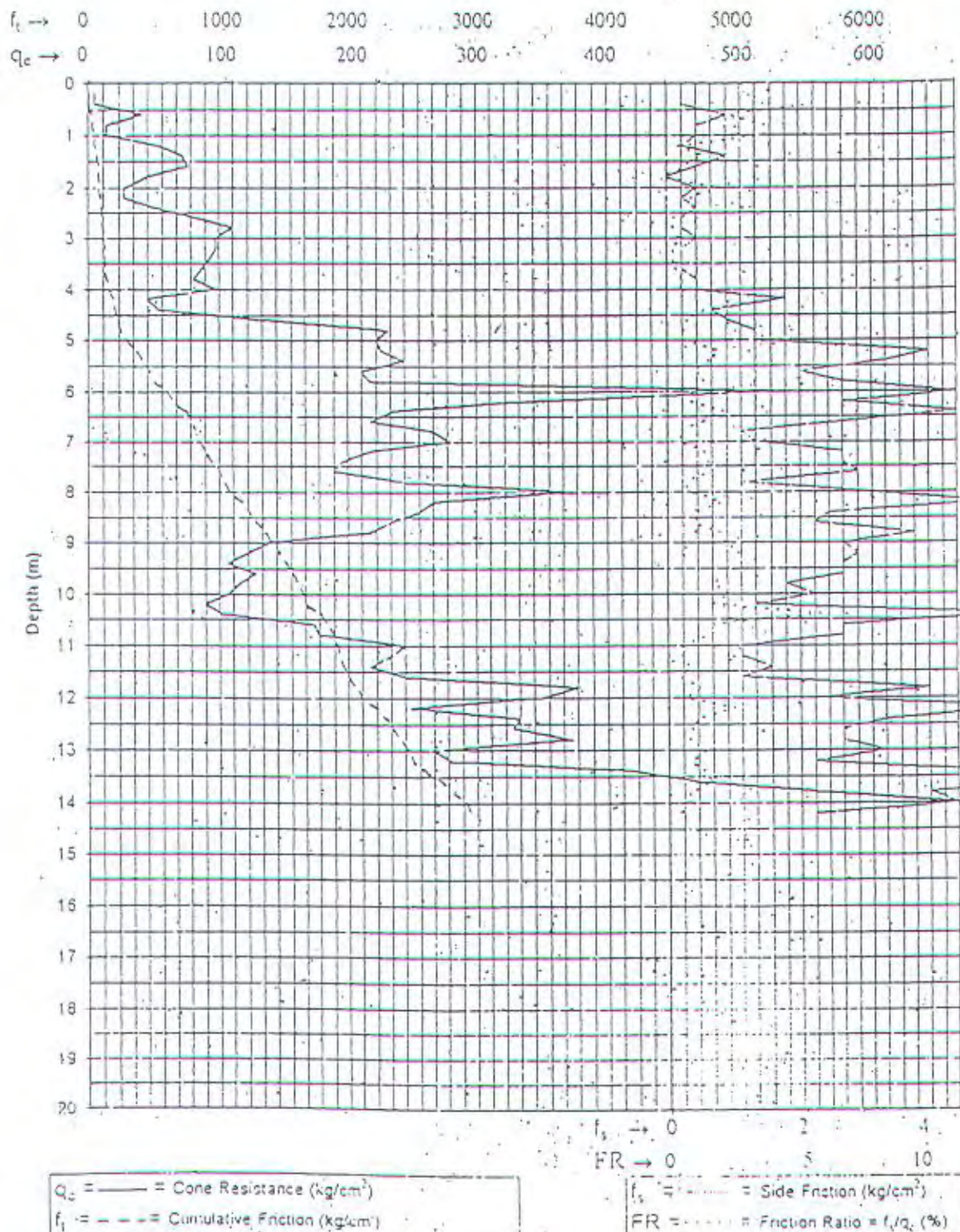
Weather : Clouded
 Date : January, 15, 2000
 Tested by : Mulyono



CONE PENETRATION TEST (10 TON)

Project :
 Location : Zone C
 Test no. : SND-5 (Fac. of Veterinary)
 Elevation :

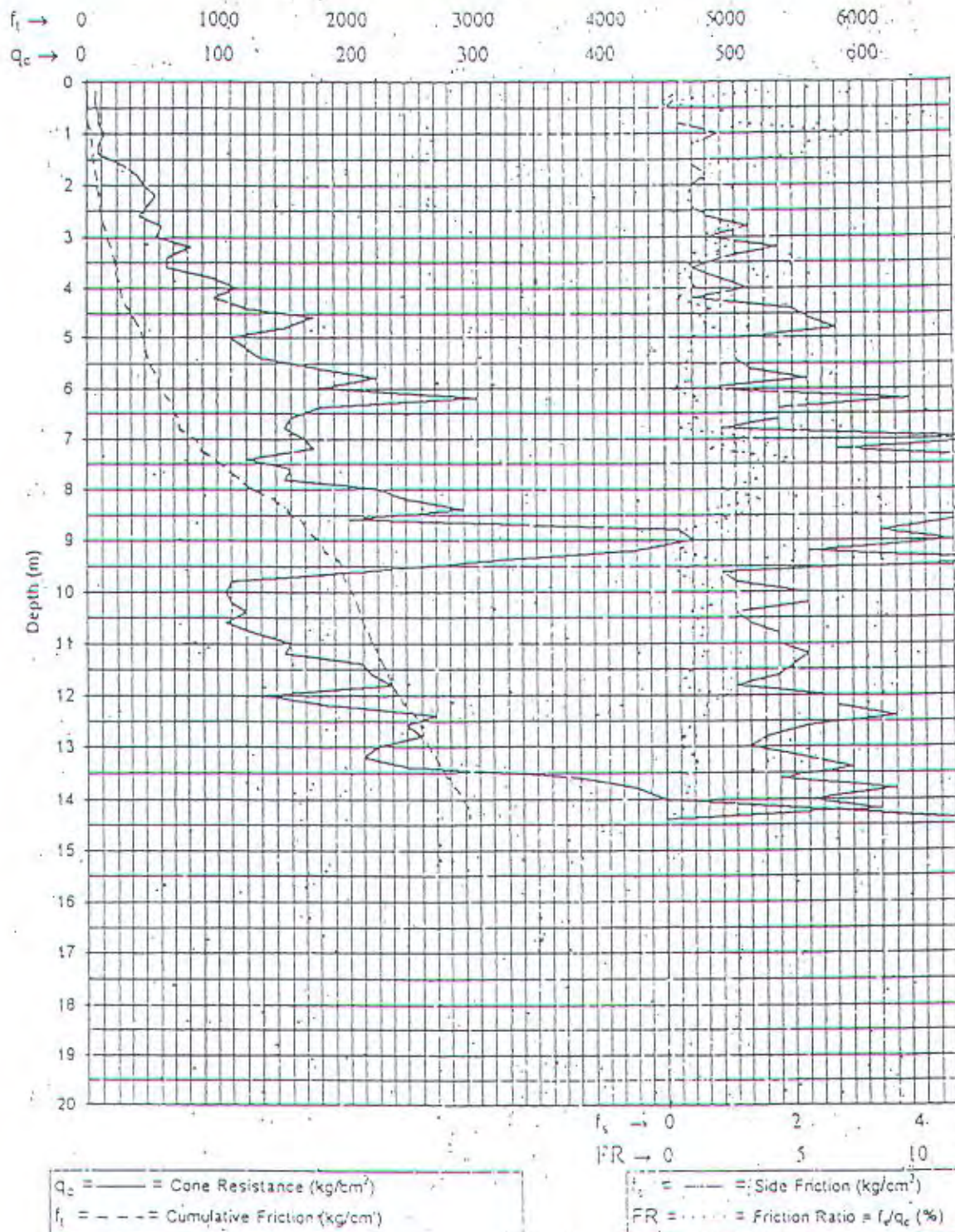
Weather : Rainy
 Date : January, 16, 2000
 Tested by : Mulyono



CONE PENETRATION TEST (10 TON)

Project :
 Location : Zone C
 Test no. : SND-4 (Fac. of Veterinary)
 Elevation :

Weather : Rainy
 Date : January, 17, 2000
 Tested by : Mulyono



SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project : Made by : bem
Location : Zone A (Undisturbed Sample) Checked by : ada

Bore Hole No.	Depth m	Bulk den sity, ρ_s g/cm ³	Dry den sity, ρ_d g/cm ³	Moisture content w _a , %	Specific Gravity G _s	Void Ratio e	Degree of Saturation S _r , %	Liquid Limit LL, %	Plastic Limit PL, %	Plastic Index PI, %	Liquidity Index LI	Shrinkage Limit SL, %	Finer # 200 %	Coef. of gradation		Strength Parameters*	
														C _u	Symbol	ϕ	c
UDS 1 BH SPT 1	7.00 - 7.50	1.58	1.14	38.44	2.52	1.21	80.19				Non Plastic		49.98	-	SM	35.75	0.08
UDS 2 BH SPT 1	9.00 - 9.50	1.55	1.22	26.67	2.68	1.17	60.44				Non Plastic		51.74	-	ML	34.61	0.00
UDS 3 BH SPT 1	17.00 - 17.50	1.88	1.53	22.72	2.63	0.72	83.01				Non Plastic		38.30	-	SM	33.02	0.09
UDS 4 BH SPT 2	5.00 - 5.50	2.03	1.85	9.72	2.84	0.53	51.84				Non Plastic		27.03	-	SM	34.22	0.00
UDS 5 BH SPT 2	9.50 - 10.00	1.71	1.33	28.91	2.70	1.03	75.68				Non Plastic		20.60	-	SM	32.82	0.09
UDS 6 BH SPT 2	11.00 - 11.50	1.90	1.50	26.91	2.74	0.83	89.16				Non Plastic		25.73	-	SM	34.61	0.07
UDS 7 BH SPT 2	13.50 - 14.00	1.89	1.46	29.48	2.63	0.80	96.70				Non Plastic		72.05	-	ML	34.81	0.09
UDS 8 BH SPT 2	19.00 - 19.50	1.68	1.18	42.15	2.56	1.16	92.88				Non Plastic		66.46	-	ML	22.78	0.01
UDS 9 BH SPT 3	2.80 - 3.30	1.77	1.32	33.90	2.50	0.89	95.47				Non Plastic		47.78	-	SM	30.11	0.11
UDS 10 BH SPT 3	7.50 - 8.00	1.70	1.22	38.63	2.64	1.16	88.14				Non Plastic		43.24	-	SM	27.02	0.09
UDS 11 BH SPT 3	9.00 - 9.50	2.02	1.52	24.41	2.66	0.64	101.73				Non Plastic		52.47	-	ML	36.13	0.08
UDS 12 BH SPT 3	13.50 - 14.00	2.10	1.78	17.66	2.62	0.47	98.39				Non Plastic		22.29	-	SM	36.67	0.09
UDS 13 BH SPT 3	19.50 - 20.00	1.93	1.69	14.10	2.72	0.61	63.07				Non Plastic		33.67	-	ML	32.21	0.13
UDS 14 BH SPT 3	29.00 - 29.50	1.62	1.16	39.60	2.62	1.26	82.49				Non Plastic		95.19	-	SM	34.83	0.00
UDS 15 BH SPT 4	3.50 - 4.00	1.81	1.51	19.58	2.75	0.82	65.65				Non Plastic		34.84	-	SM	32.82	0.00
UDS 16 BH SPT 4	6.50 - 7.00	1.82	1.40	30.05	2.68	0.92	88.01				Non Plastic		25.85	-	SM	35.75	0.10
UDS 17 BH SPT 4	11.00 - 11.50	1.81	1.40	29.24	2.58	0.85	89.21				Non Plastic		23.93	-	SM	37.60	0.01
UDS 18 BH SPT 4	18.50 - 19.00	1.91	1.65	15.79	2.71	0.65	66.26				Non Plastic		19.49	-	ML	33.02	0.30
UDS 19 BH SPT 4	27.50 - 28.00	2.04	1.54	32.59	2.72	0.79	115.88				Non Plastic		83.19	-	ML	25.17	0.02
UDS 20 BH SPT 4	29.50 - 30.00	1.67	1.41	18.63	2.50	0.78	60.03				Non Plastic		93.04	-	SM	36.13	0.00
UDS 21 BH SPT 5	3.50 - 4.00	1.77	1.41	23.12	2.71	0.93	75.33				Non Plastic		24.44	-	SM	30.11	0.06
UDS 22 BH SPT 5	9.50 - 10.00	1.96	1.64	19.54	2.74	0.67	79.78				Non Plastic		30.77	-	ML	27.47	0.11
UDS 23 BH SPT 5	13.00 - 13.50	1.75	1.31	33.16	2.59	0.97	88.13				Non Plastic		94.16	-	SM	34.61	0.04
UDS 24 BH SPT 5	19.00 - 19.50	1.88	1.55	21.15	2.68	0.72	78.44				Non Plastic		33.61	-	ML	32.21	0.01
UDS 25 BH SPT 5	21.40 - 21.90	1.45	0.87	66.61	2.46	1.82	90.03				Non Plastic		70.74	-			

NOTE : * = direct shear test

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project :

Made by : ben

Location :

: Zone A (Disturbed Sample)

Checked by : ada

Bore Hole No.	Depth m	Bulk den sily, ρ_s g/cm ³	Dry den sily, ρ_d g/cm ³	Moisture content w _n , %	Specific Gravity G _s	Void Ratio e	Degree of Saturation S _r , %	Liquid Limit LL, %	Plastic Limit PL, %	Plasticity Index PI, %	Shrinkage Limit SL, %	Fines # 200 %	Coef. of gradation		Coef. of Permeability, k_{20} m/s	
													C _u	C _c Symbol		
HBR 1	5.00 - 6.00	1.80	1.63	10.23	2.70	0.65	42.27			Non Plastic		6.56	1.29	4.18	SP-SM	3.7×10^{-5}
HBR 2	4.00 - 5.40	1.79	1.57	14.08	2.82	0.80	49.80			Non Plastic		11.64	1.45	7.68	SW-SM	1.0×10^{-5}
HBR 3	3.20 - 5.00	1.87	1.63	14.54	2.75	0.68	58.42			Non Plastic		25.42	-	-	SM	2.6×10^{-6}
HBR 4	1.20 - 2.20	1.96	1.75	11.90	2.82	0.61	55.01			Non Plastic		13.74	-	-	SM	6.1×10^{-6}
HBR 5	4.20 - 5.60	1.80	1.68	7.19	2.87	0.71	29.10			Non Plastic		11.61	1.08	6.48	SW-SM	1.9×10^{-5}
HBR 6	5.30 - 6.00	1.88	1.79	4.91	2.85	0.59	23.70			Non Plastic		12.70	-	-	SM	3.7×10^{-6}
HBR 7	3.00 - 3.90	1.70	1.58	7.85	2.72	0.73	29.43			Non Plastic		15.34	-	-	SM	2.7×10^{-5}
HBR 8	3.80 - 6.00	1.80	1.64	9.94	2.76	0.69	40.01			Non Plastic		11.85	1.19	9.20	SW-SM	7.7×10^{-6}
HBR 9	1.50 - 2.70	1.90	1.76	8.10	2.78	0.58	38.71			Non Plastic		7.58	1.32	5.76	SP-SM	2.0×10^{-5}
HBR 10	2.40 - 3.40	1.80	1.56	15.07	2.76	0.76	54.41			Non Plastic		12.08	-	-	SM	5.5×10^{-6}
HBR 11	3.00 - 4.50	1.82	1.71	6.34	2.78	0.62	28.23			Non Plastic		11.53	1.22	10.16	SW-SM	3.8×10^{-5}
HBR 12	1.15 - 4.00	1.85	1.64	12.47	2.82	0.71	49.22			Non Plastic		14.92	-	-	SM	5.7×10^{-6}
HBR 13	0.30 - 2.50	1.80	1.43	25.81	2.57	0.80	83.30			Non Plastic		26.30	-	-	SM	4.7×10^{-4}

NOTE : ** = constant head permeability

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project

Made by : bem

Location

: Zone B (Undisturbed Sample)

Checked by : ada

Bore Hole No.	Depth m	Bulk den sily. ps g/cm ³	Dry den sily. ps g/cm ³	Moisture content w _n %	Specific Gravity G _s	Void Ratio e	Degree of Saturation S _r %	Liquid Limit LL %	Plastic Limit PL %	Plasticity Index PI %	Liquidly Index LI	Shrinkage Limit SL %	Finer # 200 %	Coef. of gradation		Strength Parameters	
														C _u	C _c	ϕ	c
UDS 26 BH SPT 6	3.00 - 3.50	1.63	1.23	32.18	2.64	1.15	74.18			Non Plastic			67.88	-	-	ML	32.62
UDS 27 BH SPT 6	9.50 - 10.00	2.01	1.73	16.53	2.71	0.57	70.79			Non Plastic			42.77	-	-	SM	33.82
UDS 28 BH SPT 6	15.50 - 16.00	2.10	1.76	19.16	2.71	0.54	96.56			Non Plastic			39.19	-	-	SM	36.87
UDS 29 BH SPT 6	21.00 - 21.50	1.75	1.17	49.01	2.64	1.25	103.68			Non Plastic			76.17	-	-	ML	38.31
UDS 30 BH SPT 6	27.50 - 28.00	2.13	1.93	10.32	2.79	0.44	65.03			Non Plastic			35.86	-	-	SM	35.37
UDS 31 BH SPT 7	7.00 - 7.50	2.00	1.67	19.76	2.69	0.61	87.41			Non Plastic			21.88	-	-	SM	34.61
UDS 32 BH SPT 7	11.00 - 11.50	1.42	0.85	66.19	2.58	2.02	84.56			Non Plastic			42.35	-	-	SM	31.80
UDS 33 BH SPT 7	17.50 - 18.00	1.85	1.50	22.99	2.65	0.76	79.98			Non Plastic			48.57	-	-	SM	37.23
UDS 34 BH SPT 7	21.00 - 21.50	2.28	1.98	14.78	3.03	0.53	84.88			Non Plastic			24.98	-	-	SM	38.31
UDS 35 BH SPT 7	29.30 - 29.80	1.41	0.79	70.25	2.49	2.14	91.03			Non Plastic			57.27	-	-	ML	33.02
UDS 36 BH SPT 8	5.00 - 5.50	1.78	1.43	24.66	2.75	0.92	73.53			Non Plastic			55.50	-	-	ML	33.42
UDS 37 BH SPT 8	9.50 - 10.00	1.75	1.32	32.23	2.69	1.04	83.65			Non Plastic			35.71	-	-	SM	37.60
UDS 38 BH SPT 8	17.50 - 18.00	1.85	1.45	27.34	2.58	0.78	90.54			Non Plastic			70.77	-	-	ML	33.42
UDS 39 BH SPT 8	25.50 - 26.00	2.04	1.51	34.67	2.59	0.71	126.01			Non Plastic			76.84	-	-	ML	39.69
UDS 40 BH SPT 8	29.50 - 30.00	2.09	1.77	18.14	2.72	0.54	91.79			Non Plastic			76.84	-	-	ML	39.35
UDS 41 BH SPT 9	1.00 - 1.50	1.78	1.40	27.18	2.64	0.88	81.29			Non Plastic			21.09	-	-	SM	30.11
UDS 42 BH SPT 9	7.50 - 8.00	1.95	1.45	34.41	2.68	0.85	108.84			Non Plastic			39.20	-	-	SM	33.02
UDS 43 BH SPT 9	15.20 - 15.70	1.82	1.48	23.22	2.61	0.76	79.34			Non Plastic			35.81	-	-	SM	31.82
UDS 44 BH SPT 9	16.80 - 17.30	1.75	1.47	19.32	2.65	0.83	62.57			Non Plastic			32.89	-	-	SM	36.13
UDS 45 BH SPT 9	21.00 - 21.50	2.02	1.75	15.54	2.70	0.54	77.44			Non Plastic			37.68	-	-	SM	34.99

NOTE : * = direct shear test

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project

Location

: Zone B (Disturbed Sample)

Made by : bem

Checked by : ada

Bore Hole No.	Depth m	Bulk den sity, ρ_s g/cm ³	Dry den sity, ρ_d g/cm ³	Moisture content w _w , %	Specific Gravity G _s	Void Ratio e	Degree of Saturation S _r , %	Liquid Limit LL, %	Plastic Limit PL, %	Plastic Index PI, %	Liquidity Index LI	Shrinkage Limit SL, %	Fines # 200 %,	Coef. of gradation		Coef. of Permeability, k _s m/s	
														C _u	C _z		Symbol
HBR 1	1.60 - 2.80	1.79	1.55	15.53	2.78	0.79	54.36			Non Plastic			21.73	-	-	SM	1.7 x 10 ⁻⁵
HBR 2	2.30 - 3.50	1.79	1.56	14.71	2.68	0.72	54.95			Non Plastic			20.41	-	-	SM	1.7 x 10 ⁻⁵
HBR 3	3.50 - 6.00	1.73	1.64	5.54	2.76	0.68	22.36			Non Plastic			2.51	1.14	4.00	SP-SM	1.7 x 10 ⁻⁵
HBR 4	1.80 - 3.30	1.73	1.59	8.83	2.75	0.73	33.27			Non Plastic			9.36	1.15	7.65	SW-SM	4.9 x 10 ⁻⁵
HBR 5	2.10 - 3.60	1.68	1.54	9.12	2.69	0.75	32.83			Non Plastic			3.28	0.97	5.15	SP-SM	5.3 x 10 ⁻⁵
HBR 6	4.60 - 5.80	1.70	1.37	23.69	2.63	0.91	68.20			Non Plastic			42.59	-	-	SM	1.2 x 10 ⁻⁷
HBR 7	1.30 - 2.80	1.83	1.67	9.79	2.82	0.69	39.90			Non Plastic			14.61	-	-	SM	1.4 x 10 ⁻⁵
HBR 8	1.10 - 2.50	1.74	1.64	6.08	2.76	0.68	24.58			Non Plastic			3.41	0.95	4.75	SP-SM	1.5 x 10 ⁻⁵
HBR 9	1.80 - 4.50	1.74	1.61	7.98	2.77	0.72	30.74			Non Plastic			3.11	0.95	5.10	SP-SM	2.7 x 10 ⁻⁵
HBR 10	3.10 - 4.00	1.69	1.52	10.87	2.74	0.80	37.34			Non Plastic			13.84	-	-	SM	5.0 x 10 ⁻⁴
HBR 11	3.30 - 4.00	1.71	1.38	23.55	2.66	0.92	67.95			Non Plastic			68.57	-	-	ML	2.2 x 10 ⁻⁵
HBR 12	3.70 - 5.50	1.70	1.56	8.80	2.64	0.69	33.69			Non Plastic			14.44	-	-	SM	6.4 x 10 ⁻⁴
HBR 13	2.80 - 3.00	1.73	1.55	11.48	2.73	0.76	41.28			Non Plastic			18.93	-	-	SM	8.9 x 10 ⁻⁵

NOTE : ** = constant head permeability

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project

Location

: Zone B (Undisturbed Sample)

Made by : bem

Checked by : ada

Bore Hole No.	Depth m	Bulk den sily. ρ_s g/cm^3	Dry den sily. ρ_d g/cm^3	Moisture content $w, \%$	Specific Gravity G_s	Void Ratio e	Degree of Saturation $S_r, \%$	Liquid Limit $LL, \%$	Plastic Limit $PL, \%$	Plasticity Index $PI, \%$	Liquidity Index LI	Shrinkage Limit $SL, \%$	Finer # 200 $\%$	Conf. of gradation			Strength Parameters	
														Cz	Cu	Symbol	ϕ	c
UDS 46 BH SPT 10	3.50 - 4.00	1.90	1.67	13.72	2.77	0.66	58.02			Non Plastic			47.21	-	-	SM	33.42	0.00
UDS 47 BH SPT 10	7.50 - 8.00	1.69	1.42	18.68	2.73	0.92	55.60			Non Plastic			38.32	-	-	SM	33.42	0.00
UDS 48 BH SPT 10	14.50 - 15.00	1.96	1.75	11.93	2.58	0.47	65.37			Non Plastic			31.33	-	-	SM	34.99	0.00
UDS 49 BH SPT 10	19.30 - 19.80	1.70	1.16	47.35	2.61	1.26	98.25			Non Plastic			60.23	-	-	ML	38.66	0.00
UDS 50 BH SPT 10	23.50 - 24.00	1.78	1.47	21.04	2.69	0.83	88.54			Non Plastic			51.36	-	-	ML	33.42	0.03
UDS 51 BH SPT 11	1.00 - 1.50	1.51	1.31	22.54	2.62	1.00	59.16			Non Plastic			32.66	-	-	SM	27.02	0.00
UDS 52 BH SPT 11	8.50 - 9.00	1.85	1.48	25.04	2.60	0.76	85.61			Non Plastic			66.44	-	-	ML	33.82	0.00
UDS 53 BH SPT 11	16.70 - 17.20	2.03	1.69	19.88	2.65	0.57	92.22			Non Plastic			27.26	-	-	SM	36.50	0.00
UDS 54 BH SPT 11	23.50 - 24.00	2.01	1.74	15.46	2.67	0.54	76.97			Non Plastic			41.60	-	-	SM	39.35	0.04
UDS 55 BH SPT 11	29.20 - 29.70	1.89	1.50	25.70	2.67	0.78	88.10			Non Plastic			82.13	-	-	ML	37.23	0.07
UDS 56 BH SPT 12	5.00 - 5.50	1.57	1.46	7.68	2.77	0.90	23.64			Non Plastic			29.19	-	-	SM	30.96	0.00
UDS 57 BH SPT 12	12.80 - 13.30	1.67	1.05	58.44	2.54	1.41	105.29			Non Plastic			63.61	-	-	ML	36.13	0.00
UDS 58 BH SPT 12	21.00 - 21.50	1.61	1.04	58.13	2.52	1.43	102.10			Non Plastic			69.93	-	-	ML	33.82	0.11
UDS 59 BH SPT 12	22.80 - 23.30	1.65	1.09	51.02	2.46	1.25	100.65			Non Plastic			77.81	-	-	ML	19.29	0.20
UDS 60 BH SPT 12	25.75 - 26.25	2.10	1.80	16.92	2.75	0.53	86.01			Non Plastic			24.90	-	-	SM	36.50	0.02

NOTE : * = direct shear test

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project

Made by : bem

Location

Checked by : ada

Zone C (Disturbed Sample)

Bore Hole No.	Depth (m)	Bulk den sily ² , Po g/cm ³	Dry den sily, Pd g/cm ³	Moisture content, w _n , %	Specific Gravity, G _s	Void Ratio, e	Degree of Saturation, S _r , %	Liquid Limit, LL, %	Plastic Limit, PL, %	Plasticity Index, PI, %	Consistency Index, LI	Standard Limit SL, %	Flow Index, FI, %	Coef. of gradation	Coef. of Permeability, k _v , m/s
HBR 1	2.50 - 3.60	1.68	1.58	6.55	2.79	0.77	23.75			Non Plastic				1.07	3.9 x 10 ⁻⁶
HBR 2	1.50 - 3.70	1.68	1.45	16.19	2.65	0.83	51.52			Non Plastic					2.8 x 10 ⁻⁶
HBR 3	1.50 - 3.00	1.90	1.64	15.64	2.70	0.84	65.64			Non Plastic					2.6 x 10 ⁻⁶
HBR 4	1.50 - 2.80	1.75	1.53	15.34	2.76	0.81	52.35			Non Plastic					8.2 x 10 ⁻⁶
HBR 5	0.50 - 2.00	1.82	1.50	21.37	2.69	0.79	72.41			Non Plastic					3.2 x 10 ⁻⁶
HBR 6	1.50 - 2.60	1.78	1.56	13.99	2.74	0.75	50.79			Non Plastic					4.0 x 10 ⁻⁶
HBR 7	1.00 - 2.00	1.75	1.43	22.70	2.68	0.88	69.21			Non Plastic					9.4 x 10 ⁻⁷
HBR 8	1.50 - 2.50	1.77	1.49	18.69	2.75	0.84	60.89			Non Plastic					2.8 x 10 ⁻⁶
HBR 9	3.30 - 4.40	1.93	1.62	19.37	2.75	0.70	76.00			Non Plastic					1.0 x 10 ⁻⁶
HBR 10	2.50 - 4.80	1.95	1.70	14.75	2.78	0.64	64.48			Non Plastic				6.50	6.0 x 10 ⁻⁷
HBR 11	1.00 - 3.00	1.88	1.63	15.47	2.78	0.71	60.79			Non Plastic				10.36	3.7 x 10 ⁻⁵
HBR 12	2.40 - 4.20	1.65	1.40	17.47	2.77	0.97	49.78			Non Plastic					1.2 x 10 ⁻⁵
HBR 13	2.00 - 3.00	1.76	1.59	10.66	2.74	0.72	40.41			Non Plastic					1.7 x 10 ⁻⁵
HBR 14	2.20 - 3.20	1.68	1.54	9.27	2.79	0.81	31.75			Non Plastic					1.1 x 10 ⁻⁵
HBR 15	2.40 - 3.80	1.69	1.51	11.69	2.71	0.79	40.05			Non Plastic					3.9 x 10 ⁻⁴

NOTE : ** = constant head permeability

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project

Location

: Zone C (Undisturbed Sample)

Made by : bem
Checked by : ada

Bore Hole No.	Depth m	Bulk den sily, ρ_b g/cm ³	Dry den sily, ρ_d g/cm ³	Moisture content w _m %	Specific Gravity G _s	Void Ratio e	Degree of Saturation S _r %	Liquid Limit LL %	Plastic Limit PL %	Plastic Index PI %	Liquidity Index LI	Shrinkage Limit SL %	Finer # 200 %	Strength Parameters*		
														C _u	Symbol	ϕ °
UDS 81 BH SPT 17	8.50 - 9.00	1.86	1.44	29.98	2.06	0.84	91.63				Non Plastic		49.55	-	SM	32.21
UDS 82 BH SPT 17	9.20 - 9.70	1.62	0.98	64.87	2.57	1.61	103.54				Non Plastic		61.39	-	ML	35.75
UDS 83 BH SPT 17	15.10 - 15.60	1.64	1.17	39.78	2.56	1.18	86.16				Non Plastic		73.66	-	ML	34.99
UDS 84 BH SPT 17	21.50 - 22.00	1.55	1.00	55.18	2.62	1.63	88.77				Non Plastic		58.64	-	ML	34.22
UDS 85 BH SPT 17	29.40 - 29.90	1.75	1.35	30.02	2.63	0.95	83.08				Non Plastic		43.05	-	SM	37.95
UDS 86 BH SPT 18	9.20 - 9.70	1.70	1.24	37.30	2.90	1.10	87.84				Non Plastic		47.75	-	SM	35.75
UDS 87 BH SPT 18	11.30 - 11.80	1.40	0.80	74.49	2.42	2.02	89.09				Non Plastic		59.24	-	ML	35.37
UDS 88 BH SPT 18	17.50 - 18.00	1.67	1.06	57.76	2.56	1.42	103.90				Non Plastic		81.92	-	ML	30.96
UDS 89 BH SPT 18	23.00 - 23.50	1.89	1.56	21.03	2.58	0.66	82.83				Non Plastic		38.08	-	SM	36.87
UDS 90 BH SPT 18	24.50 - 25.00	1.44	0.80	80.45	2.46	2.08	95.02				Non Plastic		63.99	-	ML	34.99
UDS 91 BH SPT 19	9.50 - 10.00	1.95	1.66	17.44	2.73	0.64	73.91				Non Plastic		43.66	-	SM	32.21
UDS 92 BH SPT 19	12.50 - 13.00	1.63	1.07	51.97	2.56	1.30	95.94				Non Plastic		59.08	-	ML	31.80
UDS 93 BH SPT 19	21.20 - 21.70	1.93	1.56	23.85	2.66	0.71	89.37				Non Plastic		72.80	-	ML	36.87
UDS 94 BH SPT 19	25.30 - 25.80	2.15	1.80	13.21	2.74	0.45	81.34				Non Plastic		34.31	-	SM	37.23
UDS 95 BH SPT 19	29.00 - 29.50	1.83	1.54	18.53	2.75	0.78	65.23				Non Plastic		32.83	-	SM	36.13
UDS 96 BH SPT 20	8.70 - 9.20	2.03	1.62	25.01	2.72	0.68	100.78				Non Plastic		51.44	-	ML	34.22
UDS 97 BH SPT 20	18.70 - 19.20	2.01	1.70	18.38	2.76	0.63	81.10				Non Plastic		31.55	-	SM	33.82
UDS 98 BH SPT 20	22.70 - 23.20	1.47	0.84	74.34	2.51	1.98	94.39				Non Plastic		57.58	-	ML	33.82
UDS 99 BH SPT 20	26.70 - 27.20	1.85	1.44	28.11	2.62	0.81	90.44				Non Plastic		77.58	-	ML	34.22
UDS 100 BH SPT 20	29.00 - 29.50	1.74	1.25	39.26	2.66	1.13	92.17				Non Plastic		77.01	-	ML	36.13

NOTE : * = direct shear test

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project

Made by : bem

Location

: Zone C (Undisturbed Sample)

Checked by : ada

Bore Hole No.	Depth m	Bulk den sily, ρ_b g/cm ³	Dry den sily, ρ_d g/cm ³	Moisture content w_w , %	Specific Gravity G_s	Void Ratio e	Degree of Saturation S_r , %	Liquid Limit LL, %	Plastic Limit PL, %	Plastic Index PI, %	Liquidity Index LI	Shrinkage Lunil SL, %	Fines # 200 %	Coef. of gradation			Strength Parameters	
														C _u	C _z	Symbol	ϕ	c kg/cm ²
UDS 61 BH SPT 13	7.00 - 7.50	1.64	1.46	26.12	2.65	0.81	85.13			Non Plastic			76.55	-	-	ML	37.60	0.04
UDS 62 BH SPT 13	14.50 - 15.00	1.94	1.74	11.01	2.81	0.61	50.66			Non Plastic			39.29	-	-	SM	32.21	-0.04
UDS 63 BH SPT 13	17.50 - 18.00	1.80	1.75	2.66	2.33	0.33	18.85			Non Plastic			31.07	-	-	SM	33.02	0.00
UDS 64 BH SPT 13	19.00 - 19.50	1.74	1.50	34.30	2.60	1.00	88.92			Non Plastic			55.21	-	-	ML	29.25	-0.10
UDS 65 BH SPT 13	21.00 - 2.50	1.78	1.48	20.44	2.62	0.77	69.30			Non Plastic			44.84	-	-	SM	35.75	0.01
UDS 66 BH SPT 14	3.50 - 4.00	2.01	1.62	24.57	2.67	0.65	100.62			Non Plastic			58.70	-	-	ML	34.99	0.00
UDS 67 BH SPT 14	15.50 - 16.00	1.53	1.04	47.16	2.54	1.44	83.32			Non Plastic			89.99	-	-	ML	20.11	0.11
UDS 68 BH SPT 14	17.00 - 17.50	1.84	1.44	27.78	2.61	0.82	88.87			Non Plastic			43.74	-	-	SM	35.75	-0.00
UDS 69 BH SPT 14	22.70 - 23.20	1.39	0.75	85.71	2.37	2.17	93.76			Non Plastic			70.87	-	-	ML	34.61	0.04
UDS 70 BH SPT 14	27.50 - 28.00	1.83	1.43	27.93	2.66	0.80	86.44			Non Plastic			37.22	-	-	SM	39.01	0.00
UDS 71 BH SPT 15	5.00 - 5.50	1.97	1.79	10.06	2.78	0.55	50.56			Non Plastic			22.23	-	-	SM	30.54	0.00
UDS 72 BH SPT 15	9.00 - 8.50	1.49	0.91	63.87	2.48	1.72	92.02			Non Plastic			62.85	-	-	ML	31.80	-0.00
UDS 73 BH SPT 15	17.50 - 18.00	1.76	1.40	25.33	2.70	0.92	74.12			Non Plastic			54.41	-	-	ML	34.61	0.00
UDS 74 BH SPT 15	21.00 - 21.50	1.35	0.71	91.50	2.40	2.40	91.65			Non Plastic			69.07	-	-	ML	36.87	0.00
UDS 75 BH SPT 15	29.00 - 29.50	1.95	1.54	26.84	2.75	0.79	92.58			Non Plastic			19.32	-	-	SM	34.99	0.00
UDS 76 BH SPT 16	9.10 - 9.60	1.61	1.02	58.08	2.45	1.41	101.24			Non Plastic			55.80	-	-	ML	35.75	0.00
UDS 77 BH SPT 16	10.50 - 11.00	1.84	1.49	23.72	2.68	0.80	79.26			Non Plastic			34.88	-	-	SM	34.99	0.05
UDS 78 BH SPT 16	15.00 - 15.50	1.88	1.55	21.15	2.71	0.75	76.79			Non Plastic			37.33	-	-	SM	35.37	0.10
UDS 79 BH SPT 16	21.00 - 21.50	1.39	0.71	96.45	2.45	2.45	96.28			Non Plastic			63.26	-	-	ML	27.02	0.00
UDS 80 BH SPT 16	29.40 - 29.90	1.55	1.00	55.87	2.55	1.56	91.40			Non Plastic			87.62	-	-	ML	36.50	0.00

NOTE : * = direct shear test

GAMBAR PERENCANAAN AKHIR