

20.277/H/04



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG ATLAS SPORT CLUB II DENGAN BALOK PRATEKAN

Oleh:

MOZES PATTY
NRP. 3198 100 003

RSS

690.580.43

Pat

M-1

2004



PERPUSTAKAAN
ITS

Tgl. Terima

26-5-2004

Terima Dari

H/

No. Agenda Prp

220155

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

SURABAYA

2004

TUGAS AKHIR
MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG
ATLAS SPORT CLUB II
DENGAN BALOK PRATEKAN

Surabaya, Mei 2004
Mengetahui / Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Ketut Dunia, PD.ENG D
NIP. 130 532 019



Budi Suswanto, ST., MT
NIP. 132 206 828

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

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG ATLAS SPORT CLUB II DENGAN BALOK PRATEKAN

Oleh :

MOZES PATTY
NRP. 3198.100.003

Dosen Pembimbing :

BUDI SUSWANTO, ST.MT

ABSTRAK

Gedung Atlas Sport Club II merupakan gedung yang dirancang sebagai pusat olah raga untuk melengkapi fasilitas-fasilitas gedung Atlas Sport Club yang lama. Gedung ini terdiri atas 8 lantai dimana didalamnya termasuk lantai atap. Struktur eksisting gedung Atlas Sport Club II adalah beton bertulang biasa dengan sistem cor ditempat.

Modifikasi perencanaan struktur dengan menambah empat lantai dan menghilangkan kolom-kolom interior gedung pada lima lantai teratas (termasuk atap). Menghilangkan kolom-kolom tersebut akan diperoleh ruangan yang luas dan bebas halangan, tetapi hal tersebut akan menyebabkan bentang balok pada lantai-lantai diatasnya menjadi lebih panjang (24,9 m). Hal ini akan menyebabkan struktur balok membutuhkan dimensi yang sangat besar dalam perencanaannya bila menggunakan beton bertulang biasa.

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

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

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

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

KATA PENGANTAR

Ucapan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena kasih karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan serangkaian perencanaan, penulisan, dan penyusunan Tugas Akhir dengan judul Modifikasi Perencanaan Gedung Atlas Sport Club II Dengan Balok Pratekan.

Tugas akhir ini berisikan perencanaan dan perhitungan desain Gedung Atlas Sport Club II dengan modifikasi yang dilakukan yaitu dengan menggunakan struktur balok pratekan. Perencanaan yang dilakukan menggunakan peraturan-peraturan yang berlaku antara lain SKSNI T-15-1991-03, UBC '97, dan lain-lain. Kiranya dengan adanya Tugas Akhir ini dapat menambah pengetahuan pembaca sekalian terutama dalam aplikasi balok pratekan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak membantu terselesainya seluruh laporan Tugas Akhir ini dengan sebesar-besarnya. Terutama kepada:

1. Bapak Prof. Ir. H. Indrasurya B. M. MSc., PhD., Kepala Jurusan Teknik Sipil ITS.
2. Bapak Ir. Ketut Dunia, PD.ENG dan Budi Suswanto ST, MT, sebagai dosen pembimbing.
3. Bapak Dr. Ir. Edijatno. sebagai Dosen wali.
4. Seluruh teman dan sahabat, bahkan semua pihak yang telah membantu penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Tuhan Memberkati!

Surabaya, April 2004

Penulis

DAFTAR ISI

| | | |
|----------------|--|------|
| Abstrak | | i |
| Kata Pengantar | | ii |
| Daftar Isi | | iii |
| Daftar Gambar | | vi |
| Daftar Tabel | | viii |
| | | |
| BAB I | PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 | Latar Belakang | 1 |
| 1.2 | Perumusan Masalah | 1 |
| 1.3 | Tujuan | 2 |
| 1.4 | Lingkup Tugas Akhir | 2 |
| 1.5 | Metodologi | 3 |
| BAB II | DASAR PERENCANAAN | 4 |
| 2.1 | Data-data teknis perencanaan | 4 |
| 2.1.1 | Data bangunan | 4 |
| 2.1.2 | Data bahan | 4 |
| 2.1.3 | Data tanah | 5 |
| 2.2 | Peraturan yang digunakan | 5 |
| BAB III | DASAR TEORI | 6 |
| 3.1 | Tinjauan Umum. | 6 |
| 3.2 | Dasar perencanaan struktur beton. | 6 |
| 3.2.1 | Perencanaan beban pada struktur | 7 |
| 3.2.2 | Ketentuan mengenai Kekuatan dan Laik Pakai | 8 |
| 3.2.3 | Perencanaan Terhadap gempa | 9 |
| 3.3 | Perencanaan Struktur. | 12 |
| 3.3.1 | Perencanaan pelat. | 12 |
| 3.3.2 | Perencanaan Balok | 14 |
| 3.3.3 | Perencanaan Kolom. | 23 |
| 3.4 | Dasar Perencanaan balok pratekan. | 31 |
| 3.4.1 | Prinsip dasar Balok Pratekan. | 31 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.4.2 | Kehilangan Gaya Pratekan. | 34 |
| 3.4.3 | Tegangan ijin Balok Pratekan. | 44 |
| 3.4.4 | Kontrol kekuatan Batas Balok Pratekan. | 44 |
| 3.5 | Perencanaan Pondasi | 45 |
| BAB IV | PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER | 49 |
| 4.1 | Umum | 49 |
| 4.2 | Perencanaan Dimensi Struktur | 49 |
| 4.2.1 | Perencanaan dimensi balok. | 49 |
| 4.2.2 | Perencanaan dimensi kolom | 51 |
| 4.2.3 | Perencanaan dimensi pelat | 52 |
| 4.2.4 | Perencanaan tangga. | 56 |
| 4.3 | Perencanaan struktur sekunder | 58 |
| 4.3.1 | Pembebanan Pelat | 58 |
| 4.3.2 | Penulangan Pelat | 59 |
| 4.3.3 | Pembebanan tangga | 62 |
| 4.3.4 | Penulangan tangga | 62 |
| 4.3.5 | Pembebanan Balok anak | 64 |
| 4.3.6 | Penulangan balok anak. | 64 |
| BAB V | ANALISA STRUKTUR | 74 |
| 5.1 | Umum | 74 |
| 5.2 | Input Beban Struktur Utama | 74 |
| 5.2.1 | Beban Mati | 74 |
| 5.2.2 | Beban Hidup | 76 |
| 5.2.3 | Beban Angin | 77 |
| 5.2.4 | Beban Gempa | 79 |
| 5.3 | Input karakteristik gempa | 80 |
| 5.3.1 | Pusat Massa | 80 |
| 5.3.2 | Momen Inersia Massa | 81 |
| 5.3.3 | Mode dan Damping | 81 |
| 5.4 | Analisa Struktur | 82 |
| 5.4.1 | Kontrol Geser Dasar Gempa | 82 |
| 5.4.2 | Kontrol Partisipasi Massa | 83 |

| | | |
|----------------|---|-----|
| | 5.4.3 Kontrol Drift | 84 |
| BAB VI | PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA | 85 |
| 6.1 | Umum | 85 |
| 6.2 | Perencanaan Balok Pratekan. | 85 |
| 6.2.1 | Perhitungan Gaya Prategang Awal | 86 |
| 6.2.2 | Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang | 90 |
| 6.2.3 | Kontrol Tegangan Yang terjadi | 102 |
| 6.2.4 | Kontrol kekuatan batas balok pratekan | 105 |
| 6.2.5 | Penulangan Geser Balok Pratekan | 111 |
| 6.2.6 | Penulangan Bantalan Angker Blok Ujung | 115 |
| 6.2.7 | Kontrol lendutan. | 118 |
| 6.3 | Perencanaan Balok Induk. | 120 |
| 6.3.1 | Perencanaan Tulangan Lentur Balok. | 120 |
| 6.3.2 | Perencanaan Tulangan Geser Balok | 123 |
| 6.3.3 | Perencanaan Tulangan Puntir Balok | 124 |
| 6.4 | Perencanaan Kolom | 125 |
| 6.5 | Perencanaan Pertemuan Balok Kolom. | 129 |
| BAB VII | PERENCANAAN PONDASI | 135 |
| 7.1 | Umum | 135 |
| 7.2 | Perencanaan Pondasi | 135 |
| 7.2.1 | Perhitungan Daya Dukung Tanah | 135 |
| 7.2.2 | Perencanaan Pondasi Grup Tiang Pancanng | 136 |
| 7.2.3 | Penulangan Pondasi Grup Tiang Pancanng | 141 |
| 7.3 | Perencanaan Sloof | 143 |
| BAB VIII | KESIMPULAN DAN SARAN | 145 |
| 8.1 | Kesimpulan | 145 |
| 8.2 | Saran | 145 |
| DAFTAR PUSTAKA | | |
| LAMPIRAN | | |

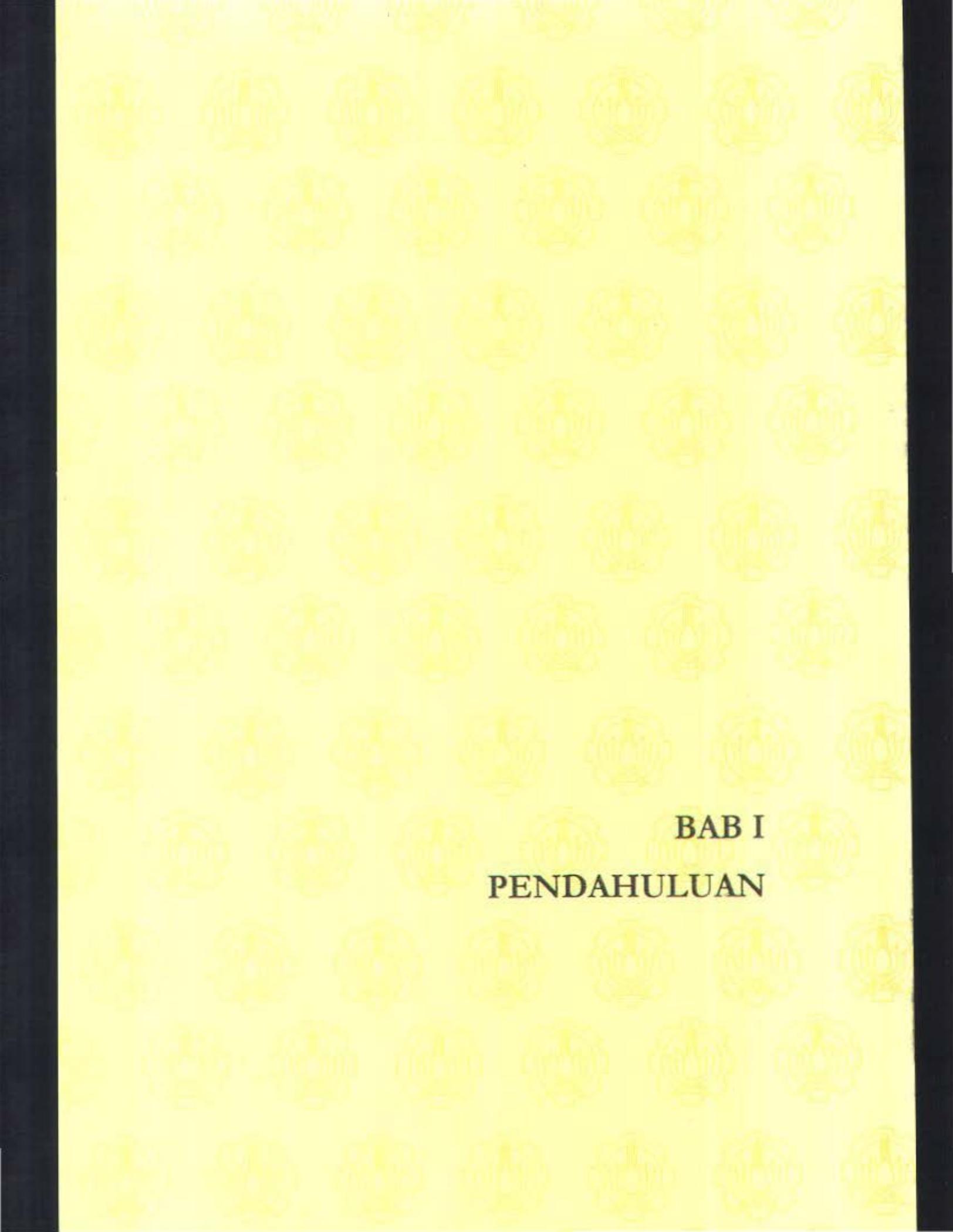
DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 3.1. Diagram tegangan regangan balok tunggal | 15 |
| Gambar 3.2. Diagram tegangan regangan balok rangkap | 15 |
| Gambar 3.3. Penampang balok "T" (interior) | 16 |
| Gambar 3.4. Penampang balok "T" (Eksterior) | 17 |
| Gambar 3.5. Diagram tegangan balok "T" palsu | 17 |
| Gambar 3.6. Diagram tegangan balok "T" asli | 18 |
| Gambar 3.7. Distribusi tegangan sepanjang penampang beton pratekan eksentris | 32 |
| Gambar 3.8. Momen penahan internal pada balok pratekan | 33 |
| Gambar 3.9. Perimbangan tegangan merata akibat beban mati dan merata | 33 |
| Gambar 4.1. Tipe Plat A | 52 |
| Gambar 4.2. Balok Interior 40/60 | 53 |
| Gambar 4.3. Balok Ekterior 50/75 | 54 |
| Gambar 4.4. Balok Ekterior 40/70 | 55 |
| Gambar 4.5. Denah Tangga | 57 |
| Gambar 4.6. Potongan Tangga | 57 |
| Gambar 4.7. Letak pelat A ekterior. | 59 |
| Gambar 4.8. Pelat terjepit elastis | 60 |
| Gambar 4.9. Potongan penulangan pelat tumpuan | 61 |
| Gambar 4.10. Potongan penulangan pelat lapangan | 61 |
| Gambar 4.11. Distribusi pembebanan pada balok anak | 65 |
| Gambar 4.12. Beban ekuivalen pada beban segitiga tunggal | 65 |
| Gambar 4.13. Beban ekuivalen pada dua beban segitiga. | 66 |
| Gambar 4.14. Beban ekuivalen pada dua beban trapesium | 66 |
| Gambar 4.15. Pemodelan struktur rangka dengan sistem grid | 68 |
| Gambar 4.16. Gaya-gaya dalam balok anak kondisi maksimum | 69 |
| Gambar 5.1. Balok Ekterior 50/75 | 78 |
| Gambar 5.2. Grafik Respon Spectra | 80 |
| Gambar 6.1. Dimensi Balok Pratekan | 87 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 6.2. Daerah layak kabel pratekan | 89 |
| Gambar 6.3. Gaya Aksial yang bekerja pada balok pratekan | 101 |
| Gambar 6.4. Tegangan pada balok pratekan saat dua kondisi ekstrim | 104 |
| Gambar 6.5. Tegangan dalam penampang transformasi lapangan | 107 |
| Gambar 6.6. Tegangan dalam penampang transformasi tumpuan | 109 |
| Gambar 6.7. Karakteristik Angker mati tipe 37K5. | 115 |
| Gambar 6.8. Gaya-gaya dalam daerah bantalan ujung | 116 |
| Gambar 6.9. Penulangan bantalan ujung balok pratekan lantai 4 | 118 |
| Gambar 6.10. Letak Sambungan Balok Kolom | 129 |
| Gambar 7.1. Dimensi Poer kolom K4 | 137 |
| Gambar 7.2. Penampang tiang pancang | 138 |
| Gambar 7.3. Geser pons pada poer | 140 |
| Gambar 7.4. Daerah kritis geser pons pada poer | 140 |
| Gambar 7.5. Asumsi jepit pada poer arah x | 141 |
| Gambar 7.6. Asumsi jepit pada poer arah y | 142 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 3.1. Selang Waktu minimum pasca tarik | 34 |
| Tabel 3.2. Koefisien gesekan untuk tendon pasca tarik | 36 |
| Tabel 3.3. Faktor Rangkak terhadap vol. dan permukaan balok pratekan, SCF | 38 |
| Tabel 3.4. Faktor Rangkak terhadap umur beton dan waktu curing, MCF | 39 |
| Tabel 3.5. Variasi rangkak menurut waktu transfer, AUC | 39 |
| Tabel 3.6. Nilai K_{sh} untuk komponen struktur pasca tarik | 40 |
| Tabel 3.7. Variasi rangkak menurut waktu transfer, AUS | 41 |
| Tabel 3.8. Faktor susut terhadap vol. Dan permukaan balok pratekan, SSF | 41 |
| Tabel 3.9. Nilai-nilai K_{re} dan J | 42 |
| Tabel 3.10. Nilai-nilai C | 42 |
| Tabel 3.11. Prosentasi kehilangan gaya pratekan | 43 |
| Tabel 4.1. Dimensi Balok | 51 |
| Tabel 4.2. Dimensi kolom | 52 |
| Tabel 4.3. Dimensi tangga | 58 |
| Tabel 4.4. Pembebanan ekuivalen balok anak | 67 |
| Tabel 5.1. Pembebanan ekuivalen beban mati struktur utama | 75 |
| Tabel 5.2. Pembebanan ekuivalen beban hidup struktur utama | 76 |
| Tabel 5.3. Hubungan period dengan Spectrak Acc. | 79 |
| Tabel 5.4. Pusat Massa | 80 |
| Tabel 5.5. Momen Inersia Massa | 81 |
| Tabel 5.6. Macam kombinasi pembebanan | 82 |
| Tabel 6.1. Besar gaya pratekan dan layout kabel | 90 |
| Tabel 6.2. Tahapan waktu perhitungan <i>loss of prestress</i> tak langsung | 92 |
| Tabel 6.3. Kehilangan gaya prategang (dalam N) | 101 |
| Tabel 6.4. Prosentasi kehilangan gaya prategang | 101 |
| Tabel 6.5. <i>Loss of prestress</i> akibat kekekangan kolom | 102 |
| Tabel 6.6. Kontrol tegangan penampang balok pratekan. | 104 |
| Tabel 6.7. Penulangan lentur balok pratekan | 110 |
| Tabel 6.8. Kekuatan batas balok pratekan | 111 |
| Tabel 7.1. Data NSPT pada Proyek Atlas Sport Club II | 135 |



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Gedung Atlas Sport Club II merupakan gedung yang dirancang sebagai pusat olah raga untuk melengkapi fasilitas-fasilitas gedung Atlas Sport Club yang lama. Gedung ini terdiri atas 4 lantai dimana didalamnya termasuk lantai atap. Struktur eksisting gedung Atlas Sport Club II adalah beton bertulang biasa dengan sistem cor ditempat.

Sebagai bahan studi, penyusun melakukan modifikasi perencanaan struktur dengan menambah empat lantai dan menghilangkan kolom-kolom interior gedung pada lima lantai teratas (termasuk atap). Menghilangkan kolom-kolom tersebut akan diperoleh ruangan yang luas dan bebas halangan, tetapi hal tersebut akan menyebabkan bentang balok pada lantai-lantai diatasnya menjadi lebih panjang (24,9 m). Hal ini akan menyebabkan struktur balok membutuhkan dimensi yang sangat besar dalam perencanaannya bila menggunakan beton bertulang biasa.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Dalam perencanaan struktur ini, yang perlu diperhatikan adalah bagaimana merencanakan kemampuan struktur terhadap beban yang bekerja pada struktur bersangkutan. Berdasarkan latar belakang di atas, ada beberapa metode alternatif perencanaan untuk mengatasi permasalahan yang muncul, yaitu dengan cara:

1. Menggunakan sistim grid.
2. Menggunakan sistim balok pratekan.

Dalam hal ini, penyusun memilih alternatif menggunakan sistim balok pratekan karena ruang bebas yang diperoleh akan lebih luas. Selain itu, bentang balok 24,9 m adalah bentang yang cukup efisien jika dalam perencanaan struktur menggunakan sistim pratekan. Khusus untuk konstruksi beton pratekan perlu diperhatikan adalah pengaruh gaya-gaya yang diakibatkan oleh penarikan tendon terhadap keseluruhan struktur dalam perencanaan nantinya.

1.3. TUJUAN

Tujuan dan garis besar penyusunan Tugas Akhir dengan mengambil objek gedung Atlas Sport Club II adalah :

- Dapat merencanakan struktur beton pratekan yang didasarkan pada kekuatan dan perilaku komponen struktur pada kondisi beban bekerja untuk semua tahap dan pembebanan yang mungkin kritis selama masa layan struktur sejak saat pertama pratekan diberikan.
- Dapat merencanakan struktur gedung yang rasional dan memenuhi persyaratan keamanan struktur, berdasarkan kekuatan dan deformasi yang timbul akibat beban yang bekerja pada struktur tersebut dengan tingkat daktilitas yang telah ditentukan.

1.4. LINGKUP TUGAS AKHIR

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan diatas, maka untuk menghindari penyimpangan pembahasan perlu dibuat pembatasan masalah .Batasan-batasan yang dipakai dalam perencanaan ini adalah :

1. Perencanaan meliputi Struktur Atas dan Bawah:

Struktur Atas meliputi :

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

Struktur Bawah meliputi :

- Perencanaan Poer, Tie beam dan Pondasi

2. Perencanaan gedung sedung Atlas Sport Club II tidak meninjau segi ekonomi dan estetika, tetapi lebih mengutamakan pada fungsi dan keamanan gedung.
3. Tidak menyertakan metode pelaksanaan dan tidak memperhitungkan kesulitan pengadaan material di lapangan.
4. Perencanaan ini tidak termasuk memperhitungkan sistem utilitas bangunan, perencanaan saluran pembuangan, saluran air bersih, instalasi atau jaringan listrik, finishing dan lain sebagainya.

1.5. METODOLOGI

Pada umumnya dalam sebuah perencanaan diperlukan beberapa tahapan penyelesaian, mulai dari tahap pengumpulan data perencanaan sampai pada tujuan akhir dari perencanaan yang dilakukan.

Bertolak dari hal diatas, maka dalam Tugas Akhir ini akan diuraikan beberapa langkah penyelesaian masalah yang dipakai sebagai metode penulisan Tugas Akhir ini. Tahap-tahap tersebut adalah :

1. Mengumpulkan dan mempelajari literature.
2. Architectural study
 - Mempelajari fungsi gedung.
 - Mempelajari beban rencana kerja.
3. Konsep desain.
 - Menetapkan konsep desain struktur dan metode analisis struktur yang mana hal dipenuhi dalam SK SNI T – 15-1991-03.
 - Menetapkan metode analisa system dengan alat Bantu *software* SAP 2000.
4. Preliminary desain
Memperkirakan dimensi awal dari elemen-elemen struktur meliputi pelat, balok anak, balok induk, balok pratekan dan kolom.
5. Melakukan perencanaan struktur sekunder meliputi :
 - Perencanaan pelat atap dan lantai.
 - Perencanaan Balok Anak.
 - Perencanaan Tangga.
6. Structure analysis dan modeling.
 - Memodelkan struktur utama.
 - Memperhitungkan gaya-gaya dalam yang bekerja dengan menggunakan progam bantu.
7. Merencanakan dimensi struktur.
 - Perhitungan struktur beton bertulang.
 - Mendesain balok pratekan dengan memperhitungkan *loss of prestress*.
8. Merencanakan Pondasi berdasarkan gaya-gaya dalam yang ada.
9. Menuangkan bentuk struktur dan hasil perhitungan dalam bentuk gambar.

BAB II
DASAR PERENCANAAN

BAB II

DASAR PERENCANAAN

2.1. DATA-DATA PERENCANAAN.

Dalam merencanakan suatu struktur, data-data yang menunjang perencanaan awal sangat diperlukan. Data-data tersebut mencakup data umum bangunan, data bahan, dan data tanah. Data-data berikut merupakan data-data bangunan sebelum perencanaan yang nantinya akan dipakai juga untuk bangunan yang baru dengan beberapa perubahan.

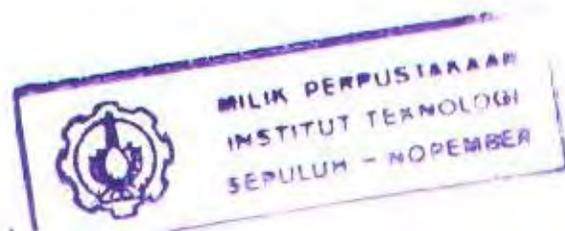
2.1.1. Data-data gedung.

| | |
|----------------|---|
| Nama Gedung | : Atlas Sport Club II |
| Lokasi | : Jl. Darmahusada Indah Barat |
| Jenis Gedung | : Beton bertulang dengan balok pratekan. |
| Jumlah lantai | : 8 (delapan) lantai dengan 5 (lima) lantai teratas menggunakan balok pratekan. |
| Luas Gedung | : $\pm 2000 \text{ m}^2$ |
| Panjang Gedung | : 46.5 m |
| Lebar Gedung | : 42.9 m |
| Tinggi Gedung | : 27.0 m |

2.1.2. Data Bahan

Data bahan struktur beton yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Beton. Mutu beton yang digunakan untuk struktur gedung adalah K-300 (f^c 30 MPa) dan untuk struktur pondasi adalah K-250 (f^c 25 MPa), sedangkan untuk balok pratekan menggunakan beton mutu K-400 (f^c 40 MPa)
2. Baja. Mutu baja yang digunakan untuk tulangan struktur antara lain yaitu baja polos $f_y = 320$ MPa dan baja ulir dengan mutu $f_y = 390$ MPa, sedangkan untuk baja prategang digunakan mutu baja sesuai spesifikasi.



2.1.3. Data Tanah

Perencanaan pondasi pada Gedung Atlas Sport Club II ini sesuai dengan data penyelidikan tanah di lapangan.¹ Dari data hasil penyelidikan tersebut diketahui jenis tanah yang ada serta nilai-nilai SPT-nya.

2.2. PERATURAN YANG DIGUNAKAN

Peraturan-peraturan yang digunakan dalam perencanaan gedung ini antara lain adalah:

1. Pembebanan. Perencanaan beban yang bekerja pada struktur, baik beban mati, beban hidup maupun angin, berdasarkan pada ketentuan pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, (PPI 1983).
2. Beton. Perencanaan struktur beton pada gedung utama diambil berdasarkan ketentuan pada konsep Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SKSNI T-15-1991-03, Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI 1971), dan Pedoman Beton 1989 (PB 1989).
3. Beban gempa direncanakan mengacu pada konsep gempa dinamis dengan analisa respon spectrum berdasarkan Uniform Building Code (UBC 1997) dan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (PPTGIUG 1983).

¹ Terlampir.

BAB III
DASAR TEORI

BAB III

DASAR TEORI

3.1. TINJAUAN UMUM

Munculnya sistem prategang berdasarkan konsep bahwa beton, walaupun kuat terhadap tekanan, lemah terhadap tarikan, dengan menarik baja dan menahannya ke beton akan membuat beton tertekan yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk mengimbangi tegangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati ataupun hidup.

Salah satu defenisi mengenai beton prategang diberikan oleh Komisi ACI dalam beton prategang. Beton pratekan adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu. Pada elemen-elemen beton bertulang, sistem prategang biasanya dilakukan dengan menarik tulangnya.²

Beton pratekan mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dengan cara aktif, dicapai dengan cara menarik baja yang terdapat dalam beton dan menahannya ke beton itu juga. Ini berbeda dengan beton bertulang yang mengkombinasikan beton dengan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan keinginannya.

Perkembangan beton pratekan telah terjadi pada penggunaan beton pasca tarik pada gedung-gedung, jembatan-jembatan, kontainer tekanan, termasuk kombinasi antara sistem pratarik, pasca tarik, dan penulangan secara konvensional pada struktur dan komponen-komponennya. Sistem prategang yang digunakan pada baja atau beton tujuan pokoknya yaitu untuk menimbulkan tegangan dan regangan yang dikehendaki pada struktur, selain itu juga untuk mengimbangi tegangan dan regangan yang dikehendaki.

3.2. DASAR PERENCANAAN STRUKTUR BETON

Dengan mempelajari data awal berupa bentuk struktur disesuaikan menurut desain awal gedung dengan modifikasi sesuai keperluan sedangkan ukuran elemen-elemen

² T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 12-13.

beton direncanakan kembali dengan dimensi yang baru. Data lainnya adalah spesifikasi material dan beban-beban yang bekerja, termasuk di dalamnya adalah beban gempa.

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

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

3.2.1. Perencanaan Beban Pada Struktur

Jenis pembebanan yang dipertimbangkan dalam perencanaan gedung ini meliputi:

1. Beban Mati (D)³

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

2. Beban Hidup (L)⁴

Mencakup semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Beban hidup pada struktur gedung direncanakan berdasarkan PPIUG 1983.

3. Beban Angin (W)⁵

³ Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, Pasal 1.1

⁴ Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, Pasal 1.2

⁵ Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, Pasal 1.3

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

4. Beban Gempa (E)⁶

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

3.2.2. Ketentuan mengenai Kekuatan dan Laik Pakai

Untuk perencanaan kekuatan dan kelaikan pakai Gedung Atlas Sport Club II ini mengacu pada peraturan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2, dimana disebutkan bahwa struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya berfaktor.

Menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.2 tentang Kuat Perlu agar struktur dan komponen struktur memenuhi ketentuan kekuatan dan laik pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban, sebagai berikut:

$$U = 1,4.D + 1,6.L$$

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

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

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

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

⁷Dalam menentukan Kuat Rencana suatu komponen struktur, maka kuat minimalnya harus direduksikan dengan faktor reduksi kekuatan yang sesuai dengan sifat beban. Kuat rencana yang tersedia pada suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain dan penampangnya, dalam kriteria lentur, beban normal,

⁶ Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, Pasal 1.4

⁷ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3

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

3.2.3. Perencanaan Terhadap Gempa

Ada beragam beban dinamik yang bekerja pada struktur, beban gempa merupakan beban dinamik yang penting dalam perencanaan struktur. Gaya gempa arah vertikal relatif kecil pengaruhnya terhadap struktur karena pada umumnya struktur direncanakan berdasarkan gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai, sehingga struktur jarang sekali terjadi runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sedangkan gaya gempa horisontal yang diterima oleh titik-titik lemah pada struktur yang apabila kekuatannya tidak memungkinkan akan langsung menyebabkan keruntuhan struktur.

Untuk perencanaan bangunan tahan gempa, dipakai PPTGIUG 83, bahwa perencanaan dari suatu struktur gedung pada daerah gempa haruslah menjamin struktur bangunan tersebut agar tidak rusak atau runtuh oleh gempa kecil atau sedang. Tetapi oleh gempa yang kuat struktur utama boleh rusak tetapi tidak boleh sampai terjadi keruntuhan pada gedung. Hal ini dapat dicapai jika struktur gedung tersebut mampu melakukan perubahan bentuk secara daktail, dengan cara memancarkan energi gempa serta membatasi gaya gempa yang bekerja padanya.

3.2.3.1. Pengertian Daktilitas

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung (PPTGIUG 1983), daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung atau unsur struktur itu untuk mengalami simpangan-simpangan plastis secara berulang dan bolak-

* SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3.(2)

balik diatas titik leleh pertama sambil mempertahankan sebagian besar dari kemampuan awalnya dalam memikul beban. ⁹Daktilitas merupakan perbandingan anatara simpangan maksimum rencana (Δu) dengan simpangan leleh awal (Δy) dari komponen struktur yang ditinjau.

3.2.3.2. Tingkatan Daktilitas

Mengenai tingkat daktilitas, SKSNI T-15-1991 pasal 3.14.1 mengklasifikasikan tingkat daktilitas sebagai berikut:

1. Tingkat Daktilitas 1 (*Elastis*)

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail pada struktur bangunan sangat sedikit sekali. Struktur sepenuhnya berperilaku elastis, $\mu = 1$. Beban rancang lateral dasar harus dikalikan dengan suatu factor tipe struktur (K) sebesar = 4.

2. Tingkat Daktilitas 2 (*Terbatas*)

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

3. Tingkat Daktilitas 3 (*Penuh*)

Struktur beton diproporsikan sedemikian rupa sehingga penyelesaian detail khusus akan memungkinkan struktur memberikan respon inelastic terhadap beban siklis yang bekerja dan mampu menjamin pengembangan mekanisme sendi plastis dengan kapasitas disipasi energi yang diperlukan tanpa mengalami kermutuhan, $\mu = 4$. Kondisi ini dinamakan juga daktalitas penuh. Beban rancang dikalikan (K) minimum = 1.

3.2.3.3. Dasar Pemilihan Tingkat Daktilitas

Dalam perencanaan struktur Gedung Atlas Sport Club II ini, penulis merancang sistem portal daktail yang dipilih untuk penahanan beban lateral yang ada akibat beban

⁹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.14.1

gempa maupun beban gravitasi adalah dengan daktilitas terbatas (Daktilitas Tingkat 2), dimana beban gempa dari hasil perhitungan dikalikan dengan faktor $K = 2$.

Bila suatu gedung direncanakan dengan tingkat daktilitas 1, maka beban gempa yang direncanakan adalah 4 kali beban gempa yang dihitung dengan analisa respons spektrum. Karena besarnya beban gempa tersebut, maka ukuran penampang menjadi sangat besar sehingga perencanaan bangunan menjadi tidak ekonomis lagi.

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

Pada struktur dengan daktilitas terbatas, faktor daktilitasnya adalah 2. Artinya 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. Dengan kata lain syarat-syarat pendetailan yang dituntutkan menjadi lebih longgar, tetapi sebagai konsekwensinya faktor jenis struktur untuk menghitung gaya geser dasar menjadi lebih besar.

3.2.3.4. Perencanaan Tingkat Daktilitas 2

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

Persyaratan umum

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

Persyaratan khusus

- Rasio tulangan longitudinal total tidak boleh kurang dari 1 % dan tidak boleh lebih dari 6 % dan 8 % pada daerah sambungan.
- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup tunggal ataupun majemuk.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh melebihi dari $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter batang sengkang, dan 300 mm.
- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak boleh lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi $\frac{1}{2}$ dimensi terkecil dari suatu komponen struktur yang menerima lentur, atau 10 kali diameter tulangan memanjang dan harus lebih kecil dari 200 mm.
- Pada daerah sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) harus diambil sebesar $\frac{1}{2}$ dari yang diisyaratkan dalam pasal 3.4. SKSNI T-15-1991.

3.3. PERENCANAAN STRUKTUR

3.3.1. Perencanaan Pelat

Pelat adalah elemen horisontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur.¹⁰ Pelat dianggap sebagai diafragma yang sangat kaku (*rigid floor diafragma*) sehingga mampu mendistribusikan beban gempa pada struktur utama. Pada perencanaannya pelat dibedakan menjadi pelat satu arah (*one way slab*) yang memiliki rasio antara bentang panjang dengan bentang pendeknya sama dengan atau lebih dari dua dan pelat dua arah (*two way slab*) yang memiliki rasio antara bentang panjang dengan bentang pendeknya lebih kecil dari dua.

¹⁰ Edward G. Nawy, Dr. Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, 1998.

Persyaratan khusus

- Rasio tulangan longitudinal total tidak boleh kurang dari 1 % dan tidak boleh lebih dari 6 % dan 8 % pada daerah sambungan.
- Pada seluruh tinggi kolom harus dipasang tulangan transversal dari sengkang tertutup tunggal ataupun majemuk.
- Spasi maksimum dari sengkang tertutup pada kolom tidak boleh melebihi dari $d/4$, sepuluh kali diameter tulangan longitudinal terkecil, 24 kali diameter batang sengkang, dan 300 mm.
- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang harus dipasang dengan spasi tidak boleh lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi $\frac{1}{2}$ dimensi terkecil dari suatu komponen struktur yang menerima lentur, atau 10 kali diameter tulangan memanjang dan harus lebih kecil dari 200 mm.
- Pada daerah sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) harus diambil sebesar $\frac{1}{2}$ dari yang diisyaratkan dalam pasal 3.4. SKSNI T-15-1991.

3.3. PERENCANAAN STRUKTUR

3.3.1. Perencanaan Pelat

Pelat adalah elemen horisontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur.¹⁰ Pelat dianggap sebagai diafragma yang sangat kaku (*rigid floor diafragma*) sehingga mampu mendistribusikan beban gempa pada struktur utama. Pada perencanaannya pelat dibedakan menjadi pelat satu arah (*one way slab*) yang memiliki rasio antara bentang panjang dengan bentang pendeknya sama dengan atau lebih dari dua dan pelat dua arah (*two way slab*) yang memiliki rasio antara bentang panjang dengan bentang pendeknya lebih kecil dari dua.

¹⁰ Edward G. Nawi, Dr. Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, 1998.

3.3.1.1. Penulangan Lentur Pelat

Penulangan pelat beton mengacu pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, dengan metode perencanaan langsung. Berdasarkan metode ini, maka jumlah momen terfaktor positif dan negatif mutlak dalam setiap arahnya adalah: ¹¹

$$M_o = \pm 0,001.U.l_i^2.x$$

dimana M_o = statik momen terfaktor total.

U = beban terfaktor per unit luas.

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

x = koefisien pengali.¹²

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

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

$$^{13} \rho_{balance} = \frac{0,85.\beta.f'c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$^{14} \rho_{max} = 0,75.\rho_b$$

$$^{15} \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

3.3.1.2. Penulangan Susut dan Suhu¹⁶

Pada pelat struktural dimana tulangan lenturnya terpasang satu arah saja, dipasang tulangan susut dan suhu yang arahnya tegak lurus terhadap tulangan lentur.

¹¹ PBB1 1971, pasal 13.3.

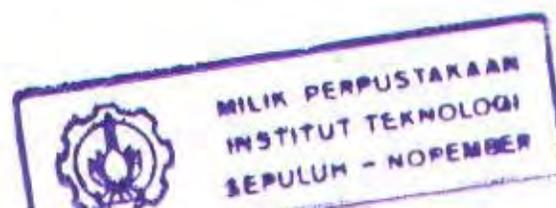
¹² PBB1 1971, tabel 13.3.2, dengan asumsi perletakan dengan balok terjepit elastis.

¹³ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.4.(3)

¹⁴ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3.(3)

¹⁵ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5.(1)0.

¹⁶ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12



Dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau 500 mm. Memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton tidak kurang dari 0,0020 bila menggunakan batang tulangan ulir mutu 300.

3.3.2. Perencanaan Balok

¹⁷Asumsi yang dipergunakan dalam analisa beton bertulang yang diberi beban lentur adalah :

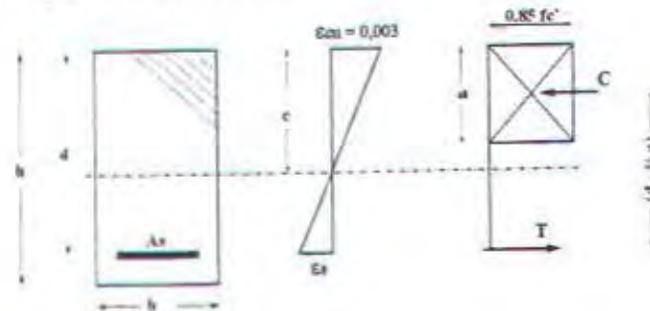
- Regangan dalam tulangan dan beton diasumsikan berbanding langsung dengan jarak dari sumbu netral.
- Regangan maksimum pada serat tekan beton terluar sama dengan 0,003.
- Tegangan dalam tulangan dibawah kuat leleh f_y , harus diambil sebesar $E_s \times \epsilon_s$, untuk regangan yang lebih besar dari 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 $a = \beta_1 \cdot c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.
 - b. Faktor β_1 harus diambil sebesar :

| | |
|---|--------------------------|
| $\beta_1 = 0.85$ | untuk $f_c' \leq 30$ MPa |
| $\beta_1 = 0.85 - (f_c' - 30) \times 0.008$ | untuk $f_c' > 30$ MPa |
| $\beta_1 \geq 0.65$ | untuk $f_c' \leq 55$ MPa |

¹⁷ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2

3.3.2.1. Penulangan Lentur Balok

Perencanaan Lentur dengan tulangan tunggal



Gambar 3.1. Diagram tegangan regangan balok dengan tulangan tunggal

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa :

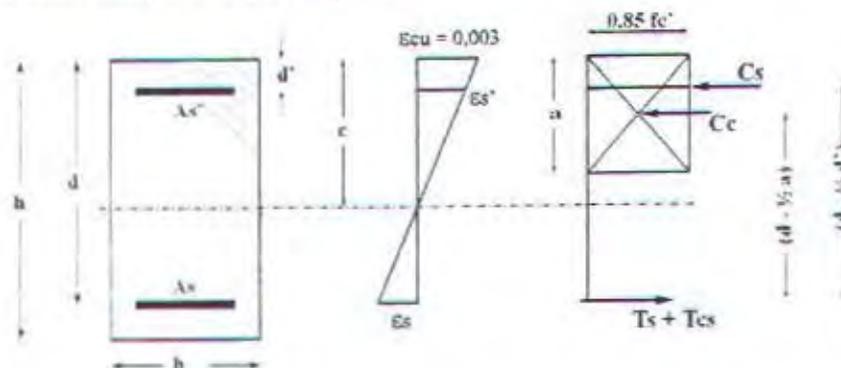
$$C = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$C = T$$

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

Perencanaan Lentur dengan tulangan rangkap



Gambar 3.2. Diagram tegangan regangan balok dengan tulangan rangkap

Dari gambar di atas analisisnya dapat diuraikan dalam dua bagian :

Untuk bagian I :

$$T_s = (A_s - A_s') \cdot f_y$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$T_s = C_c$$

Untuk bagian II :

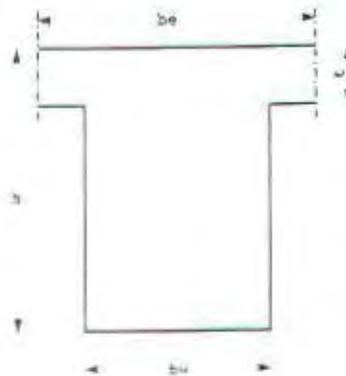
$$C_s = T_{cs} = A_s' \cdot f_y$$

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

Perencanaan Lentur pada 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 , sebagai yang terkecil dari berikut :



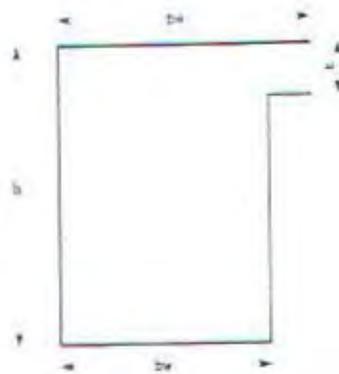
Gambar 3.3. Penampang balok 'T' (interior)

Untuk balok 'T' interior :

$$b_e = \frac{1}{4} L$$

$$b_e = b_w + 16.t$$

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



Gambar 3.4. Penampang balok 'T' (exterior)

Untuk balok 'T' interior :

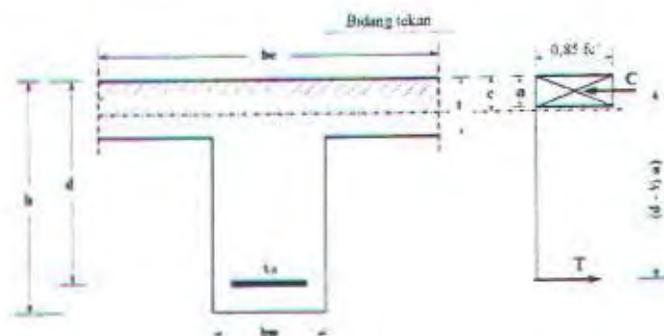
$$b_e = b_w + \frac{1}{12} \cdot L$$

$$b_e = b_w + 6 \cdot t$$

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

Kondisi Penampang Balok 'T' Palsu

Bila $c < t$, seperti dalam gambar,



Gambar 3.5. Diagram tegangan balok 'T' palsu.

dimana,

$$c = \frac{As \times fy}{\beta_1 \times 0,85 \times f'_c \times b_e}$$

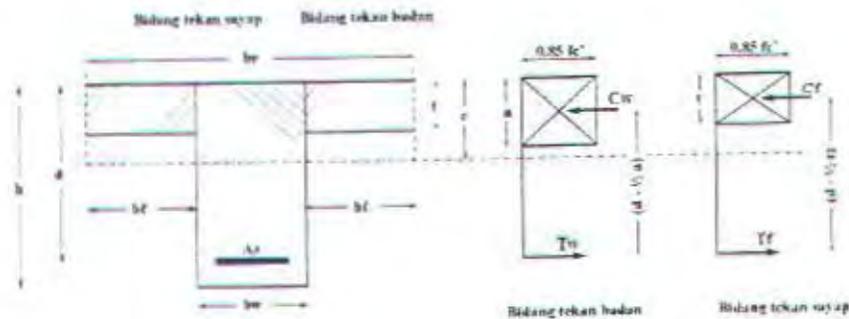
$$a = c \times \beta_1$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

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

Kondisi Penampang Balok 'T' Asli.

Bila $c > t$, seperti dalam gambar,



Gambar 3.6. Diagram tegangan balok 'T' asli.

- Tekan pada sayap,

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

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

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

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

Momen nominal sayap,

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

- Tekan pada badan,

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

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

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

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

Momen nominal badan balok

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

- Momen nominal penampang 'T',

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

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

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

- Rasio penulangan balance untuk balok 'T',

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

$$^{18} \bar{\rho}_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

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

$$^{19} \rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

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 :

- Rasio tulangan minimum.

$$^{20} \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

- Sebagai alternatif SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3-5 mengijinkan rasio tulangan minimum diperbesar $\frac{4}{3}$ rasio tulangan yang diperlukan.
- Rasio tulangan balance.

$$^{21} \rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

- Rasio tulangan maksimum.

$$^{22} \rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

3.3.2.2. Penulangan Geser Balok

Gaya geser yang bekerja pada penampang struktur yang ditinjau harus direncanakan sehingga :²³

$$V_u \leq \phi V_n$$

¹⁸ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.4.(3)

¹⁹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3.(3)

²⁰ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5.(1)

²¹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.4.(3)

²² SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3.(3)

²³ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.1.(1)

$$V_n = V_c + V_s$$

dimana :

- 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:

Kekuatan Geser Nominal oleh Beton

$${}^{24}V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w \cdot d$$

$${}^{25}V_c \leq 0,3\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$\text{atau } {}^{26}V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w \cdot d$$

Kekuatan Geser Nominal Oleh Tulangan Geser

Batasan-batasan kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser sesuai dengan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5 adalah:

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3}\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad {}^{27}V_s \text{ max} = \frac{2}{3}\sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Kategori desain dan syarat-syarat :

1. ${}^{28}V_u \leq 0,5\phi V_c$

Tidak perlu tulangan geser

2. $0,5\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$

Perlu tulangan minimum

²⁴ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.3.(1).(1), utk komponen struktur yang dibebani geser dan lentur saja.

²⁵ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.3.(2).(1)

²⁶ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.3.(1).(2), utk komponen struktur yang dibebani tekan aksial.

²⁷ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(6).(8)

²⁸ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(6).(1)

$$\text{dipasang tulangan}^{29} : A_v = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y}$$

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

$$3. \quad \phi V_c < V_u \leq (\phi V_c + \phi V_s \text{ min})$$

Dipasang tulangan geser sesuai ketentuan 2

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

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

$$\text{dengan}^{31} \quad s \leq d/2 \\ \leq 600 \text{ mm}$$

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

$$\text{dipasang tulangan ; }^{32} V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$\text{dengan}^{33} \quad s \leq d/4 \\ \leq 300 \text{ mm}$$

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

$$\text{minimum : }^{34} A_v + 2A_t = \frac{b_w \cdot d}{3 f_y}$$

3.3.2.3. Penulangan Puntir Balok

Momen torsi yang bekerja pada penampang struktur yang ditinjau harus direncanakan berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.6 sehingga :

$$T_u \leq \phi \cdot T_n$$

$$T_n = T_c - T_s , \quad \text{dimana :}$$

²⁹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(5).(3)

³⁰ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(6).(1)

³¹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(4).(1)

³² SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(6).(2)

³³ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(4).(3)

³⁴ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(5).(5)

- 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

Kuat momen torsi oleh beton (T_c)

Kuat momen torsi oleh beton T_c harus dihitung dengan :

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

Kuat momen torsi oleh tulangan torsi

Kuat momen torsi oleh tulangan torsi T_s harus dihitung dengan :

$$T_s = \frac{A_t \cdot \alpha_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y}{s}$$

$$\alpha_t = \frac{\left(2 + \frac{y_1}{x_1} \right)}{3} \leq 1.50$$

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

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

Nilai maksimum tulangan torsi adalah $T_s < 4T_c$

3.3.3. Perencanaan Kolom

Kolom adalah elemen vertikal yang memikul sistem lantai struktural.³⁵ Elemen ini merupakan elemen yang mengalami tekan dan pada umumnya disertai momen lentur. Komponen struktur yang menerima lentur dan aksial tekan secara serentak harus diperhitungkan sebagai *beam column* dengan mempertimbangkan pengaruh tekuk yang terjadi akibat pengaruh kelangsingannya. Dengan adanya faktor tekuk tersebut, pada komponen struktur tekan dan lentur terjadi momen tambahan. Untuk komponen struktur tekan dan lentur langsing, momen-momen pada ujung kolom harus diperbesar dengan suatu faktor pembesaran.

Kolom Pendek dan Kolom Panjang

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.

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

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.

³⁵ Edward G. Nawi, Dr. Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, 1998.

Pembatasan Tulangan Kolom

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

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

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

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

Kolom Pendek

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

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

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

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

dimana :

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

Kolom Panjang

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

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

Faktor Pembesaran Momen

Dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.11.5 menetapkan bahwa perencanaan komponen struktur tekan beton bertulang dilakukan dengan menggunakan beban aksial rencana (P_u) yang didapat dari analisis rangka elastik dan momen rencana yang sudah dibesarkan (${}^{36}M_c$) yang didefinisikan :

$$M_c = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s}$$

dengan :

M_c = momen rencana kolom setelah diperbesar.

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

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

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

$${}^{37} \delta_b = \frac{C_m}{1 - (P_u / \phi P_c)} \geq 1$$

$${}^{38} \delta_s = \frac{C_m}{1 - (\Sigma P_u / \phi \Sigma P_c)} \geq 1$$

dimana :

$${}^{39} C_m = 0.6 + 0.4 \left[\frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right] > 0.4$$

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

Untuk *unbraced frame* $C_m = 1$

³⁶ SKSNI T-15-1991-03 pers. 3.3-6

³⁷ SKSNI T-15-1991-03 pers. 3.3-7

³⁸ SKSNI T-15-1991-03 pers. 3.3-8

³⁹ SKSNI T-15-1991-03 pers. 3.3-12

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

$$^{40} P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k.Ln)^2}$$

$$^{41} EI = \frac{0.2E_c I_g + E_s I_s}{1 + \beta_d}$$

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

ϕ = faktor reduksi kekuatan

= 0.65 (untuk komponen kolom dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat).

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

3.3.3.1. 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 :

⁴⁰ SKSNI T-15-1991-03 pers. 3.3-9

⁴¹ SKSNI T-15-1991-03 pers. 3.3-10

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

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

harga β berkisar antara 0.55 sampai dengan 0.65. Untuk desain lebih akurat biasa digunakan 0.65. Dari dua harga momen di atas dipilih yang terbesar untuk mendesain tulangan dengan bantuan diagram interaksi. Diagram interaksi M-N tersebut dibuat berdasarkan bermacam-macam mutu beton dan mutu baja tulangan, sumbu ordinatnya menyatakan P_u dan sumbu absisnya menyatakan M_u dengan rumus sebagai berikut :

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

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

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

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

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

yang nantinya akan menghasilkan A_{ada} .

5. Pengontrolan membandingkan P_n penampang dengan P_n yang terjadi.

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

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

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 :

$$\frac{1}{P_{nb}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{ob}} \geq P_{nada}$$

dimana :

P_{nx} = gaya aksial nominal arah x

P_{ny} = gaya aksial nominal arah y

P_{ob} = kekuatan nominal tanpa eksentrisitas

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

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

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

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

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

3.3.3.2. 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 berikut⁴² :

- 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 $d/4$, 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 lebih dari $d/2$ pada seluruh panjang komponen struktur tersebut.
- Pada komponen struktur kolom, torsi komabilitas tidak boleh dipakai karena, pada kolom tidak terjadi redistribusi gaya-gaya dalam kecuali untuk suatu komponen kolom khusus.
- Pada daerah ujung sejarak d dari muka kolom, kuat geser yang disumbangkan (ϕV_c) harus diambil sebesar setengah dari yang disyaratkan dalam SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.

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

2.7 Pertemuan Balok dan Kolom (Beam Column Joint)

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

⁴² SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.14.9.(3).(3)

bertulang pada penahan gaya gempa, SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.14.2.(1) butir 3 memberikan batasan sebagai berikut :

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

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

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

1. Balok

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

2. Kolom

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

- Pada setiap muka joint dan pada kedua sisi dari setiap penampang harus dipasang tulangan transversal sepanjang l_0 dari muka yang ditinjau. Panjang l_0 tidak kurang dari :
 - Tinggi komponen struktur untuk $Nu,k < 0,3.Ag.f_c'$.
 - Satu setengah dari tinggi komponen dimensi struktur, untuk $Nu > 0,3.Ag.f_c'$.
 - Seperenam bentang bersih dari komponen struktur.
 - 450 mm.

Menurut karakteristiknya yang lain kolom dibedakan dalam dua macam yaitu, kolom pendek dan kolom panjang. Kolom pendek bila dibebani gaya aksial lebih besar dari kapasitasnya akan mengalami keruntuhan bahan yaitu runtuhnya beton sebelum mencapai ragam keruntuhan tekuknya, sehingga bahaya akibat tekuk tidak diperhitungkan.

Kolom panjang bila perbandingan kelangsingan untuk kolom pendek tidak dipenuhi. Kolom dengan perbandingan kelangsingan besar akan mengakibatkan lendutan kesamping (menekuk) akibat momen sekunder yang terjadi, sehingga mengurangi momen nominal kolom. Untuk itu, diperlukan suatu faktor pembesaran momen yang diperhitungkan terhadap panjang tekuk kolom.

dimana,

3.4. DASAR PERENCANAAN BALOK PRATEKAN

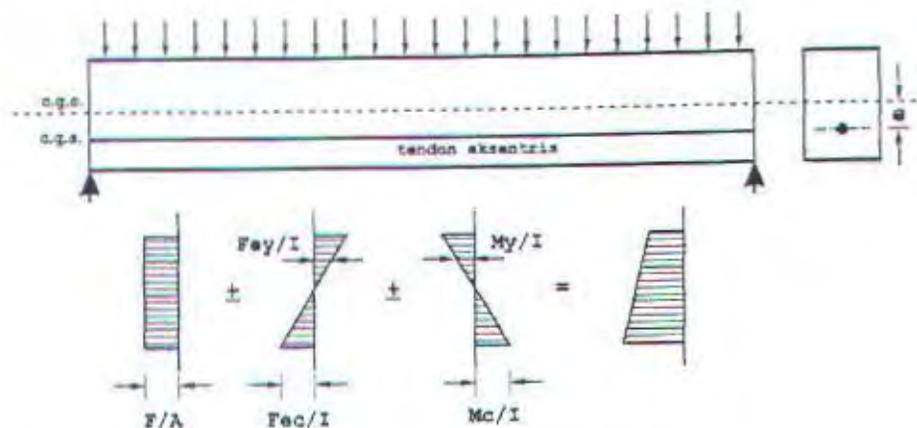
3.4.1. Prinsip Dasar Beton Pratekan

Konsep yang berbeda sampai saat ini dapat dan telah dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar beton pratekan. Semuanya merupakan konsep dasar perencanaan beton pratekan.

Konsep Pertama.

Konsep ini memberlakukan beton sebagai bahan yang elastis. *Eugene Freyssinet* memvisualisasikan bahwa beton pratekan adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu. Beton akan mengalami dua sistem pembebanan. Gaya internal pratekan dan beban eksternal.

Dalam sebuah penampang balok sederhana (Gambar 3.1) dengan tendon pratekan pada titik beratnya, tegangan tekan internal merata akan terjadi akibat gaya tarik prategang pada tendon yang terdapat pada balok dengan penampang tertentu. Akibat momen ekstrenal yang timbul karena beban dan berat sendiri balok, maka akan timbul pula tegangan tekan dan tarik eksternal pada penampang balok.



Gambar 3.7. Distribusi tegangan sepanjang penampang beton pratekan eksentris.

Jika terdapat eksentrisitas antara titik berat tendon dengan titik berat penampang beton, maka momen internal akibat eksentrisitas tersebut akan timbul sehingga distribusi tegangan pada penampang balok adalah:

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{F.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

dimana, f = tegangan pada penampang.

F = gaya prategang efektif pada tendon.

A = luas penampang beton.

e = eksentrisitas tendon terhadap sumbu penampang balok.

y = jarak terhadap sumbu penampang balok.

I = inersia penampang balok.

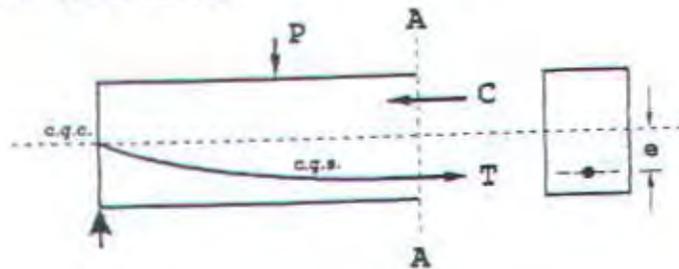
M = momen akibat beban dan berat sendiri pada penampang.

Konsep Kedua.

Konsep ini mempertimbangkan beton pratekan sebagai kombinasi gabungan dari baja dan beton, dengan demikian terjadi kopel penahan untuk melawan momen eksternal (Gambar 3.2). Distribusi tegangan pada penampang balok adalah:

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{M.c}{I}$$

dimana, M = momen akibat kopel.



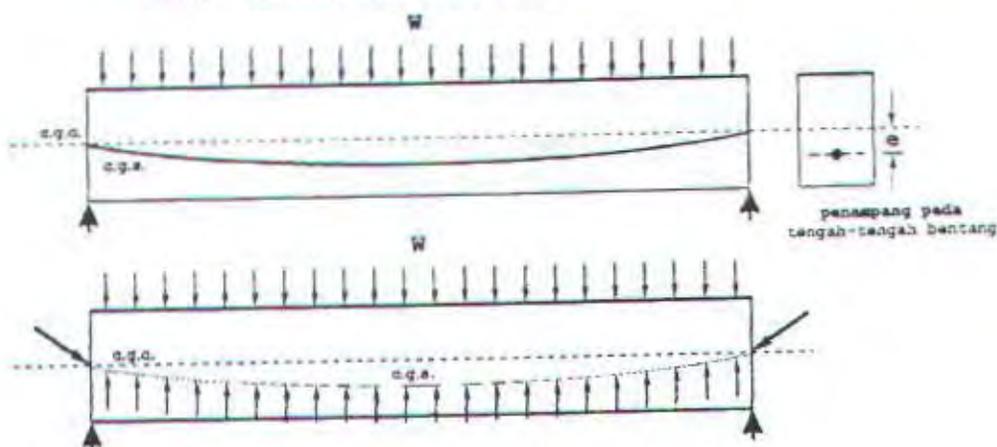
Gambar 3.8. Momen penahan internal pada balok beton pratekan.

Konsep Ketiga.

Konsep ini menyeimbangkan gaya-gaya pada sebuah batang. Gaya-gaya eksternal akibat berat sendiri dan beban balok maupun gaya-gaya internal akibat tekanan tendon pratekan menghasilkan tegangan merata pada beton yang saling berlawanan. Tegangan akibat beban dan berat sendiri ke bawah dan tegangan akibat tendon pratekan ke atas yang kemudian tegangan-tegangan ini akan saling berimbang (Gambar 3.3). Momen pada keadaan ini akan timbul akibat tidak seimbang tegangan-tegangan diatas. Distribusi tegangan pada penampang balok adalah:

$$f = \frac{F}{A} \pm \frac{M.c}{I}$$

dimana, M = momen akibat selisih tegangan merata tendon dengan tegangan merata berat sendiri atau beban.



Gambar 3.9. Perimbangan tegangan merata akibat beban mati dengan gaya prategang.

3.4.2. Kehilangan Gaya Prategang

Dalam perencanaan beton pratekan, analisis gaya-gaya efektif dari tendon penting sekali untuk diketahui. Kehilangan gaya prategang akan terjadi dalam dua tahap dan keduanya akan sangat mempengaruhi hasil akhir gaya-gaya efektif tendon yang akan terjadi.

Tahap pertama, pada saat setelah peralihan gaya prategang ke penampang beton, tegangan dievaluasi sebagai tolok ukur perilaku elemen struktur. Kehilangan gaya prategang akan meliputi perpendekan elastis beton (*elastic shortening*) pada beton pratarik maupun pasca tarik, akibat gesekan (*wobble effect*) dan slip anker pada beton pasca tarik. Tahap kedua, menurut usia beton pratekan itu sendiri. Akibat waktu yang lama, akan terjadi kehilangan pula gaya prategang akibat susut dan rangkakan beton (*creep*), akibat relaksasi baja dan akibat lenturan balok. Dalam memperhitungkan kehilangan gaya prategangan karena pengaruh waktu atau usia yaitu rangkakan (*CR*), susut (*SH*), dan relaksasi baja (*RE*) dipakai metode *PCI Comitee*. Dalam metode ini perhitungan dibagi dalam empat interval waktu minimum seperti dalam tabel berikut.⁴³

Tabel 3.1. Selang waktu minimum pasca tarik.

| Tahap | Waktu awal (t_1) | Waktu awal (t_2) |
|-------|----------------------|---|
| 1 | Akhir curing | Umur beton saat transfer. |
| 2 | Akhir tahap 1 | Umur 30 hari saat dibebani beban mati tambahan. |
| 3 | Akhir tahap 2 | Umur 1 tahun. |
| 4 | Akhir tahap 3 | Akhir umur rencana struktur. |

3.4.2.1. Perpendekan Elastis Beton (ES)

Pada beton pratekan saat gaya prategang dialihkan, komponen struktur akan memendek dan baja akan ikut memendek bersamanya. Perpendekan ini akan mengakibatkan hilangnya gaya prategang pada baja. Besarnya kehilangan gaya prategang ini dapat diketahui dengan persamaan berikut ini:⁴⁴

$$ES = \Delta f_s = n \cdot f_{cr} = \frac{E_s \cdot f_{cr}}{E_{ci}}$$

⁴³ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, Lampiran D, Tabel 2., hal. 311.

⁴⁴ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 80.

$$f_{cir} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \cdot e^2}{I} \frac{M_G \cdot e}{I}$$

dimana, n = perbandingan modulus saat peralihan, E_s/E_{ci} .

f_{cir} = tegangan beton pada garis yang melalui titikberat baja akibat gaya prategang yang efektif, segera setelah gaya prategang dikerjakan.

$$E = 200.000 \text{ MPa.}$$

3.4.2.2. Gesekan (FR)

Selama terjadi pengalihan gaya prategang pada sistem pasca tarik, kabel yang di tarik akan mengalami gesekan dengan beton disepanjang tendon. Gesekan ini tentu saja juga akan mempengaruhi nilai distribusi tegangan efektif yang bisa diterima beton. Kehilangan gaya prategang yang terjadi dapat diperoleh dengan persamaan berikut:⁴⁵

$$FR = f_1 - f_2 = f_1 - f_1 e^{-\mu\alpha \cdot KL} = f_1(1 - e^{-\mu\alpha \cdot KL})$$

dimana, f_1 = tegangan baja pada pengangkuran akhir.

L = panjang tendon yang ditinjau.

K = koefisien wobble (Tabel 3.2),

μ = koefisien kelengkungan (Tabel 3.2).

Untuk tendon-tendon yang memiliki lengkungan yang jari-jarinya bervariasi, perlu menggunakan persamaan tersebut pada penampang-penampang yang berbeda untuk memperoleh kehilangan gaya prategang total.

⁴⁵ T. Y. Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 98.

Tabel 3.2. Koefisien-koefisien gesekan untuk tendon-tendon pasca tarik.⁴⁶

| <i>Tepi Tendon</i> | <i>K</i> | <i>μ</i> |
|--|------------------|-------------|
| 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 |
| Baja mutu tinggi | 0,0003 – 0,0020 | 0,08 – 0,30 |
| Tendon pada selubung logam fleksibel | | |
| Strand dengan untaian 7 kawat | 0,0007 | 0,15 – 0,25 |
| Tendon yang diminyaki terlebih dahulu | | |
| Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat | 0,001 – 0,0066 | 0,05 – 0,15 |
| Tendon yang diberi lapisan mastik | | |
| Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat | 0,00033 – 0,0066 | 0,05 – 0,15 |

3.4.2.3. Slip Angkur (ANC)

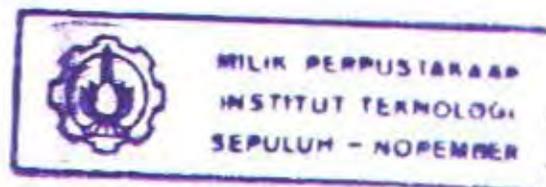
Kebanyakan sistem pasca tarik, saat tendon ditarik sampai nilai penuh dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan kepada angkur. Perlengkapan angkur di mana angkur mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi (slip). Rumus umum untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat slip pengankuran adalah:⁴⁷

$$ANC = \Delta f_{st} = \frac{\Delta_s \cdot E_s}{L}$$

dimana, Δ_s = jarak slip.

E_s = modulus elastisitas baja.

L = panjang tendon.



Jarak pengaruh slip pengankuran (x) diperhitungkan sebagai berikut:

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

dimana, f_{pi} = tegangan sebelum slip angkur.

Δf_{st} = besarnya kehilangan tegangan akibat slip angkur.

⁴⁶ Menurut peraturan ACI.

⁴⁷ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 91.

g = besarnya slip ankur, mm.

x = jarak pengaruh kehilangan tegangan akibat slip ankur.

$$\lambda = \frac{2, \mu \alpha}{b^2} + K \quad (\text{untuk tendon berbentuk parabola})$$

3.4.2.4. Rangkak Beton (CR)

Rangkak adalah sifat alamiah beton. Rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk komponen struktur dengan tendon terekat dihitung dari persamaan berikut:⁴⁸

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cr} - f_{cds})$$

dimana, $K_{cr} = 2,0$ untuk komponen struktur pratarik.

$K_{cr} = 1,6$ untuk komponen struktur psaca tarik.

f_{cds} = tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang.

E_s = modulus elastisitas tendon pratekan.

E_c = modulus elastisitas beton berumur 28 hari yang bersesuaian dengan f_c .

Sedangkan kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk komponen struktur dengan tendon tidak terekat dihitung dari persamaan berikut:

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot f_{cpa}$$

dimana, f_{cpa} = tegangan tekan rata-rata pada beton sepanjang komponen struktur pada titik berat tendon.

Metode PCI Committee

⁴⁸ T. Y. Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 87.

Metode lainnya yang umum dipakai *PCI Committee* untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat rangkai adalah:⁴⁹

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

dimana,

UCR (*Ultimate Creep Loss*) untuk beton normal,

$$\text{Curing beton tidak lebih 7 hari, } UCR = 90 - \frac{20 \times E_c}{10^6} \geq 11 \text{ psi}$$

$$\text{Curing yang dipercepat, } UCR = 63 - \frac{20 \times E_c}{10^6} \geq 11 \text{ psi}$$

SCF = faktor volume dan permukaan balok pratekan (*Tabel 3.3*).

MCF = faktor umur beton dan waktu curing (*Tabel 3.4*).

PCR = besarnya rangkai tiap-tiap interval waktu $(AUC).t - (AUC).t_1$

AUC = variasi dari rangkai terhadap waktu (*Tabel 3.5*).

f_c = tegangan tekan beton pada cgs pada saat t_1 .

Tabel 3.3. Faktor rangkai terhadap volume dan permukaan balok pratekan, *SCF*.

| <i>V/S (inc.)</i> | <i>Faktor Volume & Permukaan (SCF)</i> |
|-------------------|--|
| 1 | 1.05 |
| 2 | 0.96 |
| 3 | 0.87 |
| 4 | 0.77 |
| 5 | 0.68 |
| > 5 | 0.68 |

⁴⁹ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, Lampiran D, hal. 310.

Tabel 3.4. Faktor rangkai terhadap umur beton dan waktu curing, *MCF*.

| <i>Umur (hari)</i> | <i>Transfer</i> | <i>Periode Pengerasan (hari)</i> | <i>Faktor Umur Beton dan Waktu Curing (MCF)</i> |
|--------------------|-----------------|----------------------------------|---|
| 3 | | 3 | 1,14 |
| 5 | | 5 | 1,07 |
| 7 | | 7 | 1,00 |
| 10 | | 7 | 0,96 |
| 20 | | 7 | 0,84 |
| 30 | | 7 | 0,72 |
| 40 | | 7 | 0,60 |

Tabel 3.5. Variasi rangkai menurut waktu transfer, *AUC*.

| <i>Waktu setelah transfer (hari)</i> | <i>Variasi rangkai menurut waktu transfer (AUC)</i> |
|--------------------------------------|---|
| 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 |

3.4.2.5. Susut (SH)

Setelah pengecoran, seturut dengan waktu beton akan mengalami susut yang berarti terjadi pengurangan volume beton dan akan mengakibatkan pengurangan tegangan

tekan pada tendon baja prategang. Besarnya susut yang terjadi pada beton pratekan dapat dijelaskan menggunakan persamaan berikut ini:⁵⁰

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \cdot (1 - 0,06 \cdot \frac{V}{S}) \cdot (100 - RH)$$

dimana, K_{sh} = koefisien faktor susut (Tabel 3.6).

RH = kelembaban relatif.

V/S = perbandingan volume terhadap permukaan.

Tabel 3.6. Nilai K_{sh} untuk komponen struktur pasca tarik.

| Jangka waktu setelah perawatan basa sampai pada penerapan prategang, hari | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 20 | 30 | 60 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_{sh} | 0,92 | 0,85 | 0,80 | 0,77 | 0,75 | 0,64 | 0,58 | ,045 |

Metode PCI Committee

Metode lainnya yang umum dipakai *PCI Committee* untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat susut adalah:⁵¹

$$SH = USH \times SSF \times PSH$$

dimana,

USH (*Ultimate Shrinkage Loss*)

$$\text{Untuk beton normal, } USH = 27000 - \frac{3000 \times E_c}{10^6}$$

$$\text{Untuk beton ringan, } USH = 41000 - \frac{1000 \times E_c}{10^6}$$

Tetapi harga $USH > 12000$ psi.

AUS = variasi susut terhadap waktu (Table 3.7).

SSF = faktor pengaruh volume terhadap permukaan (Tabel 3.8).

PSH = besarnya susut untuk tiap-tiap interval waktu $(AUS).t - (AUS).t_1$

⁵⁰ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 88.

⁵¹ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, Lampiran D, hal. 313.

Tabel 3.7. Variasi rangkai menurut waktu transfer, *AUS*.

| <i>Waktu setelah transfer (hari)</i> | <i>Variasi susut menurut waktu transfer (AUS)</i> |
|--------------------------------------|---|
| 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 |

Tabel 3.8. Faktor susut terhadap volume dan permukaan balok pratekan, *SSF*.

| <i>V/S (inc.)</i> | <i>Faktor Volume & Permukaan (SSF)</i> |
|-------------------|--|
| 1 | 1,04 |
| 2 | 0,96 |
| 3 | 0,86 |
| 4 | 0,77 |
| 5 | 0,69 |
| 6 | 0,60 |

3.4.2.6. Relaksasi Baja (RE)

Kenyataannya selama tegangan dari baja pratekan sendiri dijaga untuk tetap, dalam suatu selang waktu yang cukup panjang memperlihatkan bahwa gaya prategang akan berkurang secara perlahan. Sebenarnya balok pratekan tersebut mengalami perubahan regangan baja yang konstan di dalam tendon bila terjadi rangkai yang tergantung pada

waktu. Komisi ACI-ASCE menghasilkan persamaan untuk mengetahui besarnya kehilangan gaya prategang akibat relaksasi seperti di bawah ini:⁵²

$$RE = [K_{re} - J.(SH + CR + ES)].C$$

dimana, K_{re} , J dan C adalah nilai-nilai yang diambil menurut tabel 3.9 dan 3.10.

Tabel 3.9. Nilai-nilai K_{re} dan J .

| <i>Tipe Tendon</i> | K_{re} (MPa) | J |
|--|----------------|-------|
| Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 MPa. | 138 | 0.15 |
| Strand atau kawat stress-relieved derajat 17200 MPa. | 128 | 0.14 |
| Kawat stress-relieved derajat 1655 MPa atau 1620 MPa. | 121 | 0.13 |
| Strand relaksasi-rendah derajat 1860 MPa. | 35 | 0.040 |
| Kawat relaksasi-rendah derajat 1720 MPa. | 32 | 0.037 |
| Kawat relaksasi-rendah derajat 1655 MPa. | 30 | 0.035 |
| Batang stress-relieved derajat 1000 MPa atau 1100 MPa. | 41 | 0.05 |

Tabel 3.10. Nilai-nilai C .

| f_p/f_{pa} | Strand atau kawat stress-relieved | Batang stress-relieved atau strand atau kawat relaksasi-rendah |
|--------------|-----------------------------------|--|
| 0.80 | 1.45 | 1.28 |
| 0.79 | 1.36 | 1.22 |
| 0.78 | 1.27 | 1.16 |
| 0.77 | 1.18 | 1.11 |
| 0.76 | 1.09 | 1.05 |
| 0.75 | 1.00 | 1.00 |
| 0.74 | 0.94 | 0.95 |
| 0.73 | 0.89 | 0.90 |
| 0.72 | 0.83 | 0.85 |
| 0.71 | 0.78 | 0.80 |
| 0.70 | 0.73 | 0.75 |
| 0.69 | 0.68 | 0.70 |
| 0.68 | 0.63 | 0.66 |
| 0.67 | 0.58 | 0.61 |

⁵² T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 89.

| | | |
|------|------|------|
| 0.66 | 0.53 | 0.57 |
| 0.65 | 0.49 | 0.53 |
| 0.64 | | 0.49 |
| 0.63 | | 0.45 |
| 0.62 | | 0.41 |
| 0.61 | | 0.37 |
| 0.60 | | 0.33 |

Metode PCI Committee

Menurut Antonie Naaman, kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja untuk interval waktu t sampai dengan t_1 dapat dihitung dengan rumus:⁵³

$$RET = f_{st} \left(\frac{\log 24.t - \log 24.t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad \text{untuk baja relaksasi tinggi}$$

$$RET = f_{st} \left(\frac{\log 24.t - \log 24.t_1}{45} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad \text{untuk baja relaksasi rendah}$$

$$f_{st}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$$

$$f_{py} = 0,90.f_{pu}$$

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

Tabel 3.11. Prosentasi kehilangan gaya prategang.

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

⁵³ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, Lampiran D, hal. 314.

3.4.3. Tegangan Ijin Beton Pratekan

Tegangan ijin merupakan batasan-batasan khusus yang harus diperhatikan selama pelaksanaan. Agar kegagalan tidak terjadi, analisis perencanaan diperhatikan di dalam semua tahap pelaksanaan beton pratekan. Tegangan ijin yang secara khusus ditetapkan bagi perencanaan beton pratekan ini, menurut peraturan yang dibuat oleh ACI, telah dituangkan pula dalam Konsep SKSNI T-15-1991-03 pasal 18 adalah sebagai berikut:

1. Tegangan Baja. Tidak melampaui nilai-nilai berikut:

Akibat gaya pengangkuran,

$$0,08.f_{pu} \text{ atau } 0,94.f_{py}$$

Sesaat setelah penyaluran gaya prategang,

$$0,74.f_{pu} \text{ atau } 0,82.f_{py}$$

Tendon pasca tarik, setelah penyaluran,

$$0,70.f_{pu}$$

2. Tegangan Beton. Tidak melampaui nilai-nilai berikut:

Setelah peralihan (sebelum kehilangan tegangan),

$$\text{Tekan, } 0,6.f'_{ci}$$

$$\text{Tarik, } 0,25.\sqrt{f'_{ci}}$$

Tegangan serat terluar yang tertarik pada ujung komponen diatas dua perletakan sederhana (sebelum kehilangan tegangan),

$$0,5.\sqrt{f'_{ci}}$$

Pada beban kerja (sesudah kehilangan tegangan),

$$\text{Tekan, } 0,45.f'_c$$

$$\text{Tarik, } 0,5.\sqrt{f'_c}$$

3.4.4. Kontrol Kekuatan Batas Balok Pratekan

Perhitungan kekuatan batas pada umumnya adalah untuk menentukan kekuatan nominal dari suatu penampang dalam hal ini balok pratekan dimana suatu penampang harus memenuhi persyaratan. Untuk batasan minimum perencanaan gempa, jumlah total dari

baja tulangan tanpa pratekan dan baja tulangan prategang harus cukup untuk menghasilkan beban berfaktor,⁵⁴

$$\phi Mn \geq 1,2.Mcr$$

- Rasio tulangan baja non-prategang dan baja prategang diisyaratkan memenuhi persamaan berikut:⁵⁵

$$\omega_o = \omega_p \left(\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right) \text{ atau } \left(\omega_{pw} + \frac{d}{d_p} (\omega_w - \omega'_w) \right) \text{ tidak lebih dari } 0,36.\beta$$

$$\omega_p = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f'_c} \quad \omega'_w = \rho'_w \cdot \frac{f_y}{f'_c} \quad \omega_w = \rho_w \cdot \frac{f_y}{f'_c}$$

- Modulus runtuh diisyaratkan,⁵⁶ $f_r = 0,7\sqrt{f'_c}$
- Momen retak penampang,⁵⁷

$$Mcr = F \left(e + \frac{r^2}{y_b} \right) + f_r \cdot \frac{I}{y_b}$$

3.5. PERENCANAAN PONDASI

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

3.5.1. Daya Dukung Tiang Pancang

Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

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

- Tetapan yang didapat dari hasil uji,

$$D_1 = D_2 - 4.B \quad \text{dan} \quad D_3 = D_2 - 4.B$$

⁵⁴ Konsep SKSNI T-15-1991-03, pasal 18.8.3.

⁵⁵ Konsep SKSNI T-15-1991-03, pasal 18.8.1.

⁵⁶ Konsep SKSNI T-15-1991-03, pasal 9.5.2.3.

⁵⁷ T. Y. Lin., Ned H. Burns, Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal 129.

- Nilai rata-rata SPT disekitar ujung dan di seluruh permukaan tiang pondasi,

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

- Daya dukung di ujung tiang pancang (*point bearing*),

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$^{58}q_p = Np \cdot K$$

- Daya dukung di seluruh permukaan tiang pancang akibat lekatan (*skin friction*),

$$Q_s = q_s \cdot A_s$$

$$A_s = P \cdot D_2$$

$$^{59}q_s = (Ns/3) + I$$

- Daya dukung tiang pancang total,

$$Q_L = Q_p - Q_s$$

$$Q_N = \frac{Q_p}{2} + \frac{Q_s}{3}$$

dimana, D_2 = kedalaman tiang pancang yang ditinjau.

B = diameter tiang.

N_1, N_2, N_3 = nilai SPT pada kedalaman D_1, D_2, D_3 .

K = koefisien karakteristik tanah.

P = keliling tiang.

A_p = luas penampang tiang.

Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Perhitungan daya dukung tiang pancang kelompok dihitung dengan rumusan berikut:

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

dimana, n = jumlah tiang dalam group.

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

⁵⁸ Tegangan di ujung tiang pondasi.

⁵⁹ Tegangan akibat frottement lateral.

$$\theta = \text{arc tan } (D \cdot s).$$

D = diameter tiang.

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

m = jumlah tiang perbaris sb.x.

n = jumlah tiang perkolom sb.y.

3.5.2. Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang

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

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

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

P_{maks} = beban maksimum 1 tiang pancang.

ΣP_u = jumlah total beban aksial.

n = jumlah tiang dalam group.

M_x = momen yang terjadi pada arah x.

M_y = momen yang terjadi pada arah y.

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

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

Σx^2 = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang.

Σy^2 = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang.

3.5.3. Daya Dukung Tiang Akibat Gaya Horizontal

Tiang pancang harus mampu menerima gaya tekan aksial dan momen akibat gaya horizontal dengan cara mengubah gaya horizontal menjadi momen tambahan yang bekerja pada tiang pancang. Momen ini harus dicek terhadap kekuatan lentur dari tiang pancang yang digunakan.

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

$$L_2 = 2,2 \cdot L_1$$

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

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

$$Cr = 0,5.Cu$$

dimana, L_2 = kedalaman dimana momen lentur adalah nol.

L_1 = kedalaman dimana momen lentur adalah maksimum.

F = panjang daerah perlawanan.

Cu = harga kohesi tanah.

D = diameter tiang (untuk tiang tunggal)

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

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

BAB IV
PERENCANAAN STRUKTUR
SEKUNDER

BAB IV

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

4.1. UMUM.

Perencanaan dimensi struktur ini meliputi perencanaan dimensi balok, pelat dan tangga. Dalam merencanakan komponen konstruksi beton bertulang yang mengalami lentur (balok dan pelat) harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja. Struktur sekunder hanya bersifat membebani struktur utama sehingga tidak mempengaruhi perilaku struktur utama secara keseluruhan. Struktur utama direncanakan menerima beban gravitasi dan beban lateral akibat gempa.

4.2. PERENCANAAN DIMENSI STRUKTUR.

4.2.1. Perencanaan Dimensi Balok.

- Balok Induk

Perencanaan dimensi balok direncanakan berdasarkan pada SKSNI T-15-1991-03 tabel 3.2.5 (a) :

$$h_{min} = \frac{1}{16} \times l \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$
$$1,5 \leq \frac{h}{b} \leq 2$$

dengan : l = Panjang bentang balok (cm)

f_y = Mutu tulangan baja (MPa)

Contoh Perhitungan Dimensi Balok Induk Tipe B1

Balok induk tipe B1 direncanakan sebagai balok diatas dua tumpuan dengan bentang $l = 820$ cm.

$$h_{min} = \frac{1}{16} \cdot l \cdot \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) = \frac{1}{16} \cdot l \cdot \left(0,4 + \frac{390}{700} \right) = 0,0598 \cdot l$$

$$= 0,0598 \times 820 = 49,05 \text{ cm}$$

diambil $h = 75 \text{ cm}$

$$b_{min} = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 75 = 50 \text{ cm}$$

Jadi balok tipe B1 berdimensi $50 \times 75 \text{ cm}$.

- Balok Anak

Contoh Perhitungan Dimensi Balok Anak Tipe BA

Balok anak dengan bentang 820 cm :

$$h_{min} = \frac{1}{15}l = \frac{1}{15} \times 820 = 54,67 \text{ cm}$$

dipakai $h = 60 \text{ cm}$

$$1,5 \leq \frac{h}{b} \leq 2$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 60 = 40 \text{ cm}$$

Jadi balok anak tipe BA1 berdimensi $40 \times 60 \text{ cm}$.

- Balok Induk Pratekan

Balok induk pratekan direncanakan memiliki dimensi yang sama atau tipikal pada keseluruhan struktur gedung dengan menggunakan balok *rectangular* biasa. Pada perencanaan balok pratekan pada gedung ini diambil pilihan balok *rectangular*, karena pada struktur gedung balok I kurang efisien pada pelaksanaan bekisting dilapangan. Balok tipe I biasa digunakan untuk perencanaan balok dengan sistem pracetak (*precast*) yang umumnya pada jembatan.

Contoh Perhitungan Dimensi Balok Pratekan BP

Bentang pratekan dengan bentang 2490 cm .

$$h = \frac{1}{20}l = \frac{1}{20} \times 2490 = 124,5 \text{ cm} \approx 130 \text{ cm}$$

diambil $b = 60 \text{ cm}$

Jadi balok (pratekan) tipe BP berdimensi $60 \times 130 \text{ cm}$.

Untuk dimensi balok induk dan balok anak berdasarkan bentang-bentang yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.1. Dimensi balok.

| <i>Tipe Balok</i> | <i>Bentang (cm)</i> | <i>Dimensi (cm)</i> |
|-------------------|---------------------|---------------------|
| B1 | 820 | 50 × 75 |
| B2 | 980 | 50 × 85 |
| B3 | 660 | 40 × 65 |
| | 670 | |
| | 690 | |
| B4 | 720 | 40 × 70 |
| | 750 | |
| BP | 2490 | 60 × 130 |
| BA | semua | 40 × 60 |

4.2.2. Perencanaan Dimensi Kolom.

Direncanakan kolom $b = h$ untuk kolom struktural bukan kolom tepi pratekan.

$$\text{dimana, } \frac{I \text{ kolom}}{L \text{ kolom}} \geq \frac{I \text{ balok}}{L \text{ balok}}$$

Contoh Perhitungan Dimensi Kolom Tipe K1

Dimensi balok-balok yang berhubungan dengan kolom K1 ini adalah 50×75 cm dengan $l = 820$ cm, maka :

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{400} \geq \frac{\frac{1}{12} \times 50 \times 75^3}{820}$$

$$b^4 \geq 10289634,15$$

$$b \geq 56,63 \text{ cm} \approx \text{diambil } 60 \text{ cm}$$

maka diperoleh dimensi kolom tipe K1 adalah 60×60 cm.

Contoh Perhitungan Dimensi Kolom Tipe K4 (Kolom Tepi Pratekan)

Dimensi balok-balok yang berhubungan dengan kolom K4 ini adalah 60×130 cm dengan $l = 2490$ cm, kolom K4 direncanakan $h = b$ maka :

$$\frac{1/12 \times b \times h^3}{500} \geq \frac{1/12 \times 65 \times 130^3}{2490}$$

$$b^4 \geq 28675702,81$$

$$b \geq 73,18 \text{ cm} \approx \text{diambil } 90 \text{ cm}$$

maka diperoleh dimensi kolom tipe K4 adalah $90 \times 90 \text{ cm}$.

Hasil perhitungan dimensi kolom lainnya dapat dilihat dalam tabel.

Tabel 4.2. Dimensi kolom.

| <i>Tipe Kolom</i> | <i>Dimensi</i> |
|-------------------|----------------|
| K1 | 60 × 60 cm |
| K2 | 65 × 65 cm |
| K3 | 50 × 50 cm |
| K4 | 90 × 90 cm |

4.2.3. Perencanaan Dimensi Pelat

Perencanaan dimensi pelat

Gambar 4.1. Tipe Pelat A

Direncanakan karakteristik sebagai berikut:

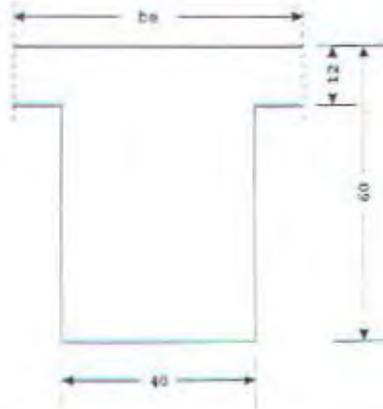
Tebal pelat = 12 cm dengan $f_y = 320 \text{ MPa}$

$$S_n = 360 - \left(\frac{50}{2} + \frac{40}{2} \right) = 315 \text{ cm}$$

$$L_n = 410 - \left(\frac{50}{2} + \frac{40}{2} \right) = 365 \text{ cm}$$

$$\beta = L_n/S_n = 365/315 = 1,16 < 2 \text{ (tulangan 2 arah)}$$

Balok Anak 40/60 dengan bentang 410 m



Gambar 4.2. Balok Interior 40/60

$$be_1 = b_w + 2.(h-t) = 40 + 2.(60-12) = 136 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 8.t = 40 + (8.12) = 136 \text{ cm}$$

maka $be = 136 \text{ cm}$ (diambil yang terkecil!)

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

$$= \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6 \times \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \times \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$= 1,64$$

$$I_{balok} = K \times b_w \times (h^3/12) = 1,64 \times 40 \times (60^3/12) = 1180800 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = b_s \times (t^3/12) = 410 \times (12^3/12) = 59040 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_1 = I_{balok}/I_{pelat} = 1180800/59040 = 20$$

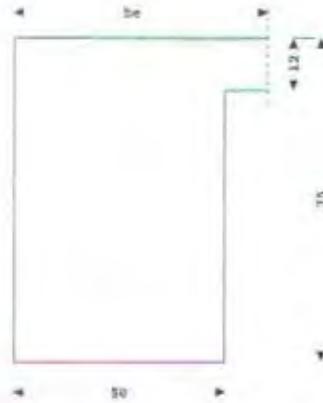
Balok Anak 40/60 bentang 360 m

$$I_{balok} = 1180800 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = b_s \times (t^3/12) = 360 \times (12^3/12) = 51840 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_2 = I_{balok}/I_{pelat} = 1180800/51840 = 22,8$$

Balok Induk B1 50/75 bentang 820 m



Gambar 4.3. Balok Eksterior 50/75

$$be_1 = bw + (h-t) = 50 + (75-12) = 113 \text{ cm}$$

$$be_2 = bw + 4.t = 50 + (4.12) = 98 \text{ cm}$$

maka $be = 98 \text{ cm}$ (diambil yang terkecil!)

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

$$= \frac{1 + \left(\frac{98}{50} - 1\right) \times \left(\frac{12}{75}\right) \times \left[4 - 6 \times \left(\frac{12}{75}\right) + 4 \times \left(\frac{12}{75}\right)^2 + \left(\frac{98}{50} - 1\right) \times \left(\frac{12}{75}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{98}{50} - 1\right) \times \left(\frac{12}{75}\right)}$$

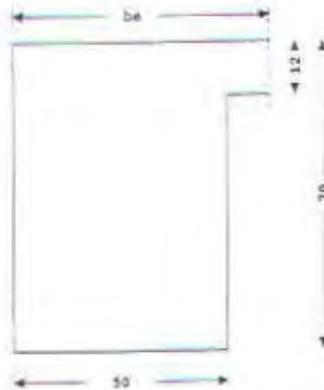
$$= 1,29$$

$$I_{batok} = K \times bw \times (h^3/12) = 1,29 \times 50 \times (75^3/12) = 2267578,13 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = bs \times (t^3/12) = 180 \times (12^3/12) = 25920 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_s = I_{batok} / I_{pelat} = 2267578,13 / 25920 = 87,2$$

Balok Induk B1 40/70 bentang 720 m



Gambar 4.4. Balok Eksterior 50/70

$$be_1 = bw + (h-t) = 50 + (70-12) = 108 \text{ cm}$$

$$be_2 = bw + 4.t = 50 + (4.12) = 98 \text{ cm}$$

maka $be = 98 \text{ cm}$ *(diambil yang terkecil!)*

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

$$= \frac{1 + \left(\frac{98}{50} - 1\right) \times \left(\frac{12}{70}\right) \times \left[4 - 6 \times \left(\frac{12}{70}\right) + 4 \times \left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{98}{50} - 1\right) \times \left(\frac{12}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{98}{50} - 1\right) \times \left(\frac{12}{70}\right)}$$

$$= 1,30$$

$$I_{balok} = K \times be \times (h^3/12) = 1,30 \times 98 \times (70^3/12) = 1857916,67 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = bs \times (t^3/12) = 205 \times (12^3/12) = 29520 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_t = I_{balok} / I_{pelat} = 1857916,67 / 29520 = 62,7$$

$$\alpha_m = 1/4 \times (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) = 1/4 \times (20,0 + 22,8 + 87,2 + 62,7) = 48,2$$

⁶⁰⁾ Kontrol tebal pelat

$$h_{min1} = \frac{Ln \times \left(0,8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36 + 9,9\beta \left[\alpha_m - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]} = \frac{3650 \times \left(0,8 + \frac{320}{1500}\right)}{36 + 9,116 \left[48,2 - 0,12 \left(1 + \frac{1}{1,16}\right)\right]} = 12 \text{ mm}$$

$$h_{min2} = \frac{Ln \times \left(0,8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36 + 9,9\beta} = \frac{3650 \times \left(0,8 + \frac{320}{1500}\right)}{36 + (9 \times 1,27)} = 79,66 \text{ mm} = 8 \text{ cm}$$

$$h_{min3} = 90 \text{ mm untuk } \alpha_m \geq 2$$

tidak perlu lebih dari :

$$h = \frac{Ln \times \left(0,8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36} = \frac{3650 \times \left(0,8 + \frac{320}{1500}\right)}{36} = 102,74 \text{ mm} = 10,3 \text{ cm}$$

maka digunakan t rencana = 12 cm untuk pelat lantai dan pelat atap $t = 10$ cm.

4.2.4. Perencanaan Dimensi Tangga

Contoh Perencanaan Dimensi Tangga Lantai 1-3

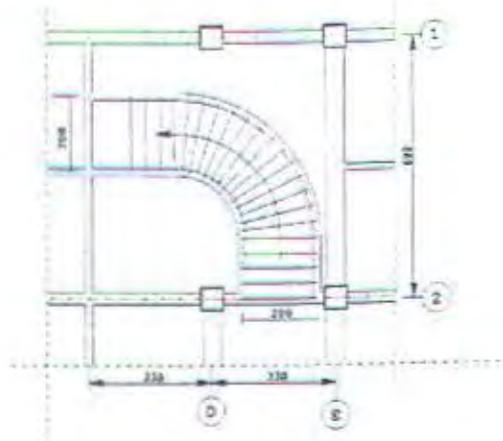
Data Teknis

| | |
|-------------------------|----------|
| Perbedaan elevasi | = 400 cm |
| Lebar tangga | = 200 cm |
| Tebal plat dasar tangga | = 15 cm |
| Tinggi injakan (t) | = 20 cm |
| Lebar injakan (i) | = 30 cm |

Syarat,⁶¹ $24^\circ < \alpha < 45^\circ$

dengan α = sudut miring tangga

⁶¹ Untuk bangunan umum dan rumah tinggal.



Gambar 4.5. Denah tangga.

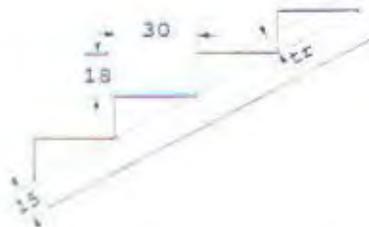
maka $\alpha = \arctan \frac{18}{30} = 30,96^\circ$ (berdasarkan bentang terpanjang / sisi kanan tangga)

dengan demikian $t = 18$ cm dan $r = 40$ cm memenuhi untuk syarat diatas.

$$\text{Jumlah injakan (n)} = \frac{\text{tinggi total}}{t} = \frac{400}{18} = 22,22 \text{ buah} \approx 22 \text{ buah}$$

$$\text{Panjang horisontal} = (22-1) \times t = (22-1) \times 30 = 630 \text{ cm}$$

Kontrol Tebal Pelat



Gambar 4.6. Potongan tangga

$$\arctan \frac{18}{30} = \arcsin \frac{2 \times tr}{30} \rightarrow 30,96 = \arcsin \frac{2 \times tr}{30}$$

$$\text{maka } tr = 7,72 \text{ cm} \approx 8,0 \text{ cm}$$

$$\text{jadi tebal pelat tangga} = 15 + 8,0 = 23,0 \text{ cm}$$

Hasil perhitungan dimensi tangga lainnya dapat dilihat dalam tabel.

Tabel 4.3. Dimensi tangga.

| <i>Tipe Tangga</i> | <i>Tinggi (t)</i> | <i>Lebar (i)</i> | <i>Injakan (n)</i> | <i>Sudut (α)</i> | <i>Tebal Pelat</i> |
|--------------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Lantai 1 s/d 3 | 18 cm | 30 cm | 22 | 30,96° | 23 |
| Lantai 4 s/d atap | 18 cm | 30 cm | 27 | 30,96° | 23 |

4.3. PERENCANAAN LENTUR STRUKTUR SEKUNDER

4.3.1. Pembebanan Pelat

Semua nilai beban diambil menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983. Beberapa hal yang tidak terdapat didalamnya ditentukan menurut asumsi.

Perhitungan Pembebanan Pelat Lantai

Data beban

| <i>Beban Mati (DL)</i> | | |
|--|----------------------|------------------------|
| Berat sendiri pelat ($t = 12 \text{ cm}$) | $= 0,12 \times 2400$ | $= 288 \text{ kg/m}^2$ |
| Penggantung langit-langit (<i>aluminium</i>) | | $= 20 \text{ kg/m}^2$ |
| Plafond ($t = 4 \text{ mm}$) | | $= 11 \text{ kg/m}^2$ |
| Spesi + Ubin Keramik ($t = 3 \text{ cm}$) | $= 24 \times 3$ | $= 72 \text{ kg/m}^2$ |
| Ducking dan Plumbing | | $= 15 \text{ kg/m}^2$ |
| <i>Total Beban Mati</i> | | $= 406 \text{ kg/m}^2$ |
| <i>Beban Hidup (LL)</i> | | |
| Beban hidup untuk lantai ruang olah raga | | $= 400 \text{ kg/m}^2$ |
| <i>Total Beban Hidup</i> | | $= 400 \text{ kg/m}^2$ |

Perhitungan Pembebanan Pelat Atap

| <i>Beban Mati (DL)</i> | | |
|--|----------------------|------------------------|
| Berat sendiri pelat ($t = 10 \text{ cm}$) | $= 0,10 \times 2400$ | $= 240 \text{ kg/m}^2$ |
| Penggantung langit-langit (<i>aluminium</i>) | | $= 20 \text{ kg/m}^2$ |
| Plafond ($t = 4 \text{ mm}$) | | $= 11 \text{ kg/m}^2$ |
| Spesi + Ubin Keramik ($t = 2 \text{ cm}$) | $= 24 \times 2$ | $= 48 \text{ kg/m}^2$ |
| Aspal ($t = 1 \text{ cm}$) | $= 0,10 \times 1400$ | $= 14 \text{ kg/m}^2$ |
| Ducking dan Plumbing | | $= 15 \text{ kg/m}^2$ |
| <i>Total Beban Mati</i> | | $= 348 \text{ kg/m}^2$ |
| <i>Beban Hidup (LL)</i> | | |
| Beban hidup untuk lantai ruang olah raga | | $= 100 \text{ kg/m}^2$ |
| Beban air hujan | | $= 20 \text{ kg/m}^2$ |
| <i>Total Beban Hidup</i> | | $= 120 \text{ kg/m}^2$ |

maka, beban total berfaktor untuk lantai 1 adalah:

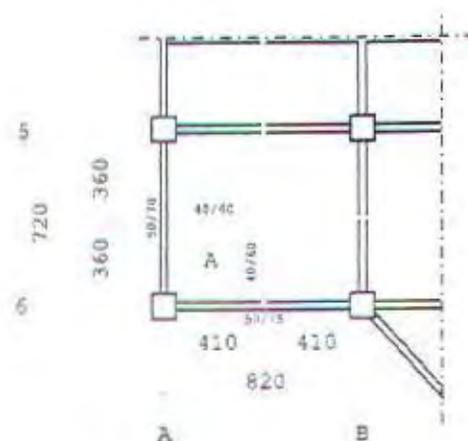
$${}^{62} U = 1,2.D + 1,6.L$$

$$= (1,2 \times 406) + (1,6 \times 400) = 1127,2 \text{ kg/m}^2$$

4.3.2. Penulangan Pelat

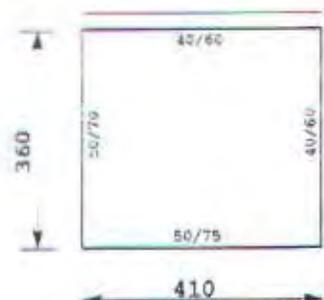
Untuk menganalisa perhitungan momen pada pelat baik momen tumpuan maupun momen lapangan, digunakan metode distribusi momen sesuai dengan PBI 1971 pada pelat persegi. Mutu beton yang dipakai adalah K-300 ($f'c$ 30 MPa) dan mutu baja f_y 320 MPa (tulangan polos).

Contoh Perhitungan Penulangan Pelat A



Gambar 4.7. Letak pelat A eksterior.

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



⁶² SKSNI T-15-1991-03 T-15-1991-03, pasal 3.2.2.1

Gambar 4.8. Pelat terjepit elastis.

$$S_n = 360 - \left(\frac{50}{2} + \frac{40}{2} \right) = 315 \text{ cm}$$

$$L_n = 410 - \left(\frac{50}{2} + \frac{40}{2} \right) = 365 \text{ cm}$$

$$\beta = L_n/S_n = 365/315 = 1,16 < 2 \text{ (tulangan 2 arah)}$$

Penulangan Lentur Momen Negatif (Tumpuan) dan Momen Positif (Lapangan) Arah x

Statik momen terfaktor total arah x,

$${}^{63}M_{lx} = - M_{tx} \text{ (dari tabel diperoleh } x = 55)$$

$$= \pm 0,001 \cdot U \cdot l_x^2 \cdot x = \pm 0,001 \cdot 1127,2 \cdot 3,60^2 \cdot 55 = 803,47 \text{ kg.m}$$

Dipakai tebal selimut beton⁶⁴ $s' = 20$ mm struktur yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca.

Diameter tulangan yang dipakai adalah tulangan polos ϕ 10 mm

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

$${}^{65}\text{Dimana } \beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{untuk } f'c \leq 30 \text{ MPa}$$

$${}^{66}\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{240} \cdot \frac{600}{600 + 320} = 0,059$$

$${}^{67}\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_{balance} = 0,75 \cdot 0,059 = 0,044$$

$${}^{68}\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

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

$$d' = s' + \phi 2 \\ = 20 + 10 \cdot 2 = 25 \text{ mm}$$

⁶³ PBB1 1971, tabel 13.3.2. dengan posisi jepit elastis sesuai gambar 4.8

⁶⁴ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.7.1c

⁶⁵ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2.(7)

⁶⁶ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.4.(3)

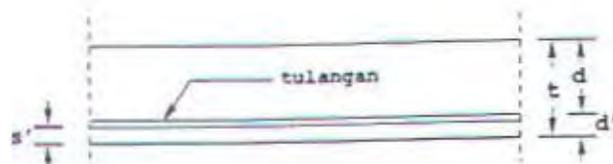
⁶⁷ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3.3

⁶⁸ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5.1.

$$dx = t - d' = 120 - 25 = 95 \text{ mm}$$



Gambar 4.9. Potongan penulangan pelat tumpuan.



Gambar 4.10. Potongan penulangan pelat lapangan.

$$Rn = \frac{M_x}{\phi \times b \times d^2} = \frac{803,47 \times 9,8 \times 10^3}{0,8 \times 1000 \times 95^2} = 1,091$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{12,549} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 1,091}{320}} \right) = 0,0035$$

$\rho < \rho_{\min}$ maka,

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0044 \cdot 1000 \cdot 95 = 418 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Tulangan momen negatif tumpuan dan tulangan momen positif lapangan arah x pelat A dipakai tulangan polos ϕ 10 – 180 mm ($As = 436 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Penulangan Lentur Momen Negatif (Tumpuan) dan Momen Positif (Lapangan) Arah y

Statik momen terfaktor total arah y,

$${}^{69}Ml_y = Mt_y \text{ (dari tabel diperoleh } x = 50)$$

$$= \pm 0,001 \cdot U \cdot l_c^2 \cdot x = \pm 0,001 \cdot 1127,2 \cdot 3,60^2 \cdot 50 = 730,43 \text{ kg.m}$$

Dipakai tebal selimut beton $s' = 20 \text{ mm}$

Diameter tulangan yang dipakai adalah tulangan polos ϕ 10 mm

$$\rho_{\text{balance}} = 0,0659 \quad \rho_{\max} = 0,044 \quad \rho_{\min} = 0,0044 \quad {}^{70}\phi = 0,8$$

$$m = 12,549 \quad d_y = 120 - 20 - 10 - 10/2 = 85 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{M_y}{\phi \times b \times d^2} = \frac{730,43 \times 9,8 \times 10^3}{0,8 \times 1000 \times 85^2} = 1,238$$

⁶⁹ PBI 1971, tabel 13.3.2. dengan posisi jepit elastis sesuai gambar 4.8

⁷⁰ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3.2. faktor reduksi untuk lentur

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{12,549} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,549 \times 1,238}{320}} \right) = 0,0040$$

$\rho < \rho_{\min}$ maka,

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0044 \cdot 1000 \cdot 85 = 374 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Tulangan momen negatif tumpuan dan tulangan momen positif lapangan arah y pelat A dipakai tulangan polos ϕ 10 – 200 mm ($A_s = 393 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Penulangan Susut dan Suhu

Menurut peraturan, $\rho = 0,002$ ⁷¹

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

$$A_s = \rho \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 = 240 \text{ mm}^2/\text{m}$$

⁷²Kontrol jarak tulangan, $s_{\max} \leq 5 \cdot t$ atau 500 mm.

$$5 \cdot t = 5 \cdot 120 = 600 \text{ mm} > 500 \text{ mm}$$

maka dipakai tulangan polos ϕ 8 – 200 ($A_s = 251,3 \text{ mm}^2/\text{m}$)

4.3.3. Pembebanan Tangga

Contoh Perhitungan Pembebanan Tangga lantai 1 s/d 3

Data Beban Shell pada Tangga

| Beban Mati (DL) | | |
|---|---|--|
| Berat sendiri tangga ($t = 23 \text{ cm}$) dianalisa langsung pada SAP 2000 | | |
| Spesi = Ubin Keramik ($t = 3 \text{ cm}$) | $= ((0,18+0,4)/0,4) \times 24 \times 3$ | $= 104,4 \text{ kg/m}^2$ |
| Sandaran | | $= 5 \text{ kg/m}^2$ |
| Total Beban Mati | | $= 109,4 \text{ kg/m}^2$ |
| Beban Hidup (LL) | | |
| Beban hidup tangga | | $= 500 \text{ kg/m}^2$ |
| Total Beban Hidup | | $= 500 \text{ kg/m}^2$ |

4.3.4. Penulangan Tangga

Penulangan tangga dalam hal ini hanya meliputi penulangan lentur dan penulangan susut atau bagi dengan ketentuan menurut peraturan yang telah ditetapkan. Struktur

⁷¹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12.2a

⁷² SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12.2.2.

tangga direncanakan sebagai frame 3 (tiga) dimensi. Untuk perletakkan bawah diasumsikan sebagai jepit, dan bagian atas sendi.

Contoh Penulangan Tangga

Menurut perencanaan dimensi dan pembebanan tangga sebelumnya maka didapatkan model tangga samping gedung utama sebagai berikut:

Momen Maksimum

$$M_{max} = 2555,96 \text{ kg.m}$$

Direncanakan menggunakan tulangan polos berdiameter ϕ 12 mm.

$$d' = s' + \phi/2$$

$$= 20 + 12/2 = 26 \text{ mm}$$

$$d = t - d' = 150 - 26 = 124 \text{ mm}$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{240} \cdot \frac{600}{600 + 240} = 0,065$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_{balance} = 0,75 \cdot 0,065 = 0,048$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,0058$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 30} = 9,412$$

Penulangan Lentur Tangga

$$Rn = \frac{M_{max}}{b \times d^2} = \frac{2555,96}{1 \times 0,124^2} = 166230,5 \text{ kg/m}^2 = 1,66 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{9,412} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,412 \times 1,66}{240}} \right) = 0,0072$$

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ maka,

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0072 \cdot 1000 \cdot 124 = 892,8 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Tulangan lentur tangga dipakai tulangan polos ϕ 12 – 120 mm

$$(As = 942 \text{ mm}^2/\text{m})$$

Penulangan Susut dan Suhu (Syarat Minimum Tulangan Lentur)

Menurut peraturan, $\rho = 0,002$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,002 \cdot 1000 \cdot 104 = 208 \text{ mm}^2/\text{m}$$

⁷³ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5.1.

Kontrol jarak tulangan, $s_{max} \leq 5.t$ atau 500 mm.

$$5.t = 5.130 = 650 \text{ mm} > 500 \text{ mm}$$

maka dipakai tulangan polos $\phi 8 - 200$ ($A_s = 251,3 \text{ mm}^2/\text{m}$)

Penulangan Geser

Direncanakan menggunakan tulangan polos berdiameter $\phi 10$ mm.

$$d' = s' + \phi/2$$

$$= 20 + 10/2 = 25 \text{ mm}$$

$$d_c = t - d' = 230 - 25 = 205 \text{ mm}$$

$$V_u = 13313,64 \text{ Kg}$$

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'c}}{6} \right) \cdot b_w \cdot d_c = \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) \cdot 1000 \cdot 124 = 113196 \text{ N} = 11319,6 \text{ Kg}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 11319,6 = 6791,8 \text{ Kg}$$

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{3} \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 125 = 228218 \text{ N} = 22821,8 \text{ N}$$

Karena $\phi \cdot V_c < V_u < (\phi \cdot V_c + V_{s_{min}})$ maka perlu tulangan geser minimum.

Dipakai tulangan polos $\phi 10$ mm $f_y = 320$ MPa

$$A_{v_{min}} = 157 \text{ mm}^2$$

$$s_{maks} = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{3 \cdot 157 \cdot 320}{1000} = 150,72 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan geser,

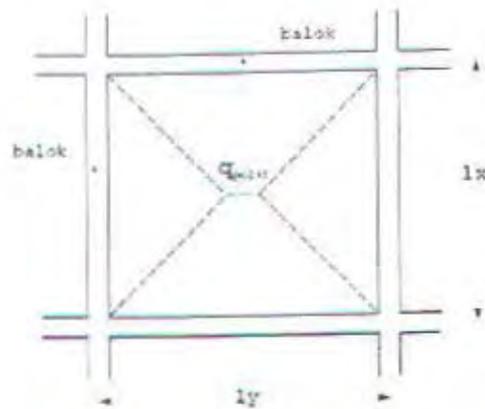
$$s \leq d/2 (= 205/2 = 102,5 \text{ mm})$$

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

maka tulangan geser sepanjang bentang balok anak digunakan tulangan polos $\phi 10 - 100$ mm ($A_s = 157 \text{ mm}^2$).

4.3.5. Pembebanan Balok Anak

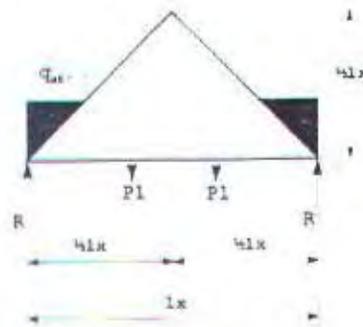
Balok anak merupakan struktur sekunder yang bukan merupakan elemen yang menerima gaya lateral, tetapi lebih berfungsi sebagai struktur yang mendukung beban gravitasi dari pelat untuk diteruskan ke struktur utama. Selain itu balok anak berfungsi juga sebagai pengaku pelat. Kegunaan lain dari balok anak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



Gambar 4.11. Distribusi pembebanan pada balok anak.

Perhitungan beban equvalen :

Beban Ekuivalen Segitiga Tunggal



Gambar 4.12. Beban ekuivalen pada beban segitiga tunggal.

$$w = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \rightarrow P = \frac{1}{2} \cdot (\frac{1}{2} \cdot l_x \cdot w) = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x^2$$

$$M_{max(q-pelat)} = \frac{1}{12} \cdot w \cdot l_x^2$$

$$M_{max(q-ekivalen)} = \frac{1}{8} \cdot q_{ek} \cdot l_x^2$$

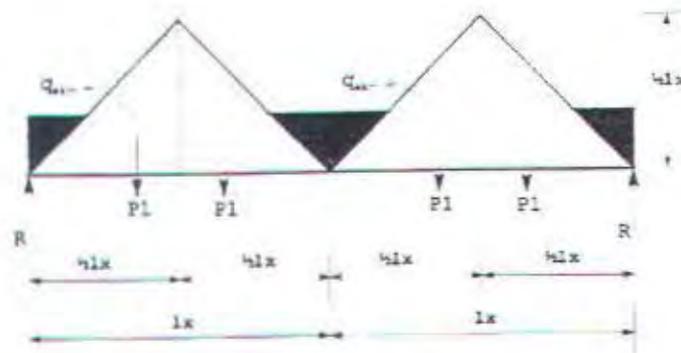
dari dua persamaan diatas maka $M_{max(q-pelat)} = M_{max(q-ekivalen)}$

$$\frac{1}{8} \cdot q_{ek} \cdot l_x^2 = \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \cdot l_x^2$$

$$q_{ek} = \frac{1}{3} \cdot q \cdot l_x$$

Beban Ekuivalen Dua Segitiga





Gambar 4.13. Beban ekuivalen pada dua beban segitiga.

$$w = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \quad \rightarrow \quad R = 2 \cdot P = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot l_x \cdot w \right) = \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x^2$$

$$M_{max(q-pelat)} = \frac{1}{6} \cdot w \cdot l_x^2$$

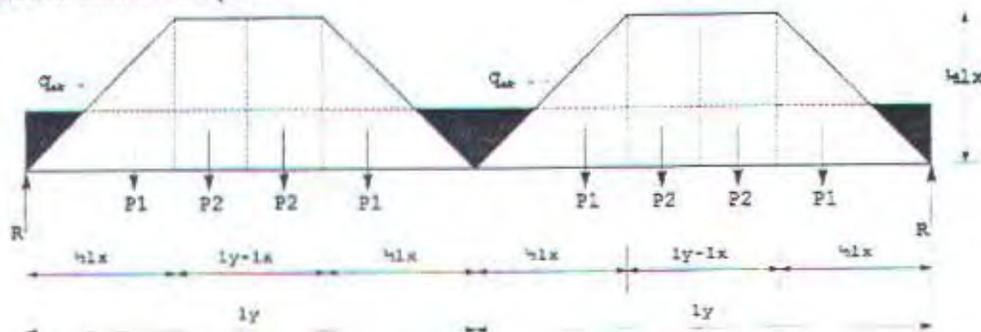
$$M_{max(q-ekivalen)} = \frac{1}{8} \cdot q_{ek} \cdot l_x^2$$

dari dua persamaan diatas maka $M_{max(q-pelat)} = M_{max(q-ekivalen)}$

$$\frac{1}{8} \cdot q_{ek} \cdot l_x^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \cdot l_x^2$$

$$q_{ek} = \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x$$

Beban Ekuivalen dua Trapesium



Gambar 4.14. Beban ekuivalen pada dua beban trapesium.

$$P_1 = \frac{q}{2} \cdot \frac{l_x}{2} \cdot \frac{l_x}{2} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x^2 \quad \text{dan} \quad P_2 = q \left[\frac{l_y}{2} - \frac{l_x}{2} \right] \cdot \frac{l_x}{2} = \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x \cdot (l_y - l_x)$$

$$\begin{aligned} M_{max(q-pelat)} &= 2(P_1 + P_2) \cdot \frac{l_y}{2} - P_1 \left[\left(l_y - \frac{2}{3} \cdot \frac{l_x}{2} \right) + \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{l_x}{2} \right) \right] \\ &\quad - P_2 \left[\left(\frac{l_x}{2} + \frac{l_y - l_x}{4} \right) + \left(\frac{l_x}{2} + \frac{3(l_y - l_x)}{4} \right) \right] \\ &= \left(\frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x^2 + \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x \cdot (l_y - l_x) \right) l_y - \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x^2 \cdot \left[\left(l_y - \frac{2}{3} \cdot \frac{l_x}{2} \right) + \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{l_x}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{1}{4} \cdot q \cdot I_x \cdot (l_y - l_x) \left[\left(\frac{l_x}{2} + \frac{l_y - l_x}{4} \right) + \left(\frac{l_x}{2} + \frac{3(l_y - l_x)}{4} \right) \right] \\
 & = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x^2 \cdot l_y + \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x \cdot (l_y - l_x) \cdot l_y \\
 & = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x \cdot l_y \cdot (l_x + 2l_y - 2l_x) \\
 & = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x \cdot l_y \cdot (2l_y - l_x)
 \end{aligned}$$

$$M_{max(q\text{-pelat})} = M_{max(q\text{-ekivalen})}$$

$$\frac{1}{8} \cdot q \cdot l_x \cdot l_y \cdot (2l_y - l_x) = \frac{1}{8} \cdot q_{ek} \cdot (2l_y)^2$$

$$q \cdot l_x \cdot (2l_y - l_x) = q_{ek} \cdot 4l_y$$

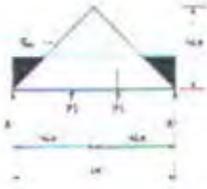
$$q_{ek} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot I_x \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l_x}{l_y} \right) \right]$$

Berdasarkan pembebanan pelat diketahui beban yang bekerja,

1. Beban pelat lantai (q_D) = 406 kg/m²
2. Beban pelat lantai (q_D) = 406 kg/m²
3. Beban hidup atap (q_L) = 396 kg/m²
4. Beban pelat atap (q_D) = 120 kg/m²
5. Beban sendiri balok anak dianalisa langsung oleh program bantu SAP 2000.

Menurut analisa pembebanan ekivalen, didapat:

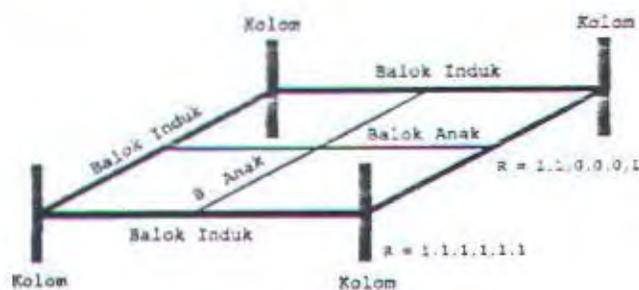
Tabel 4.4. Pembebanan ekivalen balok anak.

| Jenis Pembebanan | l_x (m) | l_y (m) | Pelat lantai | | Pelat atap | |
|---|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | Beban Mati (kg/m) | Beban Hidup (kg/m) | Beban Mati (kg/m) | Beban Hidup (kg/m) |
|  | 3,30 | - | 446,6 | 440 | 435,6 | 132 |

| | | | | | | |
|--|------|------|--------|---------|--------|--------|
| | 3.30 | - | 334,95 | 330 | 326,7 | 99 |
| | 3.55 | - | 340,05 | 335 | 331,65 | 100,5 |
| | 3.45 | - | 350,18 | 345 | 341,55 | 103,5 |
| | 3.60 | - | 365,40 | 360 | 356,4 | 108 |
| | 3.30 | 3.45 | 349,51 | 344,348 | 340,90 | 103,30 |
| | 3.30 | 3.60 | 362,86 | 357,500 | 353,93 | 107,25 |
| | 3.35 | 3.45 | 349,88 | 344,710 | 341,26 | 103,41 |
| | 3.35 | 3.60 | 363,64 | 358,264 | 354,68 | 107,48 |
| | 3.45 | 3.75 | 378,19 | 372,600 | 368,87 | 111,78 |
| | 3.45 | 4.10 | 405,69 | 399,695 | 395,70 | 119,91 |
| | 3.60 | 3.75 | 380,02 | 374,400 | 370,66 | 112,32 |
| | 3.60 | 4.10 | 409,96 | 403,902 | 399,86 | 121,17 |

4.3.6. Penulangan Balok Anak

Dengan menggunakan program bantu SAP 2000 dapat ditentukan gaya-gaya dalam balok anak dengan pemodelan struktur sebagai sistem grid. 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.



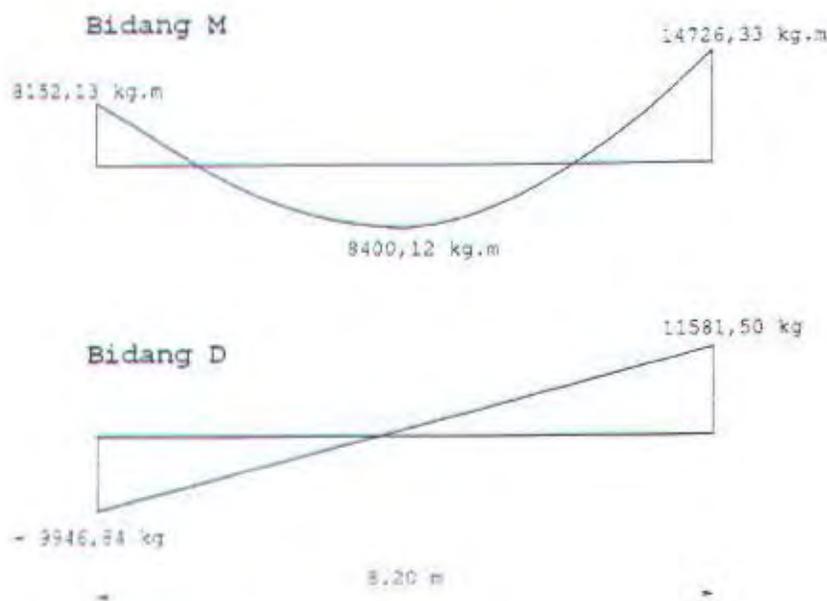
Gambar 4.15. Pemodelan struktur rangka sistem grid.

Penulangan balok anak meliputi penulangan lentur, geser, dan torsi, kontrol retak dan kontrol lendutan, dan penulangan torsi yang hanya dipasang minimum untuk balok interior.

Penulangan lentur balok anak, baik tumpuan maupun lapangan direncanakan menggunakan tulangan baja ulir $f_y = 390$ MPa D-16 mm, dan tulangan geser menggunakan baja polos $f_y = 320$ MPa diameter ϕ -10 mm.

Contoh Perhitungan Penulangan Lentur Balok Anak BAI ($l = 8,20$ m)

Besarnya momen dan gaya geser maksimum yang bekerja pada balok anak tipe BAI



Gambar 4.16. Gaya-gaya dalam balok anak kondisi maksimum.

Kontrol rasio tulangan,

$${}^{74} \rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{390} \cdot \frac{600}{600 + 390} = 0,0337$$

$${}^{75} \rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_{balance} = 0,75 \times 0,0337 = 0,0253$$

$${}^{76} \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

⁷⁴ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.4.(3)

⁷⁵ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3.(3)

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

Tinggi balok = 600 mm ; Lebar balok = 400 mm

⁷⁷Decking (s) = 40 mm

Direncanakan menggunakan tulangan ulir D19 mm,

dan sengkang tulangan polos $\phi - 10$ mm.

$$d = h - s - \phi - D/2 = 600 - 40 - 10 - 19/2 = 540,5 \text{ mm}$$

Tulangan Tumpuan (Momen Negatif)

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{14726,33 \times 9,8 \cdot 10^3}{0,8 \times 400 \times 540,5^2} = 1,544$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 1,544}{390}} \right) = 0,0041$$

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ maka,

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{perlu} b d = 0,0041 \times 400 \times 540,5 \\ &= 883,54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

maka tulangan lentur tepi momen negatif dipakai ulir 4 D19 mm

$$(A_s = 1134 \text{ mm}^2)$$

Tulangan Lapangan (Momen Positif)

Lebar efektif pada pelat yang dicor monolit dengan balok, diambil dari nilai yang terkecil dari,

$$^{78}b_e = l_b / 4 = 8200/4 = 2100 \text{ mm.}$$

$$b_e = b + 2 \cdot (8 \cdot t) = 400 + 2 \cdot (8 \cdot 120) = 2320 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{1}{2} l_1 + \frac{1}{2} l_2 = \frac{1}{2} (3600 + 3600) = 3600 \text{ mm}$$

maka, diambil yang terkecil, $b_e = 2100$ mm

Analisa Balok T

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{8400,12 \times 9,8 \cdot 10^3}{0,8 \times 2100 \times 540,5^2} = 0,168$$

⁷⁶ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5.(1)

⁷⁷ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.7.(1c)

⁷⁸ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.10.(2)

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,168}{390}} \right) = 0,00043$$

karena $\rho < \rho_{\text{min}}$ maka dipakai ⁷⁹ $\rho_{\text{alternatif}}$

$$\rho = \frac{4}{3} \rho_{\text{perlu}} = \frac{4}{3} \times 0,00043 = 0,00058$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho b d = 0,00058 \times 2100 \times 540,5 \\ &= 654,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan lentur tengah momen positif tulangan ulir 3 D19 mm.

($A_s = 851 \text{ mm}^2$).

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_e} = \frac{851 \times 390}{0,85 \times 30 \times 2100} = 6,20 \text{ mm}$$

karena $a < t$; $6,20 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$, maka anggapan sebagai balok T sudah benar.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,9 \times 851 \times 390 \times \left(540,5 - \frac{6,20}{2} \right) \\ &= 160521917,4 \text{ N.mm} = 16379,79 \text{ kg m} \end{aligned}$$

$$M_u = 8400,12 \text{ kg.m}$$

$$M_u < \phi M_n \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

maka tulangan lentur tengah momen positif dipakai tulangan ulir 3 D19 mm

($A_s = 851 \text{ mm}^2$).

Contoh Perhitungan Penulangan Geser Balok Anak

Kuat geser yang disumbangkan beton,

$${}^{\infty} V_c = \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w d = \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) 400 \cdot 540,5 = 197362,69 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \times 197362,69 = 167758,29 \text{ N}$$

$$V_u = 11581,5 \text{ kg} = 113498,7 \text{ N}$$

Karena $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u < \phi V_c$ maka perlu tulangan geser minimum saja.⁸⁰

Dipakai tulangan polos $\phi 10 \text{ mm}$ $f_y = 320 \text{ MPa}$

$$A_{v_{\text{min}}} = 157 \text{ mm}^2$$

⁷⁹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.5.(2)

⁸⁰ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.3.(1).(1)

⁸¹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(5).(1)

$$s_{maks}^{82} = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{3 \cdot 157 \cdot 320}{400} = 378,8 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan geser,

$$s^{83} \leq d/2 (= 540,5/2 = 270,25 \text{ mm})$$

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

maka tulangan geser sepanjang bentang balok anak digunakan tulangan polos

2 - $\phi 10$ mm ($A_s = 157 \text{ mm}^2$) setiap jarak 250 mm

Perhitungan Kontrol Retak⁸⁴

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

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

dengan :

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

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

$$A = \frac{2d_c b}{n} = \frac{2 \times 59,5 \times 400}{4} = 11900 \text{ mm}^2$$

Diperoleh :

$$z = 192 \cdot \sqrt[3]{59,5 \times 11900} = 17112,85 \text{ N/mm} < 30 \text{ MN/m (memenuhi syarat)}$$

Tulangan Momen Positif

Paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan hingga kedalam tumpuan. Atau minimal lebih dari syarat berikut:

$$l_d^{85} = 150 \text{ mm}$$

$$l_d^{86} = d = 294 \text{ mm}$$

$$l_d = 12 \cdot d_b = 12 \times 16 = 192 \text{ mm}$$

maka diambil panjang penyaluran tulangan tarik momen positif $l_d = 350 \text{ mm}$

⁸² SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(5).(3)

⁸³ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5.(4).(1)

⁸⁴ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.6.(4)

⁸⁵ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.5.11.(1)

⁸⁶ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.5.11.(1) dengan d_b adalah diameter tulangan.

Tulangan Momen Negatif

Paling sedikit sepertiga dari jumlah tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif diteruskan pada jarak lebih dari persamaan berikut:

$$^{87}l_d = 12.d_b = 12 \times 16 = 192 \text{ mm}$$

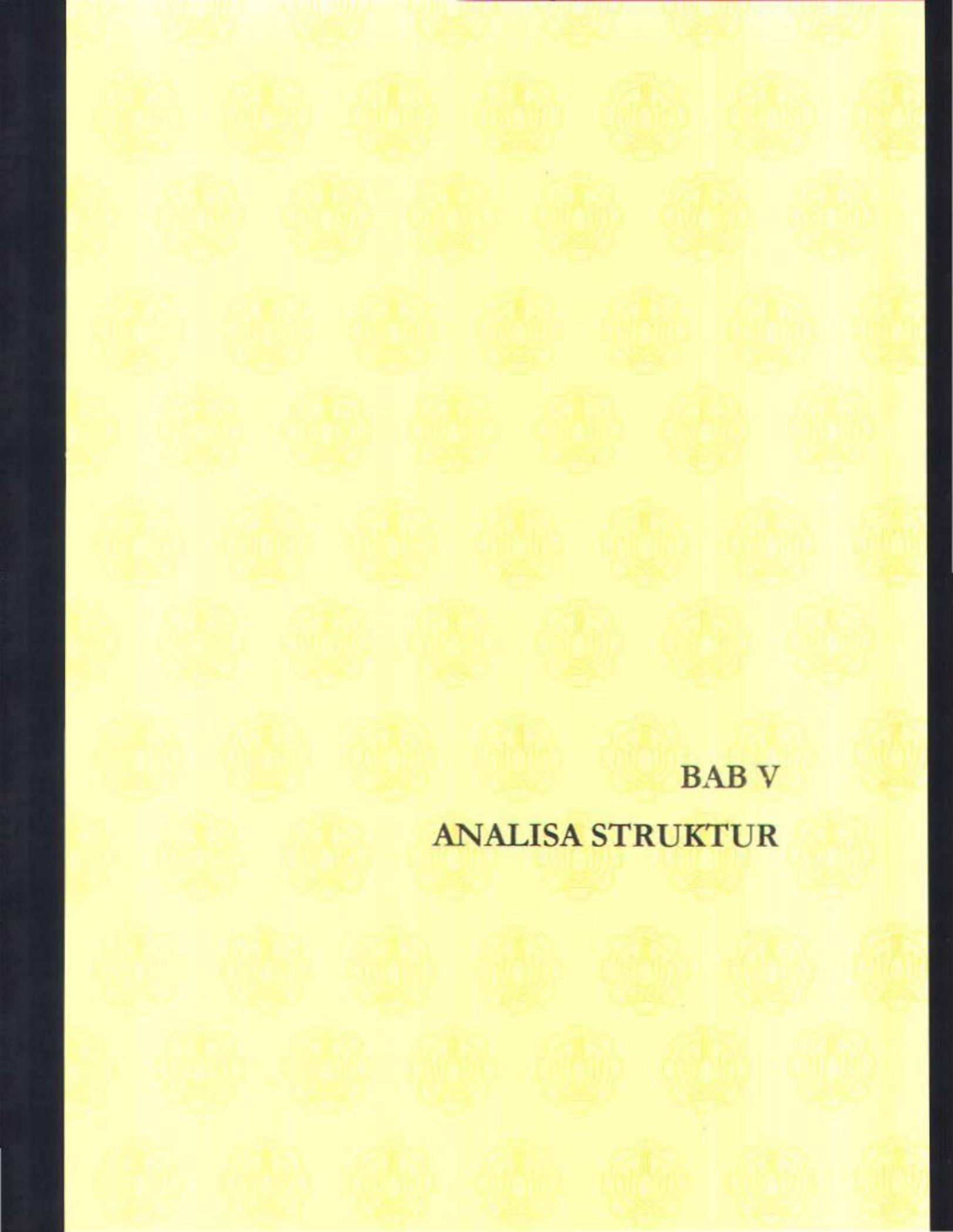
$$l_d = L/16 = 500/16 = 312,5 \text{ mm}$$

$$^{88}l_d = d = 294 \text{ mm}$$

maka diambil panjang penyaluran tulangan tarik momen negatif $l_d = 350 \text{ mm}$

⁸⁷ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.5.11.(1) dengan d_b adalah diameter tulangan.

⁸⁸ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.5.11.(1) dengan d_s adalah diameter tulangan.



BAB V

ANALISA STRUKTUR

BAB V

ANALISA STRUKTUR

5.1. UMUM

Untuk analisa struktur pemodelan struktur diasumsikan sebagai portal terbuka (*open frame*). Untuk memperoleh gaya-gaya dalam yang diperlukan untuk kebutuhan desain digunakan program bantu SAP 2000. Analisa struktur ini akan dilakukan dalam beberapa tahap, sesuai dengan tahap-tahap dalam pelaksanaan konstruksi gedung yang menggunakan balok pratekan. Tahapan yang pertama adalah menganalisa gedung tanpa memperhitungkan balok pratekan (belum ada gaya pratekan), untuk mendapatkan gaya-gaya dalam pada balok-balok yang akan dipratakan akibat kombinasi pembebanan yang ada.

Tahapan kedua adalah analisa pada saat perencanaan pratekan telah didapatkan berdasarkan perhitungan dengan menggunakan hasil analisa tahap pertama. Analisa juga dilakukan dalam beberapa tahapan, sesuai dengan banyaknya pelaksanaan transfer gaya pada balok pratekan pada struktur gedung (tergantung jumlah lantai yang dipratakan. Dianggap, pelaksanaan transfer balok pratekan arah horisontal (dalam lantai yang sama) dilakukan bersama-sama, sehingga pengaruh gaya prategang dalam arah ini tidak diperhitungkan (hanya arah vertikal saja yang diperhitungkan).

5.2. INPUT BEBAN STRUKTUR UTAMA

Input beban-beban yang bekerja pada balok induk yang didistribusikan melalui pelat, baik itu beban mati maupun beban hidup, bekerja dalam rupa beban merata (beban statik ekuivalen). Dan beban-beban pelat yang dipikul balok anak dan berat sendiri balok anak dijadikan beban terpusat pada balok induk. Model struktur utama dapat dilihat dalam lembar lampiran.

5.2.1. Beban Mati

Berdasarkan pembebanan pelat diketahui beban yang bekerja,

$$1. \text{ Beban pelat lantai } (q_D) = 406 \text{ kg/m}^2$$

1. Beban pelat atap (q_D) = 348 kg/m^2

3. Beban sendiri balok anak dianalisa langsung oleh program bantu SAP 2000.

Menurut analisa pembebanan ekuivalen, didapat:

Input Pembebanan Mati Pelat

Tabel 5.1. Pembebanan ekuivalen beban mati struktur utama

| Jenis Pembebanan | l_x (m) | l_y (m) | Beban Lantai (kg/m) | Beban Atap (kg/m) |
|------------------|--|--|--|--|
| | 3.30 | - | 446,6 | 382,8 |
| | 3.30 3.35 3.45 3.60 | - | 334,95 340,03 350,18 365,40 | 287,1 291,45 300,15 313,2 |
| | 3.30 3.30 3.35 3.35 3.45 3.45 3.60 3.60 | 3.45 3.60 3.45 3.60 3.75 4.10 3.75 4.10 | 349,51 362,86 349,88 363,64 378,19 405,69 380,02 409,96 | 299,58 311,03 299,90 311,69 324,16 347,73 325,73 351,40 |

Dengan perhitungan yang sama didapat beban-beban mati tiap lantai adalah seperti dalam tabel berikut:

Data beban mati merata untuk lantai 1 s/d 2

Beban Mati (DL)

Beban dinding = 4×250 = 1000 kg/m

Total Input Beban Mati Merata = 1000 kg/m

Data beban mati merata untuk lantai 3 s/d 7

Beban Mati (DL)

| | | |
|--------------------------------------|-----------|-------------|
| Beban dinding | = 5 × 250 | = 1250 kg/m |
| <i>Total Input Beban Mati Merata</i> | | = 1250 kg/m |

Data beban mati terpusat

Merupakan beban-beban yang ditransfer dari balok anak berupa reaksi dari beban pelat yang dipikul balok anak dan berat sendiri balok. Untuk pembebanan ini diambil nilai maksimum dari tiap bentang. Nilai-nilai beban diambil dari perencanaan pelat pada Bab IV.

5.2.2. Beban Hidup

Berdasarkan pembebanan pelat diketahui beban yang bekerja,

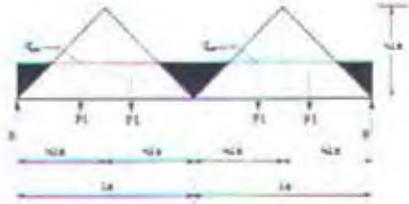
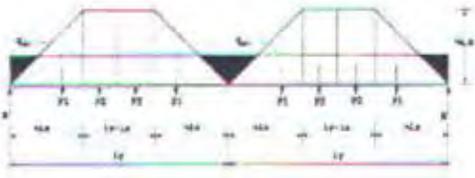
1. Beban pelat lantai (q_D) = 400 kg/m²
1. Beban pelat atap (q_D) = 120 kg/m²
3. Beban sendiri balok anak dianalisa langsung oleh program bantu SAP 2000.

Menurut analisa pembebanan ekuivalen, didapat:

Input Pembebanan Hidup Pelat

Tabel 5.2. Pembebanan ekuivalen beban hidup struktur utama

| <i>Jenis Pembebanan</i> | <i>lx (m)</i> | <i>ly (m)</i> | <i>Beban Lantai (kg/m)</i> | <i>Beban Atap (kg/m)</i> |
|---|-------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------------|
|  | 3.30 | - | 440 | 132 |

| | | | | |
|---|------|------|---------|--------|
|  | 3.30 | - | 330 | 99 |
| | 3.35 | - | 335 | 100,5 |
| | 3.45 | - | 345 | 103,5 |
| | 3.60 | - | 360 | 108 |
|  | 3.30 | 3.45 | 344,348 | 103,30 |
| | 3.30 | 3.60 | 357,500 | 107,25 |
| | 3.35 | 3.45 | 344,710 | 103,41 |
| | 3.35 | 3.60 | 358,264 | 107,48 |
| | 3.45 | 3.75 | 372,600 | 111,78 |
| | 3.45 | 4.10 | 399,695 | 119,91 |
| | 3.60 | 3.75 | 374,400 | 112,32 |
| | 3.60 | 4.10 | 403,902 | 121,17 |

Dengan perhitungan yang sama didapat beban-beban hidup tiap lantai adalah seperti dalam tabel berikut:

Data beban hidup terpusat

Merupakan beban-beban yang ditransfer dari balok anak berupa reaksi dari beban hidup pelat. Untuk pembebanan ini diambil nilai maksimum dari tiap bentang. Nilai-nilai beban diambil dari perencanaan pelat pada Bab IV.

5.2.3. Beban Angin

Beban angin yang diterima kolom diasumsikan besarnya sama, baik arah sumbu x maupun sumbu y. Tekanan akibat angin menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 adalah sebesar 40 kg/m^2 . Hasil analisa beban angin ini merupakan input beban merata horisontal pada kolom-kolom gedung.



Gambar 5.1. Orientasi arah angin pada gedung.

Angin Arah Sumbu X Gedung

Lebar total dinding yang mengalami tekanan angin adalah 61,5 m. Sedangkan jumlah kolom pada satu sisi arah tersebut adalah 10 buah. Maka besarnya tekanan angin yang diterima oleh masing-masing kolom adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kolom pihak angin (tekan)} \quad W_{L_{x+}} &= 0,9.P. \frac{61,5}{10} \\ &= 0,9.40. \frac{61,5}{10} = 221,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom dibelakang angin (hisap)} \quad W_{L_{x-}} &= 0,9.P. \frac{61,5}{10} \\ &= -0,4.40. \frac{61,5}{10} = -98,4 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Angin Arah Sumbu Y Gedung

Lebar total dinding yang mengalami tekanan angin adalah 50,1 m. Sedangkan jumlah kolom pada satu sisi arah tersebut adalah 8 buah. Maka besarnya tekanan angin yang diterima oleh masing-masing kolom adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kolom pihak angin (tekan)} \quad W_{L_{y+}} &= 0,9.P. \frac{50,1}{8} \\ &= 0,9.40. \frac{50,1}{8} = 225,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kolom dibelakang angin (hisap)} \quad W_{L_{y-}} &= -0,4.P. \frac{50,1}{8} \\ &= -0,4.40. \frac{50,1}{8} = -100,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

5.2.4. Beban Gempa

Beban gempa menggunakan analisa beban gempa dinamis *respons spectrum* berdasarkan UBC 1997. Zone gempa berada di zone 4.⁸⁹ Berdasarkan "Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa (CUR edisi kedua)", daerah ini memiliki percepatan gravitasi antara $0.13g - 0.2g$. Dalam perhitungan ini diambil percepatan maximum sebesar $0.2g$, maka $Z = 0.2$

Tipe tanah yang terlampir pada data tanah dipaeroleh rata-rata nilai SPT adalah 18,2 berkisar antara 15 ~ 50 berdasarkan UBC 1997 tabel 16J termasuk kategori atau tipe S_D . Maka dengan data tersebut, menurut UBC 1997⁹⁰, didapatkan nilai *seismic coefficient* (C_d) = 0,28 dan nilai *seismic coefficient* (C_v) = 0,4. Berdasarkan data tanah yang ada, diperoleh :

Analisa Dinamis Respon Spektrum

Periode waktu getar didapat,⁹¹

$$T_s = \frac{C_v}{2,5.C_a} = \frac{0,4}{2,5.0,28} = 0,571 \text{ det.}$$

$$T_o = 0,20.T_s = 0,25.0,571 = 0,114 \text{ det.}$$

dan

$$2,5.C_a = 0,7$$

Tabel 5.3. Hubungan *Period* dengan *Spectral Acceleration*.

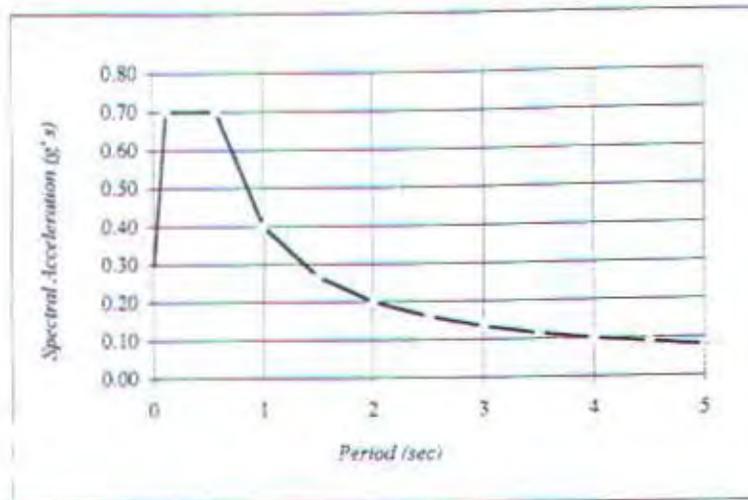
| <i>Period</i> (sec) | <i>Spectral Acc</i> (g's). | <i>Period</i> (sec) | <i>Spectral Acc.</i> (g's) |
|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 0 | 0,28 | 2,5 | 0,16 |
| 0,114 | 0,70 | 3,0 | 0,13 |
| 0,571 | 0,70 | 3,5 | 0,11 |
| 1,0 | 0,40 | 4,0 | 0,10 |
| 1,5 | 0,27 | 4,5 | 0,09 |
| 2,0 | 0,2 | 5,0 | 0,08 |

Dari data-data di atas didapatkan grafik respon spectra seperti dibawah ini:

⁸⁹ Menurut Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (PPTGIUG 1983).

⁹⁰ Berdasarkan UBC 1997, tabel 16-Q dan tabel 16-R. Seismic Coefficient C_a dan C_v .

⁹¹ Berdasarkan UBC 1997, gambar 16 - 3. Design Response Spectra.



Gambar 5.2. Grafik respon spectra.

5.3. INPUT KARAKTERISIK GEMPA

Input karakteristik gempa khusus meliputi input pusat massa, input momen inersia massa, input jumlah mode dan dumping.

5.3.1. Pusat Massa

Pusat massa (*masses*) atau berat total tiap lantai diperhitungkan dan diberikan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5.4 Pusat Massa.

| <i>Lantai</i> | <i>Berat (kg)</i> | <i>x (m)</i> | <i>y (m)</i> |
|---------------|-------------------|--------------|--------------|
| Atap | 861336,84 | 12,15 | 31,08 |
| Lantai 7 | 2212870,02 | 12,16 | 31,20 |
| Lantai 6 | 3564403,20 | 12,16 | 31,22 |
| Lantai 5 | 4915936,38 | 12,16 | 31,24 |
| Lantai 4 | 6267469,56 | 12,16 | 31,24 |
| Lantai 3 | 9566734,50 | 17,70 | 29,50 |
| Lantai 2 | 13232551,44 | 20,98 | 39,16 |
| Lantai 1 | 16887068,38 | 22,72 | 47,81 |

didapat *total seismic dead load (W_d) = 58191851,20kg*

5.3.2. Momen Inersia Massa

Selain memasukkan nilai pusat massa (*masses*), analisa struktur dinamis juga membutuhkan input data inersia massa tiap lantainya atau yang dikenal sebagai momen inersia massa (*MMI*) atau yang didefinisikan menurut perumusan berikut:

$$MMI = \frac{M}{12} \cdot (b^2 \times d^2) + M \cdot D^2$$

dengan, M = massa suatu komponen struktur, W g.

b = lebar suatu komponen struktur.

d = panjang suatu komponen struktur.

D = jarak antara pusat massa suatu komponen struktur terhadap pusat massa sistem struktur.

Dari perhitungan berdasar perumusan diatas didapatkan *MMI* pada tiap lantai struktur sebagai berikut:

Tabel 5.4 Momen Inersia Massa.

| <i>Lantai</i> | <i>MMI</i> (<i>kg m dt²</i>) |
|---------------|--|
| Atap | 2796341221 |
| Lantai 7 | 5560387979 |
| Lantai 6 | 5560387237 |
| Lantai 5 | 5560388083 |
| Lantai 4 | 5560387998 |
| Lantai 3 | 136482452526 |
| Lantai 2 | 136426042716 |
| Lantai 1 | 136796566304 |

5.3.3. Mode dan Damping

Menurut UBC 1997, pasal 1631.5.2. angka mode yang dimasukkan dalam analisa dinamis harus sedemikian sehingga partisipasi massa yang diperhitungkan dalam analisa mencapai tidak kurang dari 90% total massa dalam setiap arah horisontalnya. Dalam struktur ini jumlah mode digunakan 13, sedangkan untuk damping, dalam digunakan sebesar 0,05.

5.4. ANALISA STRUKTUR

Kombinasi pembebanan menggunakan faktor seperti yang telah disebutkan pada Konsep SKSNI T-15-1991-03-T-15-191-03, pasal 3.2.2. yaitu sebagai berikut:

Tabel 5.4. Macam kombinasi pembebanan.

| <i>Nama Kombinasi Beban</i> | <i>Bentuk Kombinasi Pembebanan</i> |
|-----------------------------|------------------------------------|
| COMBO1 | $U = 1,2.D + 1,6.L$ |
| COMBO2 | $U = 0,9.D + 1,3.W$ |
| COMBO3 | $U = 1,05.(D + L_2 \pm E)$ |
| COMBO4 | $U = 0,9.(D \pm E)$ |

Untuk kombinasi pembebanan pada input SAP 2000 setelah diperhitungkan gaya pratekan pada balok, besarnya gaya pratekan ditambahkan dalam setiap kombinasi pembebanan dengan faktor sebesar 1,2.

Input dan output atau hasil analisa struktur gedung menggunakan program SAP 2000 dapat dilihat pada lembar lampiran, dan dari hasil output tersebut dikontrol hasilnya sesuai dengan peraturan yang ada.

5.4.1. Kontrol Geser Dasar Gempa

Berdasarkan UBC 1997 pasal 1631.5.4., untuk semua tipe struktur yang direncanakan menggunakan analisa dinamis dengan memperhitungkan koefisien sifat-sifat tanah, akan mengalami reduksi pada parameter-parameter respon elastisnya terhadap gempa. Oleh sebab itu perhitungan gempa pada struktur ini nilai geser dasar gempa atau *base-shear* (V_d) pada analisa dinamis harus di kontrol tidak kurang atau lebih besar dari 10% dari nilai geser dasar gempa atau *base-shear* (V_d) yang ada pada analisa gaya-gaya statis.

Analisa Statis

Melalui nilai-nilai data gempa yang telah diperoleh diatas, *Seismic importance factor* (I)⁹² didapat 1,0. Sedangkan nilai faktor tipe gedung (R)⁹³ berdasar perencanaan

⁹² Berdasarkan UBC 1997, tabel 16-K. Occupancy Category.

⁹³ Berdasarkan UBC 1997, tabel 16-N. Structural Systems.

momen-resisting frame system untuk struktur beton didapat 8,5 sedangkan periode struktur (T) dihitung sebagai berikut:⁹⁴

$$T = C_t \times (h_n)^{3/4} \quad \text{dimana nilai } C_t = 0,030 \text{ (untuk SI: } 0,0731) \\ = 0,0731 \times (37)^{3/4} = 1,10 \text{ detik}$$

maka *base-shear* statis (V_s) didapat sebagai berikut:⁹⁵

$$V_s = \frac{C_v \cdot I}{R \times T} \times W_i = \frac{0,4 \cdot 1,0}{8,5 \times 1,10} \times 17261032,6 = 774906,07 \text{ kg} = 7594079,5 \text{ N}$$

Analisa Dinamis Respon Spectrum

Menurut hasil analisa dinamis SAP 2000 pada struktur didapatkan besarnya geser dasar gempa atau *base-shear* adalah:⁹⁶

$$V_{dx} = 7638211 \text{ N} \quad \text{dan} \quad V_{dy} = 7586753 \text{ N}$$

dengan demikian didapat V_d yang memenuhi batas tidak kurang dan tidak lebih 10% dari harga V_s , maka analisa dinamis struktur terhadap gempa telah memenuhi syarat.

5.4.2. Kontrol Partisipasi Massa

Seperti yang telah disebutkan diatas, angka mode yang dimasukkan dalam analisa dinamis harus sedemikian sehingga partisipasi massa yang diperhitungkan dalam analisa mencapai tidak kurang dari 90% total massa dalam setiap arah horisontalnya. Untuk melihat apakah jumlah mode yang telah kita masukkan telah mencukupi syarat tersebut, maka perlu dikontrol rasio partisipasi massa dalam batas 90% sampai 100%. Dari hasil analisa didapat besar partisipasi massa sebagai berikut:⁹⁷

- Arah sumbu x = 99,11 %
- Arah sumbu y = 97,16 %

Dari hasil tersebut, maka jumlah mode yang telah dimasukkan telah mencukupi dan tidak perlu ditambah lagi.

⁹⁴ Berdasarkan UBC 1997, pasal 1630.2.2. Metode A.

⁹⁵ Berdasarkan UBC 1997, pasal 1630.2.1.

⁹⁶ Diperoleh dengan memasukkan faktor pengali Input Respon Spectra sebesar $\pm 0,2$ (satuan panjang dalam m).

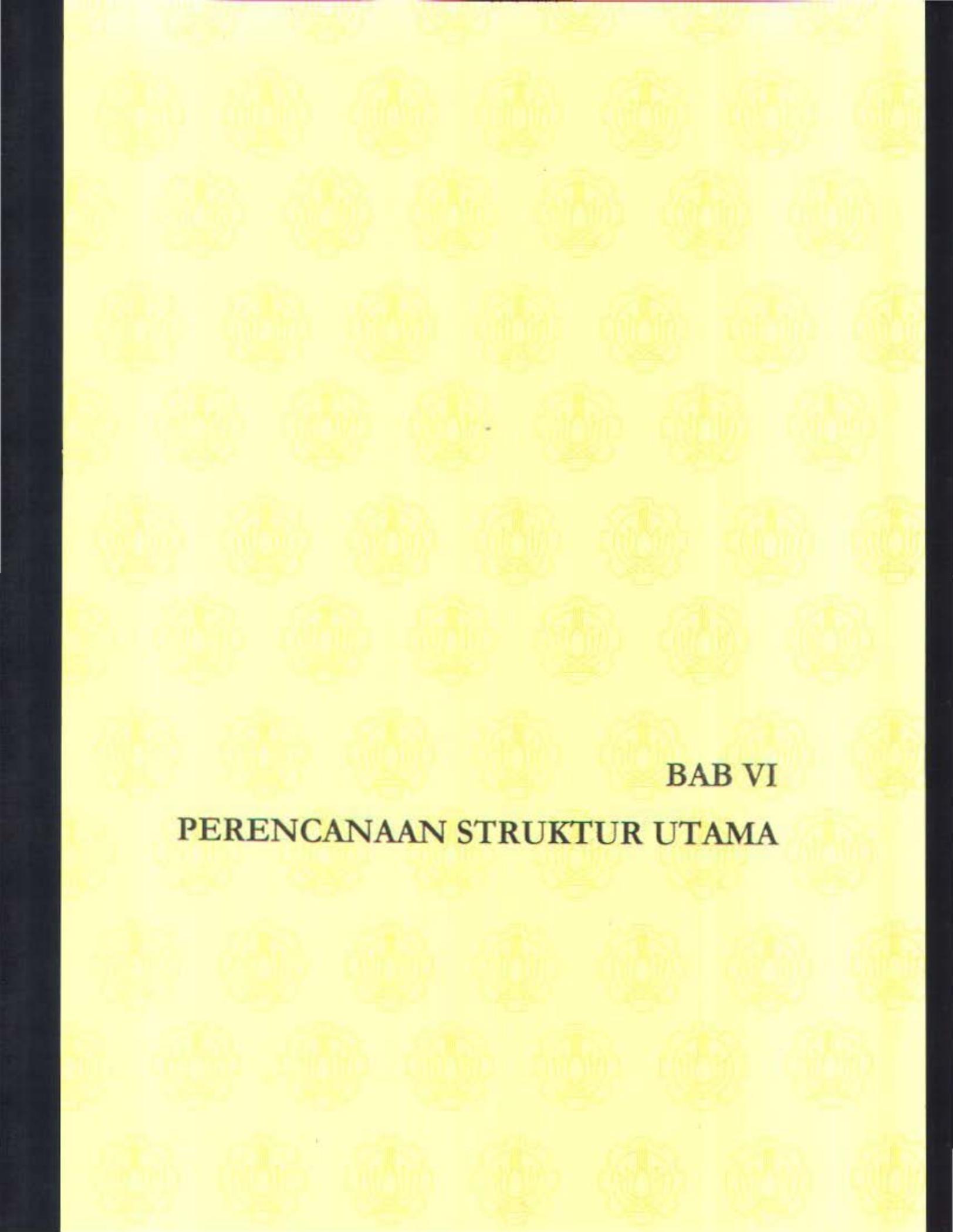
⁹⁷ Output hasil analisa SAP 2000, file: *.OUT.

5.4.3. Kontrol Drift

Berdasarkan UBC-97 1630.10.2, perhitungan *Story Drift* berdasarkan maximum inelastic response displacement ($\Delta_{i,t}$) tidak boleh melebihi 0,02 dari tinggi gedung, untuk period melebihi 0,7.

$$\Delta = 0,02 \times 37 = 0,74 \text{ m} < \Delta_{i,t} (= 0,061 \text{ m})^{98} \quad \text{memenuhi syarat!}$$

⁹⁸ dari analisa struktur dengan menggunakan SAP 2000



BAB VI
PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

BAB VI

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

6.1. UMUM

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

6.2. PERENCANAAN BALOK PRATEKAN

Dalam perencanaan balok pratekan pada Gedung Atlas Sport Club II ini, direncanakan dengan sistem pasca-tarik (*post tensioning*) yaitu sistem pratekan dimana kabel ditarik setelah beton mengeras. Jadi tendon pratekan diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya prategang diberikan. Cara ini biasanya dipakai pada elemen-elemen beton yang dicetak di tempat. Pada umumnya pelaksanaan sistem prategang ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu:

- Tendon dimasukkan kedalam selubung tendon (*duct*), dan angkur diletakkan diujung tendon.
- Tendon dan selubung tendon ditempatkan pada bekisting dan diikatkan pada posisinya dengan cara seperti tulangan biasa. Meletakkan tulangan lunak/biasa, sengkang, dll.
- Beton dituang dan dilakukan curing sampai kekuatannya cukup untuk dilakukan penarikan pada tendon.
- Tendon ditarik dengan menggunakan jack hidrolik. Angkur ujung diatur untuk mengalihkan gaya prategang ke dalam beton.
- Ruang kosong di sekeliling tendon digrouting.
- Angkur dilapisi dengan lapisan pelindung.

Perencanaan balok pratekan harus memperhitungkan pada kondisi kritis selama dalam pelaksanaan dan dalam sistem struktur nantinya. Keadaan balok pratekan yang paling kritis umumnya terjadi pada dua kondisi pembebanan, yaitu pembebanan 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 yaitu berat sendiri beton pratekan dan pelat saja, karena beban hidup dalam hal ini belum bekerja. Kondisi ini akan memberikan momen minimum (M_{min}). Pada saat ini pula, gaya prategang yang bekerja adalah maksimum dan kekuatan betonnya minimum.

Kondisi pembebanan akhir adalah kondisi dimana beban luar yaitu beban mati dan beban hidup sudah sepenuhnya bekerja dan kehilangan gaya prategang sudah terjadi. Pada saat ini beban luar adalah maksimum yaitu memberikan momen maksimum (M_{max}) dan gaya prategang adalah minimum.

6.2.1. Perhitungan Gaya Prategang Awal

Untuk mendapatkan besarnya gaya prategang yang dibutuhkan, dilakukan analisa struktur tanpa adanya gaya prategang untuk mengetahui besarnya momen maksimum dan momen minimum yang akan bekerja membebani balok pratekan pada struktur gedung. Besarnya gaya prategang dan eksentrisitas yang diberikan adalah sedemikian sehingga baik pada kondisi pembebanan awal maupun saat pembebanan akhir.

Tegangan Ijin Penampang

Syarat tegangan-tegangan yang terjadi pada penampang beton harus memenuhi tegangan ijin menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.11.4.

Tegangan ijin beton setelah peralihan (sebelum kehilangan tegangan) pada saat beton berumur 14 hari⁹⁸, dengan $f_{ci} = 0,88.f_c = 0,88.40 = 35,2$ MPa.

- Tekan $\sigma_{ci} = 0,6.f_{ci} = 0,6.35,2 = 21,1$ MPa
- Tarik⁹⁹ $\sigma_{ti} = -0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = -0,25 \cdot \sqrt{35,2} = -1,5$ MPa

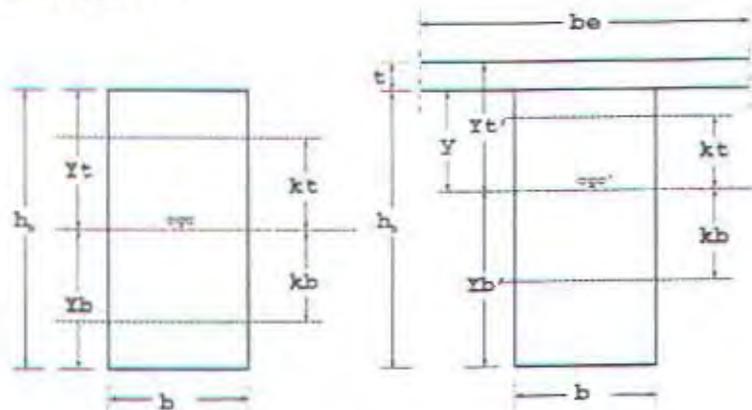
Tegangan ijin beton pada beban kerja (sesudah kehilangan tegangan).

- Tekan $\sigma_c = 0,45.f_c = 0,45.40 = 18$ MPa
- Tarik¹⁰⁰ $\sigma_t = -0,5 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = -0,5 \cdot \sqrt{35,2} = -3,2$ MPa

⁹⁸ Menurut PBBI 1971, Tabel 4.1.4. Perbandingan kekuatan beton pada berbagai umur.

⁹⁹ Kecuali pada ujung balok diatas dua tumpuan dimana $0,05 \sqrt{f'_{ci}}$ diijinkan.

Karakteristik Penampang Balok



Gambar 6.1. Dimensi balok pratekan.

Sebelum komposit :

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

$$h = 1300 - 120 = 1180 \text{ mm}$$

$$A_{\text{balok}} = b_w \cdot h = 600 \cdot 1180 = 708000 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 600 \cdot 1180^3 = 8,22\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$Y_t = Y_b = 0,5h = 590 \text{ mm}$$

$$z_t = I/y_t = 8,22\text{E}+10/590 = 1,39\text{E}+8 \text{ mm}^3$$

$$z_b = I/y_b = 8,22\text{E}+10/590 = 1,39\text{E}+8 \text{ mm}^3$$

$$k_t = z_b/A = 1,39\text{E}+8/708000 = 197 \text{ mm}$$

$$k_b = z_t/A = 1,39\text{E}+8/708000 = 197 \text{ mm}$$

Sesudah komposit :

Lebar efektif (b_e)¹⁰¹

$$b = b_t + 2 \cdot (8 \cdot t) = 600 + 2 \cdot (8 \cdot 120) = 2520 \text{ mm}$$

$$^{102}E_{c_{\text{pelat}}} = 4700 \cdot \sqrt{f'c} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$E_{c_{\text{balok}}} = 4700 \cdot \sqrt{f'c} = 4700 \cdot \sqrt{40} = 29725,41 \text{ MPa}$$

¹⁰⁰ Bila analisa berdasarkan penampang retak dan momen lendutan menunjukkan bahwa lendutan yang langsung terjadi dan lendutan jangka panjang memenuhi batas peraturan, gaya tarik maksimum $\sqrt{f'_t}$.

¹⁰¹ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, Gambar. 6-22, hal. 201.

¹⁰² Konsep SKSNI-T-15-1991-03 Pasal 3.1.5

$$n = \frac{E_{c_{balok}}}{E_{c_{pelat}}} = \frac{29725,41}{25742,96} = 1,155$$

Luas penampang (A_t)

$$A_{pelat} = \frac{be}{n} \cdot t = \frac{2520}{1,155} \cdot 120 = 235153,83 \text{ mm}^2$$

maka,

$$A_t = A_{pelat} + A_{balok} = 235153,83 + 708000 = 943154 \text{ mm}^2$$

Statis momen terhadap sisi atas pelat,

$$y_t' = \frac{(235153,83 \times 60) + (708000 \times 710)}{943154} = 548 \text{ mm}$$

$$y_b' = 1300 - 548 = 752 \text{ cm}$$

maka,

$$\begin{aligned} I_{komposit} &= I_{balok} + (A_{balok} \cdot (y_b - \frac{h}{2})^2) + I_{pelat} + (A_{pelat} \cdot (y_t - \frac{t}{2})^2) \\ &= \frac{1}{12} \cdot 600 \cdot 1180^3 + (708000 \cdot 162^2) + \frac{1}{12} \cdot \frac{2520}{1,155} \cdot 120^3 \\ &\quad + (235253,83 \cdot 488^2) \\ &= 1,57E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$z_t' = I_{komposit} / y_t = 1,57E+11 / 548 = 2,87E+8 \text{ mm}^3$$

$$z_b' = I_{komposit} / y_b = 1,57E+11 / 752 = 2,09E+8 \text{ mm}^3$$

dan selimut beton diambil 150 mm

Contoh Perhitungan Gaya Prategang Balok Lantai 4

Perencanaan balok pratekan direncanakan sama atau tipikal tiap lantai. Sehingga dihitung aman untuk semua kondisi dua pembebanan kritis pada balok-balok tiap lantai itu juga.

Perhitungan F_θ dan e_θ pada balok pratekan ini dianalisa berdasarkan dua kondisi. Kondisi pertama akibat beban keseluruhan struktur (menghasilkan M_{max}) dan kondisi kedua akibat beban saat transfer (menghasilkan M_{min}). Sehingga diperoleh batasan-batasan momen maksimum dan momen minimum berdasarkan kondisi-kondisi tersebut.

Dari analisa SAP 2000 untuk momen pada balok pratekan pada lantai 4 akibat kedua kondisi diatas didapat:

Momen Lapangan

$$^{103}Ml_{min} = 6,35E+5 \text{ N.m} = 6,35E+8 \text{ N.mm}$$

$$^{104}Ml_{max} = 1,84E+5 \text{ N.m} = 1,84E+9 \text{ N.mm}$$

Perhitungan F_0 pada kasus gedung ini dengan menggunakan *trial and error*.

Perhitungan Daerah Layout Kabel Balok Pratekan Lantai 4 dengan Trial and Error F_0

Dicoba $F_0 = 450 \text{ ton} = 4500 \text{ kN}$

Momen akibat keseluruhan struktur di daerah lapangan, seperti diatas adalah:

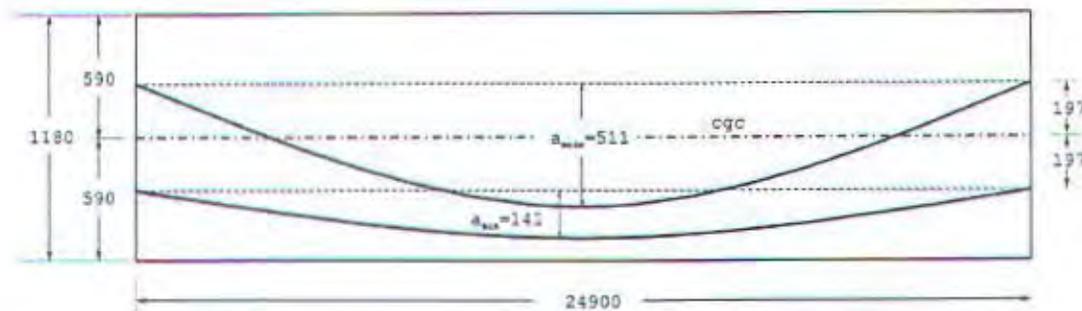
$$Ml_{min} = 6,35E+8 \text{ N.mm}$$

$$Ml_{max} = 1,84E+9 \text{ N.mm}$$

$F = 360 \text{ ton} = 3600 \text{ kN}$ (perkiraan kehilangan gaya pratekan 20%)

$$a_{max} = \frac{M_{max}}{F} = \frac{1840000000}{3600000} = 511 \text{ mm}$$

$$a_{min} = \frac{M_{min}}{F_0} = \frac{635000000}{4500000} = 141 \text{ mm}$$



Gambar 6.2. Daerah layak kabel pratekan.

maka, pada perencanaan balok pratekan ini dipakai,

$$F_0 = 450 \text{ ton} \quad eo_t = 170 \text{ mm} \text{ (420 mm dari serat atas)}$$

$$F = 360 \text{ ton} \quad eo_b = 320 \text{ mm} \text{ (270 mm dari serat bawah)}$$

$$\text{maka, } f = 170 + 340 = 510 \text{ mm}$$

dengan perhitungan yang sama seperti diatas, untuk kebutuhan gaya pratekan pada balok di lantai yang lainnya dapat dilihat dalam tabel berikut:

¹⁰³ Momen lapangan minimum pada lantai yang bersangkutan akibat beban saat transfer.

¹⁰⁴ Momen lapangan maksimum pada lantai yang bersangkutan akibat beban keseluruhan sistem struktur.

Tabel 6.1. Besar gaya pratekan dan layout kabel.

| Balok Pratekan | F_0 | F | e_{0i} | e_{0k} |
|----------------|---------|---------|----------|----------|
| Balok lantai 4 | 450 ton | 360 ton | 170 mm | 320 mm |
| Balok lantai 5 | 450 ton | 360 ton | 170 mm | 320 mm |
| Balok lantai 6 | 450 ton | 360 ton | 170 mm | 320 mm |
| Balok lantai 7 | 430 ton | 344 ton | 170 mm | 320 mm |
| Atap | 410 ton | 328 ton | 150 mm | 330 mm |

6.2.2. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Dalam perencanaan balok pratekan, kehilangan gaya-gaya prategang dibedakan menjadi dua. Kehilangan gaya prategang langsung dan tidak langsung tergantung waktu. Proses kehilangan ini akan terjadi sesuai dengan kemungkinan yang terjadi selama pelaksanaannya dilapangan.

Sistem angkur dan tendon pratekan dalam perencanaan ini menggunakan produk kawat pratekan yang diproduksi oleh Freyssinet International, PT. Freyssinet Total Technology.

Data Bahan Angker VSL Tipe strand 37K5

| | |
|----------------------------------|---|
| Jumlah strand (n) | = 37 buah |
| Luas strand (A_{ps}) | = 5,661 inch = 3652 mm ² |
| Diameter selongsong (ϕ_p) | = 4 1/2 inch = 130,175 mm |
| Gaya batas (F_{lim}) | = 70%.kekuatan patah = 1070 k = 4759 kN |
| Modulus elastisitas (E_{ps}) | = 27000000 psi = 186300 MPa |
| Tegangan batas (f_{pu}) | = 270000 psi = 1863 MPa |

6.2.2.1. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Langsung

Kehilangan gaya prategang langsung dalam perencanaan gedung Atlas Sport Club II ini antara lain akibat slip angker, gesekan, *wobble effect* dan kehilangan akibat kekekangan kolom.

Contoh Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Langsung Balok Lantai 4

SLIP ANGKER

Gaya yang dibutuhkan untuk transfer prategang adalah $F_0 = 4500$ kN, maka dipilih angker, strand serta tendon dengan karakteristik seperti berikut:

Karakteristik untuk 37 wire strands yang direncanakan adalah:

$$\mu^{105} = 0,25$$

$$K^{106} = 0,0016 /m'$$

$$g^{107} = 1 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{8 \cdot f}{L} = \frac{8 \times 510}{24900} = 0,157 \text{ rad}$$

$$f_{st} = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{4500000}{3652} = 1232,12 \text{ N/mm}^2$$

Jarak pengaruh slip anker pada balok yang diperhitungkan,

$$x = \sqrt{\frac{E_{ps} \cdot g}{f_{st} \left(\frac{\mu \cdot \alpha}{L} + K \right)}} = \sqrt{\frac{186300 \times 1}{1232,12 \left(\frac{0,25 \times 0,157}{24900} + 0,0000016 \right)}} = 6894,85 \text{ mm}$$

Penurunan tegangan akibat slip,

$$\begin{aligned} \Delta f_{st} &= 2 \cdot f_{st} \left(\mu \cdot \frac{\alpha}{L} + K \right) \cdot x = 2 \times 1232,12 \left(0,25 \cdot \frac{0,157}{24900} + 0,0000016 \right) \cdot 6894,85 \\ &= 54,04 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang akibat slip anker,

$$\begin{aligned} \Delta F &= \Delta f_{st} \times A_{ps} = 54,04 \times 3652 \\ &= 197354 \text{ N} = 197,35 \text{ kN} \\ F &= 4500 - 197,35 = 4302,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

GESEKAN dan WOBBLE EFFECT

$$\begin{aligned} F &= F_i \cdot e^{-(\mu \alpha + K \cdot L)} = 4302,65 \times e^{-(0,25 \times 0,157 + 0,0000016 \times 24900)} \\ &= 4157,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Delta F = 4302,65 - 4157,36 = 342,64 \text{ kN}$$

Maka kehilangan gaya prategang langsung total adalah:

$$\Delta F_{\text{langsung}} = 197,37 + 342,64 = 540,01 \text{ kN}$$

6.2.2.2. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung

¹⁰⁵ Koefisien kelengkungan, T.Y.Lin., Ned H. Burns, Desain Struktur Beton Prategang, Tabel 4.7, hal. 117

¹⁰⁶ Koefisien Wobble, T.Y.Lin., Ned H. Burns, Desain Struktur Beton Prategang, Tabel 4.7, hal. 117

¹⁰⁷ Slip anker, diambil rata-rata pada umumnya di lapangan untuk kondisi prategang gedung.

Perhitungan kehilangan gaya prategang tak langsung dihitung bertahap menurut tahapan selama pelaksanaan struktur seperti di tabelkan berikut ini:

Tabel 6.2. Tahapan waktu perhitungan kehilangan gaya prategang tak langsung.

| Tahap | Waktu Awal (t_1) hari | Waktu Akhir (t_2) hari | Keterangan |
|-------|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| I | Akhir Curing | 2 | - |
| II | 2 | 28 | Transfer Lantai 5 |
| III | 28 | 56 | Transfer Lantai 6 |
| IV | 56 | 84 | Transfer Lantai 7 |
| V | 84 | 112 | Transfer Atap |
| VI | 112 | 140 | - |
| VII | 140 | 1 tahun | - |
| VIII | 1 tahun | 20 tahun | Akhir umur layan |

Contoh Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Balok Lantai 4

Data Teknis

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

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

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

$$A_{ps} = 3652 \text{ mm}^2$$

$$At = 943154 \text{ mm}^2$$

$$F_0 = 4500 \text{ kN}$$

$$I_{komp} = 1,57E+11 \text{ mm}^4$$

$$be = 2520/1,155 = 2263 \text{ mm}$$

$$F_{ijin} = 4759 \text{ kN (Strand tipe 37K5)}$$

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

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

Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Tahap I

Mulai dari akhir curing atau awal transfer gaya prategang sampai dengan dua hari setelah transfer prategang, ($t_1 = 1/24$ hari dan $t_2 = 2$ hari).

$$f_{si0} = f_{si} = \frac{F_i}{A_{ps}} = \frac{4500000}{3652} = 1232,12 \text{ MPa}$$

RELAKSASI

$$\frac{f_{si0}}{f_{py}} = \frac{f_{si0}}{0,9 \cdot f_{pu}} = \frac{1232,12}{0,9 \times 1863} = 0,735$$

$$\text{syarat } f_{si0}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$$

$$0,735 - 0,55 = 0,185 \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

$$\begin{aligned}
 RET_1 &= f_{st0} \left[\frac{\log 24.t_2 - \log 24.t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\
 &= 1232,12 \left[\frac{\log 24.2 - \log 24. \frac{1}{24}}{45} \right] \times (0,735 - 0,55) = 8,51 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

RANGKAK & SUSUT

Kehilangan gaya prategangan akibat rangkak dan susut relatif kecil untuk waktu yang pendek, sehingga diabaikan. $CR_1 = SH_1 = 0$

TOTAL TAHAP I

$$\begin{aligned}
 f_{st1} &= f_{st} - (RET_1 + CR_1 + SH_1) \\
 &= 1232,12 - (8,51 + 0 + 0) = 1223,6 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Tahap II

Mulai akhir tahap I sampai dengan 28 hari, ($t_1 = 2$ hari dan $t_2 = 28$ hari).

$$f_{st1} = 1223,6 \text{ MPa}$$

$$F_1 = f_{st1} \times A_{ps} = 1223,6 \times 3652 = 4468923 \text{ N} = 4469 \text{ kN}$$

RELAKSASI

$$\frac{f_{st1}}{f_{py}} = \frac{f_{st1}}{0,9 \cdot f_{pu}} = \frac{1223,6}{0,9 \times 1863} = 0,730$$

$$\text{syarat } f_{st1}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$$

$$0,730 - 0,55 = 0,180 \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

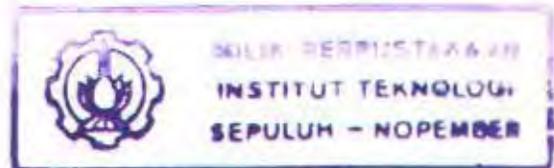
$$\begin{aligned}
 RET_2 &= f_{st1} \left[\frac{\log 24.t_2 - \log 24.t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\
 &= 1223,6 \left[\frac{\log 24.28 - \log 24.2}{45} \right] \times (0,73 - 0,55) = 5,60 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

RANGKAK

$$PCR_2 = AUC_{(28 \text{ hari})} - AUC_{(2 \text{ hari})} = 0,34 - 0,15 = 0,19$$

$$\begin{aligned}
 f_{c2} &= \frac{F_1}{At} + \frac{F_1 \cdot e \cdot o_b^2}{I} - \frac{M_{\min} \cdot e \cdot o_b}{I} \\
 &= \frac{4468923}{943154} + \frac{4468923 \times 320^2}{1,57E+11} - \frac{1,36E+9 \times 320}{1,57E+11} = 6,36 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{At \times L}{2 \cdot (h + be) \cdot L} = \frac{943154 \times 24900}{2 \cdot (1180 + 2263) \cdot 24900} = 132,4 \text{ mm} = 6 \text{ in}$$



maka $SCF_2 = 0,68$ dan $SSF_2 = 0,60$

$$UCR_2 = 90 - \frac{20 \times Ec}{10^6} = 90 - \frac{20 \times 4308029}{10^6} = 3,84 \text{ psi}$$

maka dipakai $UCR_2 = 11 \text{ psi} = 0,076 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} CR_2 &= UCR_2 \times SCF_2 \times MCF_2 \times PCR_2 \times fc_2 \\ &= 0,076 \times 0,68 \times 0,74 \times 0,19 \times 6,36 = 0,046 \text{ MPa} \end{aligned}$$

SUSUT

$$PSH_2 = AUS_{(28 \text{ hari})} - AUS_{(2 \text{ hari})} = 0,408 - 0,120 = 0,288$$

$$USH_2 = 27000 - \frac{3000 \times Ec}{10^6} = 27000 - \frac{3000 \times 4308029}{10^6}$$

$$= 14075,91 \text{ psi} = 97,12 \text{ MPa}$$

$$SSF_2 = 0,69$$

$$SH_2 = USH_2 \times SSF_2 \times PSH_2 = 97,12 \times 0,60 \times 0,288 = 16,8 \text{ MPa}$$

TOTAL TAHAP II

$$f_{st2} = f_{st1} - (RET_2 + CR_2 + SH_2) = 1223,6 - (5,60 + 0,046 + 16,8) = 1201,2 \text{ MPa}$$

Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Tahap III

Mulai akhir tahap II sampai dengan 56 hari, ($t_1 = 28$ hari dan $t_2 = 56$ hari).

$$f_{st2} = 1201,2 \text{ MPa}$$

$$F_2 = f_{st2} \times A_{ps} = 1201,2 \times 3650 = 4386999 \text{ N} = 4387 \text{ kN}$$

RELAKSASI

$$\frac{f_{st2}}{f_{py}} = \frac{f_{st2}}{0,9 \cdot f_{pu}} = \frac{1201,2}{0,9 \times 1863} = 0,72$$

syarat $f_{st2}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$

$$0,720 - 0,55 = 0,17 \quad (\text{memenuhi})$$

$$\begin{aligned} RET_3 &= f_{st2} \left[\frac{\log 24 \cdot t_2 - \log 24 \cdot t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \\ &= 1201,2 \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot 56 - \log 24 \cdot 28}{45} \right] \times (0,720 - 0,55) = 1,34 \text{ MPa} \end{aligned}$$

RANGKAK

$$PCR_3 = AUC_{(56 \text{ hari})} - AUC_{(28 \text{ hari})} = 0,437 - 0,340 = 0,097$$

$$f_{c3} = \frac{F_2}{At} + \frac{F_2 \cdot e o_b^2}{I} - \frac{M_{\min} \cdot e o_s}{I}$$

$$= \frac{4386999}{943154} + \frac{4386999 \times 320^2}{1,57E+11} - \frac{1,36E+9 \times 320}{1,57E+11} = 6,22 \text{ MPa}$$

$$SCF_3 = 0,68$$

$$UCR_3 = 0,076 \text{ MPa}$$

$$CR_3 = UCR_3 \times SCF_3 \times MCF_3 \times PCR_3 \times f_{c3}$$

$$= 0,076 \times 0,68 \times 0,60 \times 0,097 \times 6,22 = 0,02 \text{ MPa}$$

SUSUT

$$PSH_3 = AUS_{(56 \text{ hari})} - AUS_{(28 \text{ hari})} = 0,533 - 0,408 = 0,125$$

$$USH_3 = 97,12 \text{ MPa}$$

$$SSF_3 = 0,60$$

$$SH_3 = USH_3 \times SSF_3 \times PSH_3 = 97,12 \times 0,60 \times 0,125 = 7,29 \text{ MPa}$$

TOTAL TAHAP III

$$f_{st3} = f_{st2} - (RET_3 + CR_3 + SH_3) = 1201,2 - (1,34 + 0,02 + 7,29) = 1192,5 \text{ MPa}$$

Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Tahap IV

Mulai akhir tahap III sampai dengan 84 hari, ($t_1 = 56$ hari dan $t_2 = 84$ hari)

$$f_{st3} = 1192,5 \text{ MPa}$$

$$F_3 = f_{st3} \times A_{ps} = 1192,5 \times 3650 = 4355445 \text{ N} = 4355 \text{ kN}$$

RELAKSASI

$$\frac{f_{st3}}{f_{py}} = \frac{f_{st3}}{0,9 \cdot f_{pu}} = \frac{1192,5}{0,9 \times 1863} = 0,71$$

$$\text{syarat } f_{st3}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$$

$$0,71 - 0,55 = 0,16 \quad (\text{memenuhi})$$

$$RET_4 = f_{st3} \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot t_2 - \log 24 \cdot t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$= 1192,5 \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot 84 - \log 24 \cdot 56}{45} \right] \times (0,71 - 0,55) = 0,75 \text{ MPa}$$

RANGKAK

$$PCR_4 = AUC_{(84 \text{ hari})} - AUC_{(56 \text{ hari})} = 0,498 - 0,437 = 0,061$$

$$f_{c4} = \frac{F_3}{At} + \frac{F_3 \cdot e o_b^2}{I} - \frac{M_{\min} \cdot e o_b}{I}$$

$$= \frac{4355445}{943154} + \frac{4355445 \times 320^2}{1,57E+11} - \frac{1,36E+9 \times 320}{1,57E+11} = 6,16 \text{ MPa}$$

$$SCF_4 = 0,68$$

$$UCR_4 = 0,076 \text{ MPa}$$

$$CR_4 = UCR_4 \times SCF_4 \times MCF_4 \times PCR_4 \times f_{c4}$$

$$= 0,076 \times 0,68 \times 0,60 \times 0,061 \times 6,16 = 0,012 \text{ MPa}$$

SUSUT

$$PSH_4 = AUS_{(84 \text{ hari})} - AUS_{(56 \text{ hari})} = 0,606 - 0,533 = 0,073$$

$$USH_4 = 97,12 \text{ MPa}$$

$$SSF_4 = 0,60$$

$$SH_4 = USH_4 \times SSF_4 \times PSH_4 = 97,12 \times 0,60 \times 0,073 = 4,25 \text{ MPa}$$

TOTAL TAHAP IV

$$f_{st4} = f_{st3} - (RET_4 + CR_4 + SH_4) = 1192,5 - (0,75 + 0,012 + 4,25) = 1187,5 \text{ MPa}$$

Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Tahap V

Mulai akhir tahap IV sampai dengan 112 hari, ($t_1 = 84$ hari dan $t_2 = 112$ hari).

$$f_{st4} = 1187,5 \text{ MPa}$$

$$F_4 = f_{st4} \times A_{ps} = 1187,5 \times 3650 = 4336480 \text{ N} = 4336 \text{ kN}$$

RELAKSASI

$$\frac{f_{st4}}{f_{py}} = \frac{f_{st4}}{0,9 \cdot f_{pu}} = \frac{1187,5}{0,9 \times 1863} = 0,71$$

$$\text{syarat } f_{st4}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$$

$$0,71 - 0,55 = 0,16 \quad (\text{memenuhi})$$

$$RET_5 = f_{st4} \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot t_2 - \log 24 \cdot t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$= 1187,5 \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot 112 - \log 24 \cdot 84}{45} \right] \times (0,71 - 0,55) = 0,52 \text{ MPa}$$

RANGKAK

$$PCR_5 = AUC_{(112 \text{ hari})} - AUC_{(84 \text{ hari})} = 0,534 - 0,498 = 0,036$$

$$f_{c5} = \frac{F_4}{At} + \frac{F_4 \cdot e o_b^2}{I} - \frac{M_{\min} \cdot e o_b}{I}$$

$$= \frac{4336480}{943154} + \frac{4336480 \times 320^2}{1,57E+11} - \frac{1,36E+9 \times 320}{1,57E+11} = 6,13 \text{ MPa}$$

$$SCF_5 = 0,68$$

$$UCR_5 = 0,076 \text{ MPa}$$

$$CR_5 = UCR_5 \times SCF_5 \times MCF_5 \times PCR_5 \times f_{c5}$$

$$= 0,076 \times 0,68 \times 0,60 \times 0,036 \times 6,13 = 0,007 \text{ MPa}$$

SUSUT

$$PSH_5 = AUS_{(112 \text{ hari})} - AUS_{(84 \text{ hari})} = 0,635 - 0,606 = 0,029$$

$$USH_5 = 97,12 \text{ MPa}$$

$$SSF_5 = 0,60$$

$$SH_5 = USH_5 \times SSF_5 \times PSH_5 = 97,12 \times 0,60 \times 0,029 = 1,69 \text{ MPa}$$

TOTAL TAHAP V

$$f_{st5} = f_{st4} - (RET_5 + CR_5 + SH_5) = 1187,5 - (0,52 + 0,007 + 1,69) = 1185,3 \text{ MPa}$$

Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Tahap VI

Mulai akhir tahap V sampai dengan 140 hari, ($t_1 = 112$ hari dan $t_2 = 140$ hari).

$$f_{st5} = 1185,3 \text{ MPa}$$

$$F_5 = f_{st5} \times A_{ps} = 1185,3 \times 3650 = 4328378 \text{ N} = 4328 \text{ kN}$$

RELAKSASI

$$\frac{f_{st5}}{f_{py}} = \frac{f_{st5}}{0,9 \cdot f_{pu}} = \frac{1185,3}{0,9 \times 1863} = 0,71$$

$$\text{syarat } f_{st5}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$$

$$0,71 - 0,55 = 0,16 \quad (\text{memenuhi})$$

$$RET_6 = f_{st5} \left[\frac{\log 24 \cdot t_2 - \log 24 \cdot t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_{st5}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$= 1185,3 \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot 140 - \log 24 \cdot 112}{45} \right] \times (0,71 - 0,55) = 0,40 \text{ MPa}$$

RANGKAK

$$PCR_6 = AUC_{(140 \text{ hari})} - AUC_{(112 \text{ hari})} = 0,566 - 0,534 = 0,032$$

$$f_{c6} = \frac{F_s}{At} + \frac{F_s e^2}{I_{komp}} - \frac{M_{min} \cdot e}{I_{komp}}$$

$$= \frac{4328378}{943154} + \frac{4328378 \times 320^2}{1,57E+11} - \frac{1,36E+9 \times 320}{1,57E+11} = 6,12 \text{ MPa}$$

$$SCF_6 = 0,68$$

$$UCR_6 = 0,076 \text{ MPa}$$

$$CR_6 = UCR_6 \times SCF_6 \times MCF_6 \times PCR_6 \times f_{c6}$$

$$= 0,076 \times 0,68 \times 0,60 \times 0,032 \times 6,12 = 0,006 \text{ MPa}$$

SUSUT

$$PSH_6 = AUS_{(140 \text{ hari})} - AUS_{(112 \text{ hari})} = 0,653 - 0,635 = 0,018$$

$$USH_6 = 97,12 \text{ MPa}$$

$$SSF_6 = 0,60$$

$$SH_6 = USH_6 \times SSF_6 \times PSH_6 = 97,12 \times 0,60 \times 0,018 = 1,05 \text{ MPa}$$

TOTAL TAHAP VI

$$f_{s16} = f_{s15} - (RET_6 + CR_6 + SH_6) = 1185,3 - (0,40 + 0,006 + 1,05) = 1183,8 \text{ MPa}$$

Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Tahap VII

Mulai akhir tahap VI sampai dengan 1 tahun, ($t_1 = 140$ hari dan $t_2 = 365$ hari).

$$f_{s16} = 1183,8 \text{ MPa}$$

$$F_6 = f_{s16} \times A_{ps} = 1183,8 \times 3650 = 4323064 \text{ N} = 4323 \text{ kN}$$

RELAKSASI

$$\frac{f_{s16}}{f_{py}} = \frac{f_{s16}}{0,9 \cdot f_{pu}} = \frac{1183,8}{0,9 \times 1863} = 0,71$$

$$\text{syarat } f_{s16}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$$

$$0,71 - 0,55 = 0,16 \quad (\text{memenuhi})$$

$$RET_7 = f_{s16} \left[\frac{\log 24 \cdot t_2 - \log 24 \cdot t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_{s16}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$= 1183,8 \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot 365 - \log 24 \cdot 140}{45} \right] \times (0,71 - 0,55) = 1,71 \text{ MPa}$$

RANGKAK

$$PCR_7 = AUC_{(365 \text{ hari})} - AUC_{(140 \text{ hari})} = 0,740 - 0,566 = 0,174$$

$$f_{c7} = \frac{F_6}{At} + \frac{F_6 e^2}{I_{komp}} - \frac{M_{min} \cdot e}{I_{komp}}$$

$$= \frac{4323064}{943154} + \frac{4323064 \times 320^2}{1,57E+11} - \frac{1,36E+9 \times 320}{1,57E+11} = 6,11 \text{ MPa}$$

$$SCF_7 = 0,68$$

$$UCR_7 = 0,076 \text{ MPa}$$

$$CR_7 = UCR_7 \times SCF_7 \times MCF_7 \times PCR_7 \times f_{c7}$$

$$= 0,076 \times 0,68 \times 0,60 \times 0,174 \times 6,11 = 0,033 \text{ MPa}$$

SUSUT

$$PSH_7 = AUS_{(365 \text{ hari})} - AUS_{(140 \text{ hari})} = 0,86 - 0,653 = 0,207$$

$$USH_7 = 97,12 \text{ MPa}$$

$$SSF_7 = 0,60$$

$$SH_7 = USH_7 \times SSF_7 \times PSH_7 = 97,12 \times 0,60 \times 0,207 = 12,06 \text{ MPa}$$

TOTAL TAHAP VII

$$f_{s17} = f_{s16} - (RET_7 + CR_7 + SH_7) = 1183,8 - (1,71 + 0,033 + 12,06) = 1170 \text{ MPa}$$

Kehilangan Gaya Prategang Tak Langsung Tahap VIII

Mulai akhir tahap VII sampai 20 tahun, ($t_1 = 365$ hari dan $t_2 = 7300$ hari).

$$f_{s17} = 1170 \text{ MPa}$$

$$F_7 = f_{s17} \times A_{ps} = 1170 \times 3650 = 4272654 \text{ N} = 4272 \text{ kN}$$

RELAKSASI

$$\frac{f_{u7}}{f_{py}} = \frac{f_{u7}}{0,9 \cdot f_{pu}} = \frac{1170}{0,9 \times 1863} = 0,70$$

$$\text{syarat } f_{s17}/f_{py} - 0,55 \geq 0,05$$

$$0,70 - 0,55 = 0,15 \quad (\text{memenuhi})$$

$$RET_8 = f_{u7} \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot t_2 - \log 24 \cdot t_1}{45} \right] \times \left(\frac{f_u}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$= 1170 \cdot \left[\frac{\log 24 \cdot 7300 - \log 24 \cdot 365}{45} \right] \times (0,70 - 0,55) = 5,00 \text{ MPa}$$

RANGKAK

$$PCR_8 = AUC_{(7300 \text{ hari})} - AUC_{(365 \text{ hari})} = 1 - 0,74 = 0,26$$

$$\begin{aligned}
 F_{c8} &= \frac{F_7}{A_i} + \frac{F_7 \cdot e^2}{I_{komp}} - \frac{M_{min} \cdot e}{I_{komp}} \\
 &= \frac{4272654}{943154} + \frac{4272654 \times 320^2}{1,57E+11} - \frac{1,36E+9 \times 320}{1,57E+11} = 6,02 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$SCF_8 = 0,68$$

$$UCR_8 = 0,076 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 CR_8 &= UCR_8 \times SCF_8 \times MCF_8 \times PCR_8 \times f_{c8} \\
 &= 0,076 \times 0,68 \times 0,60 \times 0,26 \times 6,02 = 0,048 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

SUSUT

$$PSH_8 = AUS_{(7300 \text{ hari})} - AUS_{(365 \text{ hari})} = 1 - 0,86 = 0,14$$

$$USH_8 = 97,12 \text{ MPa}$$

$$SSF_8 = 0,60$$

$$SH_8 = USH_8 \times SSF_8 \times PSH_8 = 97,12 \times 0,60 \times 0,14 = 8,16 \text{ MPa}$$

TOTAL TAHAP VII

$$f_{s18} = f_{s17} - (RET_8 + CR_8 + SH_8) = 1170 - (5,00 + 0,048 + 8,16) = 1156,8 \text{ MPa}$$

$$F_8 = f_{s18} \times A_{ps} = 1156,8 \times 3650 = 4224434 \text{ N} = 4224 \text{ kN}$$

Kehilangan tak langsung total seluruh tahap adalah:

$$\Delta F_{\text{tak langsung}} = 4500 - 4224 = 276 \text{ kN}$$

Maka kehilangan gaya prategang total,

$$\begin{aligned}
 \Delta F_{\text{total}} &= \Delta F_{\text{langsung}} + \Delta F_{\text{tak langsung}} \\
 &= 540 + 276 = 816 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$F_e = 4500 - 816 = 3684 \text{ kN}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang,

$$\frac{\Delta F}{F_i} = \frac{816}{4500} \times 100\% = 18,12\% \quad (\text{memenuhi syarat!, dibawah perktraan awal } 20\%)$$

Dengan perhitungan seperti diatas, untuk balok pratekan yang lainnya didapatkan kehilangan gaya prategang total seperti berikut:

Tabel 6.3. Kehilangan gaya prategang (dalam N)

| Balok Pratekan | Gaya Prategang Awal | Prosentase Kehilangan Gaya Pratekan | | Gaya Prategang F_e |
|----------------|---------------------|-------------------------------------|--------------|----------------------|
| | | Langsung | Tak Langsung | |
| Balok lantai 4 | 4500000 | 540000 | 276000 | 3684000 |
| Balok lantai 5 | 4500000 | 540000 | 275820 | 3684180 |
| Balok lantai 6 | 4500000 | 540000 | 275700 | 3684300 |
| Balok lantai 7 | 4300000 | 520300 | 256010 | 3523640 |
| Atap | 4100000 | 496600 | 238500 | 3364930 |

Tabel 6.4. Prosentase kehilangan gaya prategang.

| Balok Pratekan | Prosentase Kehilangan Gaya Pratekan | | Total Prosentase Kehilangan | Kontrol |
|----------------|-------------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|
| | Langsung | Tak Langsung | | |
| Balok lantai 4 | 12,00 % | 6,12 % | 18,12 % | Memenuhi, < 20% |
| Balok lantai 5 | 12,00 % | 6,13 % | 18,13 % | Memenuhi, < 20% |
| Balok lantai 6 | 12,00 % | 6,13 % | 18,13 % | Memenuhi, < 20% |
| Balok lantai 7 | 12,10 % | 5,95 % | 18,05 % | Memenuhi, < 20% |
| Atap | 12,11 % | 5,81 % | 17,92 % | Memenuhi, < 20% |

6.2.2.3. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Akibat Kekakuan Kolom

Permasalahan yang ada pada portal balok pratekan dengan hubungan monolit timbulnya gaya perlawanan kolom akibat memendeknya balok-balok pratekan. Gaya perlawanan kolom akibat memendeknya balok-balok pratekan. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan gaya pratekan yang diberikan berkurang karena sebagian pratekan digunakan untuk mengatasi perlawanan kolom tersebut.

Kehilangan gaya pratekan akibat kekakuan kolom ini dapat dicari dengan menganalisa hasil SAP 2000 dengan ilustrasi sebagai berikut :



Gambar 6.3. Gaya Aksial yang bekerja pada Balok Pratekan.

N adalah gaya aksial yang terjadi pada balok pratekan yang diberi gaya F sehingga kehilangan gaya pratekan akibat kekekangan kolom adalah :

$$\Delta F = F_i - N$$

dimana : ΔF = kehilangan gaya pratekan akibat kekekangan kolom
 F_i = gaya pratekan awal
 N = gaya aksial batang

Contoh Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang akibat Kekekangan kolom Balok Lantai 4

Dari hasil di atas diperoleh nilai :

$$F = 3684 \text{ kN} = 368400 \text{ N}$$

Dari hasil SAP 2000 diperoleh :

$$N = F_e = 3514156 \text{ N}$$

Jadi, $\Delta F = F_i - N = 3684000 - 3514156 = 169844 \text{ N} = 170 \text{ kN}$

Prosentase kehilangan gaya prategang,

$$\frac{\Delta F}{F_i} = \frac{170,27}{3684} \times 100\% = 4,62\% \quad (\text{memenuhi syarat, dibawah perkiraan awal } 20\%)$$

Dengan perhitungan seperti diatas, untuk balok pratekan yang lainnya didapatkan kehilangan gaya prategang total seperti berikut:

Tabel 6.5. Kehilangan gaya prategang akibat kekekangan kolom.

| Balok Pratekan | Gaya-gaya yang bekerja | | ΔF (kN) | Total Prosentase Kehilangan |
|----------------|------------------------|---------|--------------------|--------------------------------|
| | F (N) | N (N) | | |
| Balok lantai 4 | 3684000 | 3514156 | 170,27 | 4,62 % |
| Balok lantai 5 | 3684180 | 3557157 | 127,03 | 3,45 % |
| Balok lantai 6 | 3684300 | 3521651 | 162,65 | 4,41 % |
| Balok lantai 7 | 3523640 | 3373578 | 150,06 | 4,26 % |
| Atap | 3364930 | 3210698 | 154,23 | 4,58 % |

6.2.3. Kontrol Tegangan Yang Terjadi

Kontrol tegangan-tegangan dperhitungkan pada dua kondisi ekstrim atau kritis balok, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, saat transfer gaya dan saat beban kerja. Pada kondisi ini harus memenuhi syarat batas tegangan yang sudah diisyaratkan oleh peraturan.

Contoh Perhitungan Kontrol Tegangan Balok Pratekan Lantai 4

Saat Transfer

$$f_t = \frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \cdot e_{o_b}}{z_t} + \frac{M_{min}}{z_t} = \frac{4500000}{708000} - \frac{4500000 \times 320}{1,39E+8} + \frac{6,34E+9}{1,39E+8}$$

$$= 6,36 - 10,34 + 4,56 = 0,57 \text{ MPa} > -1,5 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \cdot e_t}{z_b} - \frac{M_{min}}{z_b} = \frac{4500000}{708000} + \frac{4500000 \times 320}{1,39E+8} - \frac{6,34E+9}{1,39E+8}$$

$$= 6,36 + 10,34 - 4,56 = 12,14 \text{ MPa} < 21,1 \text{ MPa}$$

Saat BebanKerja (setelah komposit)

$$f_t = \frac{F}{A} - \frac{F \cdot e_{o_b} \cdot y}{I_{komposit}} + \frac{M_{max} \cdot y}{I_{komposit}} = \frac{3514156}{943154} - \frac{3514156 \times 320 \times 428}{1,57E+11} + \frac{1,84E+9 \times 428}{1,57E+11}$$

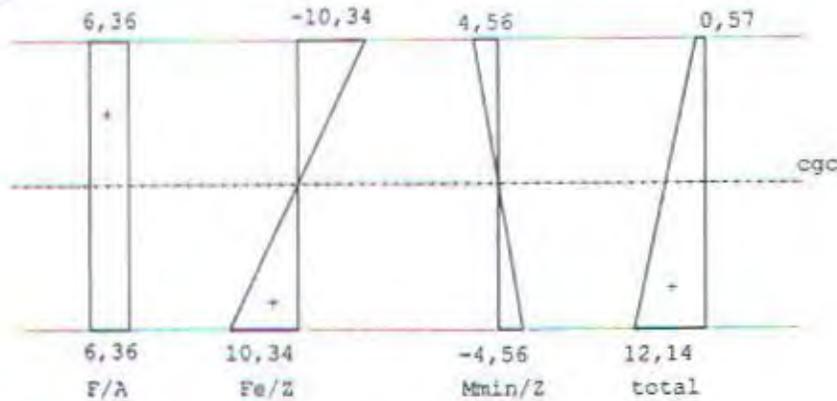
$$= 3,73 - 3,06 + 5,02 = 5,68 \text{ MPa} < 18 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e}{z_b} - \frac{M_{max}}{z_b} = \frac{3514156}{943154} + \frac{3514156 \times 320}{2,09E+8} - \frac{1,84E+9}{2,09E+8}$$

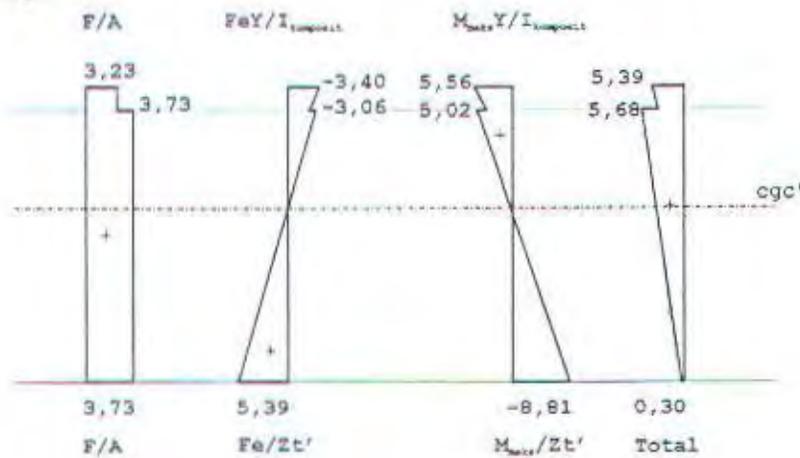
$$= 3,73 + 5,39 - 8,81 = 0,30 \text{ MPa} > -3,2 \text{ MPa}$$

Distribusi tegangan pada balok pratekan saat dua kondisi ekstrim adalah seperti dalam gambar berikut:

Saat Transfer



Saat Behan Kerja



Gambar 6.4. Tegangan pada balok pratekan saat dua kondisi ekstrim.

Untuk kontrol tegangan pada penampang balok pratekan lainnya diperoleh seperti berikut:

Tabel 6.6. Kontrol tegangan penampang balok pratekan.

| Balok Pratekan | Kondisi Saat Transfer | | Kondisi Saat Beban Kerja | | Kontrol |
|----------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------|
| | f_t | f_b | f_t | f_b | |
| Tegangan Ijin | $> -1,5 \text{ MPa}$ | $< 21,1 \text{ MPa}$ | $< 18 \text{ MPa}$ | $> -3,2 \text{ MPa}$ | - |
| Balok lantai 4 | 0,57 MPa | 12,14 MPa | 5,68 MPa | 0,30 MPa | Memenuhi |
| Balok lantai 5 | 0,25 MPa | 12,46 MPa | 5,42 MPa | 0,88 MPa | Memenuhi |
| Balok lantai 6 | 0,29 MPa | 12,42 MPa | 5,50 MPa | 0,64 MPa | Memenuhi |
| Balok lantai 7 | 0,46 MPa | 11,68 MPa | 5,32 MPa | 0,52 MPa | Memenuhi |
| Atap | 0,38 MPa | 11,01 MPa | 5,49 MPa | 0,59 MPa | Memenuhi |

6.2.4. Kontrol Kekuatan Batas Balok Pratekan

Contoh Perhitungan Kekuatan Batas Balok Pratekan Lantai 4

Perhitungan kekuatan batas penampang dianalisa dalam penampang lapangan dan penampang tumpuan.

Penampang Lapangan

$$^{108}f_r = 0,7\sqrt{f'c} = 0,7\sqrt{40} = 4,43 \text{ MPa}$$

$$r^2 = \frac{I}{At} = \frac{1,57E+11}{943154} = 166462,74 \text{ mm}^2$$

Momen retak, ¹⁰⁹

$$\begin{aligned} M_{cr} &= F \left(e_{ob} + \frac{r^2}{y_b} \right) + f_r \cdot \frac{I}{y_b} = 3514156 \cdot \left(320 + \frac{166462,74}{752} \right) + 4,43 \cdot \frac{1,57E+11}{752} \\ &= 2,83E+9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lunak untuk daerah tarik 2-D25 ($A_s = A_s' = 981,25 \text{ mm}^2$) dan sengkang menggunakan tulangan polos $\phi 10 \text{ mm}$.

Dipakai selimut beton $s' = 50 \text{ mm}$ ¹¹⁰

$$d = h + t - s' - \phi - D/2 = 1180 + 120 - 50 - 10 - 25/2 = 1227,5 \text{ mm}$$

$$d' = s' + \phi + D/2 = 50 + 10 + 25/2 = 72,5 \text{ mm}$$

$$d_p = e_{ob} + y_t = 320 + 548 = 868 \text{ mm}$$

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b_s \cdot d} = \frac{981,25}{600 \times 1227,5} = 0,0013$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} = \frac{3652}{600 \times 868} = 0,0070$$

$$\omega = \omega' = \rho \cdot \frac{f_y}{f'c} = 0,0013 \cdot \frac{390}{40} = 0,0130$$

Kondisi saat penampang mencapai kuat nominalnya,¹¹¹

Syarat 1, selimut beton (s') $\leq 0,15 \cdot d_p$

$$50 \leq 0,15 \cdot 868$$

¹⁰⁸ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5.(2).(3)

¹⁰⁹ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal 159.

¹¹⁰ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.7.(3)

¹¹¹ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.11.7.(2).(1)

50 ≤ 130,2 mm (memenuhi syarat!)

Syarat 2, ω_0 diambil tidak kurang dari 0,17

$$\omega_0 = \left(\rho_{ps} \cdot \frac{f_{ps}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} \cdot (\omega - \omega') \right) \geq 0,17$$

$$\omega_0 = \left(0,0070 \cdot \frac{1863}{40} + \frac{1227,5}{868} \cdot (0,0130 - 0,0130) \right) \geq 0,17$$

$\omega_0 = 0,32 > 0,17$ (memenuhi syarat!)

$$f_{py} = 0,90 \cdot f_{pu}$$

maka, γ_p diambil 0,28

$$^{112}\beta = 0,85 - ((f'_c - 30) \cdot 0,008) = 0,85 - ((40 - 30) \cdot 0,008) = 0,77$$

$$^{113}f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{ps}}{\beta} \times \omega_0 \right) = 1863 \cdot \left(1 - \frac{0,28}{0,77} \times 0,32 \right) = 1646 \text{ MPa}$$

¹¹⁴Syarat 3, $\omega_0 \leq 0,36 \cdot \beta$

$$\omega_p = \rho_{ps} \cdot \frac{f_{ps}}{f'_c} = 0,0070 \cdot \frac{1646}{40} = 0,288$$

$$\omega_0' = \left(\omega_p + \frac{d}{d_p} \cdot (\omega - \omega') \right) \leq 0,36 \cdot \beta$$

$$\omega_0' = \left(0,273 + \frac{1227,5}{868} \cdot (0,0293 - 0,0146) \right) \leq 0,36 \cdot 0,77$$

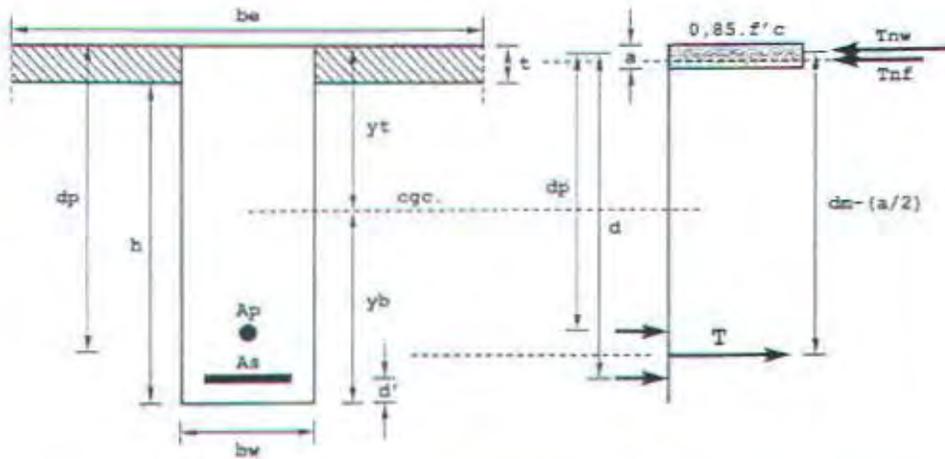
$\omega_0' = 0,28 \leq 0,28$ (memenuhi syarat!)

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

¹¹² SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2.(7).(3), untuk f'_c tidak sama dengan 30 MPa.

¹¹³ SKSNI T-15-1991-03 persamaan 3.11-3

¹¹⁴ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.11.8.(1)



Gambar 6.5. Tegangan dalam penampang transformasi lapangan.

$$T = (A_{ps} \times f_{ps}) + (A_s \times f_y) = (3652 \times 1626) + (981,25 \times 390) = 6,3E+6 \text{ N}$$

$$T_{nf} = 0,85 \cdot f'_c \cdot (b_e - b_w) \cdot t = 0,85 \cdot 40 \cdot (2263 - 600) \cdot 120 = 6,8E+6 \text{ N}$$

$$T_{nw} = T - T_{nf} = 6,3E+6 - 6,8E+6 = -5,0E+5 \text{ N}$$

$$a = \frac{T_{nw}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{-5,0E+5}{0,85 \cdot 40 \cdot 600} = -24,5 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm} \quad (\text{sebagai balok persegi!})$$

Tinggi efektif penampang modifikasi,

$$d_m = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot f_y \cdot d}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} = \frac{(3652 \times 1646 \times 868) + (981,25 \times 390 \times 1227,5)}{(3652 \times 1646) + (981,25 \times 390)}$$

$$= 889,5 \text{ mm}$$

Momen nominal penampang di tengah bentang,

$$M_n = T \left(d_m - \frac{t}{2} \right) = 6,7E+6 \left[889,5 - \frac{120}{2} \right] = 5,6E+9 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \times 5,6E+9 = 4,4E+9 \text{ N.mm}$$

$$1,2 M_{cr} = 1,2 \times 2,83E+9 = 3,39E+9 \text{ N.mm}$$

$$M_u = 2,51E+9 \text{ N.mm}$$

Kontrol,

$$1,2 M_{cr} \leq \phi M_n \quad 3,39E+9 \text{ N.mm} < 4,4E+9 \text{ N.mm} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

$$M_u \leq \phi M_n \quad 2,51E+9 \text{ N.mm} < 4,4E+9 \text{ N.mm} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

Penampang Tumpuan

Momen retak,

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'_c} = 0,7 \sqrt{40} = 4,43 \text{ MPa}$$

$$r^2 = \frac{I}{At} = \frac{1,57E+11}{943154} = 166462,74 \text{ mm}^2$$

$$Mcr = F \left(eo_t + \frac{r^2}{y_i} \right) + fr \cdot \frac{I}{y_i} = 3514156 \left(170 + \frac{166478,7}{548} \right) + 4,43 \cdot \frac{1,57E+11}{548}$$

$$= 2,93E+9 \text{ N.mm}$$

Dipasang tulangan lunak praktis 2-D25 ($A_s = A_s' = 981,25 \text{ mm}^2$), dan sengkang menggunakan tulangan polos $\phi 10 \text{ mm}$.

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

$$d = 1227,5 \text{ mm}$$

$$d_p = eo_t + y_i = 170 + 548 = 992 \text{ mm}$$

$$\rho = 0,0013$$

$$\rho_{ps} = 0,0070$$

$$\omega = \omega' = 0,013$$

Kondisi saat penampang mencapai kuat nominalnya,

Syarat 1, selimut beton (s') $\leq 0,15 \cdot d_p$

$$50 \leq 0,15 \cdot 992$$

$$50 \leq 138 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

Syarat 2, ω_0 diambil tidak kurang dari 0,17

$$\omega_0 = \left(\rho_{ps} \cdot \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} \cdot (\omega - \omega') \right) \geq 0,17$$

$$\omega_0 = 0,32 \geq 0,17 \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

$$f_{py} = 0,90 \cdot f_{pu} \quad (\text{menurut anggapan pada perhitungan kehilangan prategang!})$$

maka, γ_p diambil 0,28

$$\beta = 0,77$$

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{ps}}{\beta} \times \omega_0 \right) = 1863 \cdot \left(1 - \frac{0,28}{0,77} \times 0,32 \right) = 1646 \text{ MPa}$$

Syarat 3, $\omega_0 \leq 0,36 \cdot \beta$

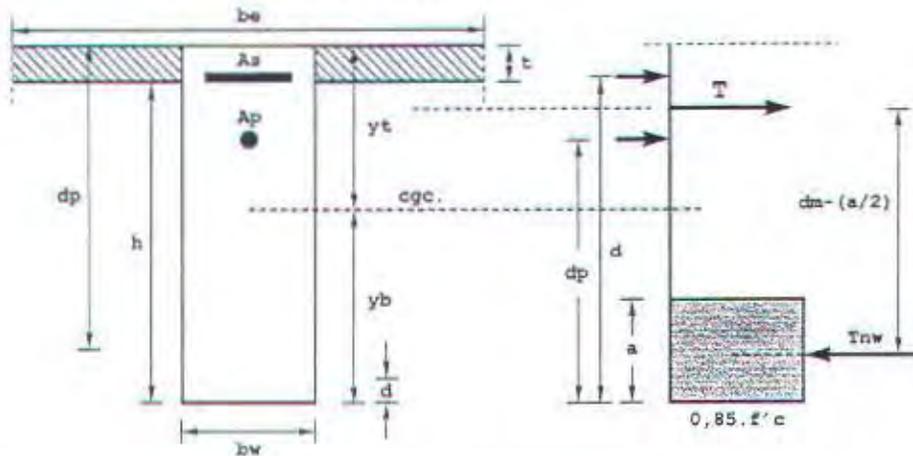
$$\omega_0 = 0,288$$

$$\omega_0' = \left(\omega_p + \frac{d}{d_p} \cdot (\omega - \omega') \right) \leq 0,36 \cdot \beta$$

$$\omega_b' = \left(0,288 + \frac{1227,5}{922} \cdot (0,013 - 0,013) \right) \leq 0,36 \cdot 0,77$$

$$\omega_b' = 0,28 \leq 0,28 \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

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



Gambar 6.6. Tegangan dalam penampang transformasi tumpuan.

$$T = C = (A_{ps} \times f_{ps}) + (A_s \times f_y) = (3652 \times 1646) + (981,25 \times 390) = 6,3E+6 \text{ N}$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{6,3E+6}{0,85 \cdot 40 \cdot 600} = 309 \text{ mm} \quad (\text{sebagai balok persegi!})^{115}$$

Tinggi efektif penampang modifikasi,

$$d_m = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot f_y \cdot d}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y} = \frac{(3652 \times 1646 \times 922) + (981,25 \times 390 \times 1227,5)}{(3652 \times 1646) + (981,25 \times 390)}$$

$$= 940 \text{ mm}$$

Momen nominal penampang di tepi bentang,

$$M_n = T \cdot \left(d_m - \frac{a}{2} \right) = 6,3E+6 \cdot \left[940 - \frac{309}{2} \right] = 4,95E+9 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n = 0,8 \times 4,95E+9 = 3,96E+9 \text{ N.mm}$$

$$1,2 \cdot M_{cr} = 1,2 \times 2,93E+9 = 3,52E+9 \text{ N.mm}$$

$$M_u = 2,51E+9 \text{ N.mm}$$

Kontrol,

¹¹⁵ Pada daerah tumpuan yang menerima tekan selalu pada daerah badan, maka selalu berperilaku sebagai balok persegi.

$$1,2.Mcr \leq \phi.Mn \quad 3,52E+9 \text{ N.mm} < 3,96E+9 \text{ N.mm} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

$$Mu \leq \phi.Mn \quad 2,51E+9 \text{ N.mm} < 3,96E+9 \text{ N.mm} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

Tulangan Tumpuan Positif

$$Mu^+ = 4,46 \text{ E}+8 \text{ Nmm (dari analisa SAP 2000)}$$

Dipakai $\delta = 1$

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

$$\rho_{max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0.0179$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{4,46E+8}{0,8 \times 600 \times 1227,5^2} = 0,617$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15.294$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho\delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,617}{390}} \right) = 0,0016$$

$$\rho' = \rho\delta = 0,0016$$

Tulangan tumpuan bawah :

$$As' = \rho' . b . d = 0.0016 \times 600 \times 1227,5 = 1178,4 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 3 D-25 ($As = 1472,6 \text{ mm}^2$)

Untuk penulangan lentur dan kontrol kekuatan batas balok pratekan seperti pada tabel berikut :

Tabel 6.7. Penulangan lentur balok pratekan.

| Daerah Tumpuan | | Daerah Lapangan | |
|----------------|---------|-----------------|---------|
| As | As' | As | As' |
| 3 - D25 | 3 - D25 | 2 - D25 | 2 - D25 |

Catatan: Berlaku untuk semua perencanaan balok pratekan.

Tabel 6.8. Kekuatan batas balok pratekan.

| Balok Pratekan | Daerah Tumpuan | | | Daerah Lapangan | | | Kontrol |
|-------------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------|
| | $1,2Mcr$ | Mu | ϕMn | $1,2Mcr$ | Mu | ϕMn | |
| Lantai 4 | 3,52E+9 N.mm | 3,42E+9 N.mm | 3,96E+9 N.mm | 3,39E+9 N.mm | 2,25E+9 N.mm | 4,4E+9 N.mm | Memenuhi |
| Lantai 5 | 3,54E+9 N.mm | 3,52E+9 N.mm | 4,02E+9 N.mm | 3,42E+9 N.mm | 2,17E+9 N.mm | 4,59E+9 N.mm | Memenuhi |
| Lantai 6 | 3,52E+9 N.mm | 3,51E+9 N.mm | 4,02E+9 N.mm | 3,40E+9 N.mm | 2,18E+9 N.mm | 4,59E+9 N.mm | Memenuhi |
| Lantai 7 | 3,44E+9 N.mm | 3,55E+9 N.mm | 4,02E+9 N.mm | 3,30E+9 N.mm | 2,15E+9 N.mm | 4,59E+9 N.mm | Memenuhi |
| Atap | 3,01E+9 N.mm | 2,43E+9 N.mm | 3,78E+9 N.mm | 3,20E+9 N.mm | 1,90E+9 N.mm | 4,64E+9 N.mm | Memenuhi |

6.2.5. Penulangan Geser Balok Pratekan

Secara umum retak akibat geser pada penampang balok dibedakan menjadi dua, yaitu retak geser pada badan di dekat tumpuan (*Web Cracking*) dan retak lentur geser miring di tengah bentang (*Inclined Flexure Shear Cracking*). Kedua kemungkinan runtuh akibat geser ini dianalisa dengan menghitung kekuatan penampang untuk menahan retak akibat geser dimana dalam hal ini ditentukan oleh kekuatan dari beton dan tulangan geser yang terpasang.

Contoh Perhitungan Penulangan Geser Balok Pratekan Lantai 4

Melalui analisa struktur menggunakan program SAP 2000 untuk nilai-nilai geser dan momen pada struktur penuh didaerah lapangan balok pratekan didapatkan:

$$\begin{aligned}
 Vu_D &= 492020 \text{ N (tak berfaktor)} & Mu_D &= 1818023 \text{ N m} \\
 Vu_L &= 188511 \text{ N (tak berfaktor)} & Mu_L &= 698457 \text{ N m} \\
 Vu_g &= 892077 \text{ N} & Mu_{max} &= 3,42E+09 \text{ N m}
 \end{aligned}$$

dan gaya prategang efektif setelah kehilangan secara langsung maupun tak langsung adalah sebesar, $F_e = 3,51E+6 \text{ N}$

Retak Badan di dekat Tumpuan

Diperhitungkan pada muka kolom = $0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 900 = 450 \text{ mm}$

Beban merata keatas akibat gaya prategang,

$$p' = \frac{8.Fe.f}{l^2} = \frac{8 \times 3,51E + 6 \times 490}{24900^2} = 22,22 \text{ N/mm}$$

maka geser perlawanan oleh prategang adalah:

$$V_p' = \frac{p'.L}{2} = \frac{22,22 \times 24900}{2} = 276616 \text{ N}$$

$$V_{ug} = 892077 \text{ N}$$

Geser efektif,

$$V_u = V_{ug} - V_p' = 892077 - 276616 = 615460 \text{ N}$$

$$f_{pc} = \frac{Fe}{At} = \frac{3,51E + 6}{943154} = 3,73 \text{ MPa}$$

Persamaan parabola tendon pratekan,

$$y = \frac{4.f.x.(L-x)}{L^2}, \text{ untuk daerah muka kolom dengan } x = 450 \text{ mm maka,}$$

$$y_{(450)} = \frac{4 \times 490 \times 450 \times (24900 - 450)}{24900^2} = 30,98 \text{ mm}$$

$$d = e_t + y_b - y_{(450)} = 220 + 793 - 48,72 = 964,69 \text{ mm}$$

$$V_p = \frac{\frac{1}{2}.L-x}{\frac{1}{2}.L} \cdot V_p' = \frac{12450 - 400}{12450} \cdot 276616 = 267729 \text{ N}$$

$$V_{cw} = 0,3 \cdot (\sqrt{f'_c} + f_{pc}) b_w \cdot d + V_p = 0,3 \cdot (\sqrt{40} + 3,73) 600 \cdot 891 + 276616 \\ = 1,87E+6 \text{ N}$$

$$V_{u(450)} = \frac{12500 - 450}{12500} \times 615460 = 593215 \text{ N}$$

$$\frac{V_{u(450)}}{\phi} = \frac{593215}{0,6} = 988691 \text{ N}$$

$$V_u (= 9,89E+5 \text{ N}) < V_{cw} (= 1,87E+6 \text{ N})$$

Dengan $V_u < V_{cw}$ maka tidak perlu tulangan geser tambahan pada penampang tumpuan balok pratekan, atau dipakai tulangan geser minimum menurut perumusan berikut:

Direncanakan menggunakan tulangan polos $\phi 10 \text{ mm}$

$$d = h + t - s' - \phi/2 = 1180 + 120 - 50 - 10/2 = 1245 \text{ mm}$$

¹¹⁶Jarak antar tulangan geser,

¹¹⁶ SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.3-b

$$s_{max} = d/4 = 1245/4 = 318,5 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 8 \times \phi \text{ tul. lentur} = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 24 \times \phi \text{ tul. sengkang} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

maka diambil $s = 200 \text{ mm}$

$$s = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{3 \cdot 157 \cdot 320}{600} = 251,2 \text{ mm}^2$$

maka tulangan geser pada sepanjang bentang balok pratekan digunakan tulangan ulir $\phi 10 - 200 \text{ mm}$ ($A_v = 157 \text{ mm}^2$).

Retak Miring akibat Lentur

Diperhitungkan pada jarak dari tumpuan $x = 6225 \text{ mm}$

Beban merata keatas akibat gaya prategang,¹¹⁷

$$V_p' = 276616 \text{ N}$$

$$V_{ug} = 892077 \text{ N}$$

Geser efektif,

$$V_u = V_{ug} - V_p' = 892077 - 276616 = 615460 \text{ N}$$

$$f_{pc} = 3,73 \text{ MPa}$$

Persamaan parabola tendon pratekan,

$$y = \frac{4 \cdot f \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}, \text{ untuk daerah dengan } x = 6225 \text{ mm maka,}$$

$$y = \frac{4 \times 490 \times 6225 (24900 - 6225)}{24900^2} = 368 \text{ mm}$$

$$d = y_t + e_b = 548 + 320 = 868 \text{ mm}$$

Kuat geser beton (V_c) diambil V_{ci} .

$$\begin{aligned} {}^{118}f_{pc} &= \frac{F_e}{A_t} + \frac{F_e \cdot e_o_b}{z_b} = \frac{3,51E+6}{943154} + \frac{3,51E+6 \cdot 320}{2,09E+8} \\ &= 9,11 \text{ MPa} \end{aligned}$$

¹¹⁷ T. Y. Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 20.

¹¹⁸ Tegangan tekan beton akibat prategang efektif saja pada serat terluar dimana tegangan tariknya akibat beban luar.

$${}^{119}f_d = \frac{M_d}{Z_b} = \frac{1818023}{2,09E+8}$$

$$= 8,71 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{y_t} \right) \times \left(\frac{\sqrt{f'c}}{2} + f_{pe} - f_d \right) = \left(\frac{1,57E+11}{548} \right) \times \left(\frac{\sqrt{40}}{2} + 9,11 - 8,71 \right)$$

$$= 1,02E+9 \text{ N.mm}$$

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'c}}{20} \cdot b_w \cdot d + V_{u_D} + \frac{V_i \times M_{cr}}{M_{t_{max}}}$$

$$= \frac{\sqrt{40}}{20} \cdot 600 \cdot 868 + 492020 + \frac{188511 \times 1,02E+9}{3,42E+9} = 656756 \text{ N}$$

$$V_u = \frac{12450 - 6225}{12450} \times 615460 = 307730 \text{ N}$$

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{307730}{0,6} = 512884 \text{ N}$$

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 polos $\phi 10 \text{ mm}$

$$d = h + t - s' - \phi/2 = 1180 + 120 - 50 - 10/2 = 1245 \text{ mm}$$

¹²⁰Jarak antar tulangan geser,

$$s_{max} = d/4 = 1245/4 = 318,5 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 8 \times \phi \text{ tul. lentur} = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 24 \times \phi \text{ tul. sengkang} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

maka diambil $s = 200 \text{ mm}$

$$s = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{3 \cdot 157 \cdot 320}{600} = 251,2 \text{ mm}^2$$

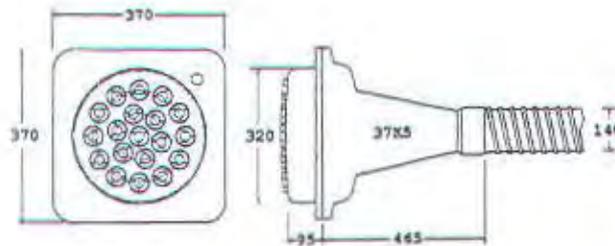
maka tulangan geser pada sepanjang bentang balok pratekan digunakan tulangan ulir $\phi 10 - 200 \text{ mm}$ ($A_v = 157 \text{ mm}^2$).

¹¹⁹ Tegangan akibat beban mati tak terfaktor pada serat terluar dimana tegangan tariknya akibat beban luar.

¹²⁰ SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.3-b

6.2.6. Penulangan Bantalan Angker Blok Ujung

Pada seluruh panjang blok ujung, gaya pratekan dialihkan dari luas yang kurang lebih terpusat dan didistribusikan melalui seluruh penampang balok beton. Panjang teoritis blok ujung atau panjang ancang tidak lebih dari tinggi balok.



Gambar 6.7. Karakteristik anker mati tipe 37K5.

Pada pratekan pascatarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang ankur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan bantalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum. Tahanan bantalan beton ini diisyaratkan oleh ACI 318-83, AS 3600-1988, CAN3 1984 sebagai berikut:¹²¹

Pada saat transfer,

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A'_b}{A_b} - 0,2} \quad \text{dimana} \quad f_{cp} \leq 1,25 \cdot f'_c$$

Contoh Perhitungan Penulangan Bantalan Angker Blok Ujung Lantai 4

Luasan tahanan beton,¹²²

$$A_b = 370^2 - (\frac{1}{4} \times \pi \times 140^2) = 121514 \text{ mm}^2$$

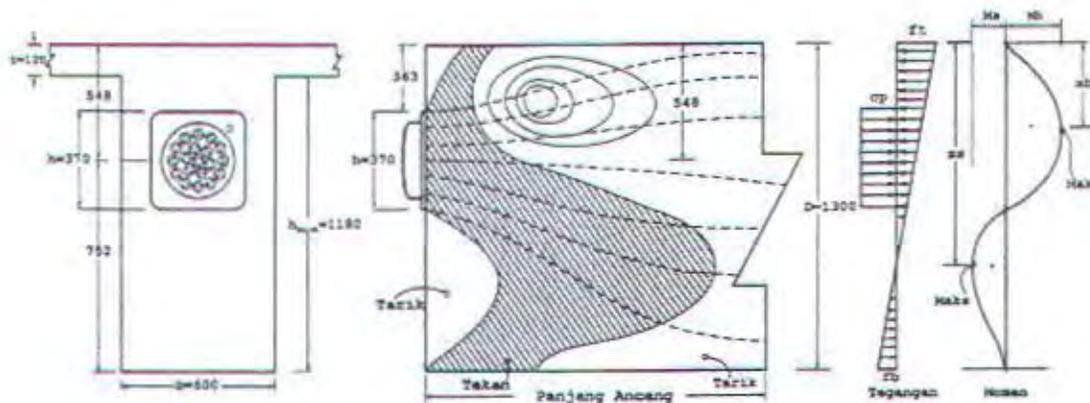
Luasan yang secara geometris serupa dan sepusat dengan anker,¹²³

$$A'_b = 600^2 = 360000 \text{ mm}^2$$

¹²¹ R. I. Gilbert, N. C. Mickleborough, *Design Prestressed Concrete*, 1990, hal. 225. atau T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, *Desain Struktur Beton Prategang*, hal. 244.

¹²² Luasan kepala anker dikurangi dengan luas penampang tendon.

¹²³ Luasan dengan panjang sisi sama dengan lebar balok.



Gambar 6.8. Gaya-gaya dalam daerah bantalan ujung.

Tegangan ijin yang diisyaratkan,

$$f_{cp} = 0,8 \cdot f'_{ci} \cdot \sqrt{\frac{A_g}{A_b}} - 0,2 = 0,8 \cdot 32,5 \cdot \sqrt{\frac{360000}{121514}} - 0,2 = 43,21 \text{ N/mm}^2$$

$$1,25 \cdot f'_{ci} = 1,25 \times 32,5 = 40,625 \text{ MPa}$$

$$f_{cp} \geq 1,25 \cdot f'_{ci} \text{ maka diambil } f_{cp} = 40,625 \text{ MPa}$$

Tegangan yang terjadi,

$$\sigma_p = F/A \cdot b = 4500000/360000 = 12,5 \text{ MPa}$$

$$\text{jadi } \sigma_b < f_{cp} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

Pada daerah tumpuan tegangan dalam serat atas dan bawah,

$$f_t = \frac{F_t}{A} - \frac{F_t \cdot e_o}{z_t} + \frac{M_{min}}{z_t} = \frac{4500000}{708000} - \frac{4500000 \times 170}{1,39E+8} + \frac{6,35E+8}{1,39E+8}$$

$$= 6,36 - 5,50 + 4,57 = 5,43 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{F_t}{A} - \frac{F_t \cdot e_t}{z_b} - \frac{M_{min}}{z_b} = \frac{4500000}{708000} - \frac{4500000 \times 170}{1,39E+8} - \frac{6,35E+8}{1,39E+8}$$

$$= 6,36 - 5,50 - 4,57 = -3,71 \text{ MPa}$$

Letak momen hancur M_t dan M_b dari serat atas,¹²⁴

$$\sigma_p \cdot (x_b - a) = \frac{f_t + (f_t - \left(\frac{f_t + f_b}{D}\right) \cdot x_b)}{2} \cdot x_b \quad (\text{pers.1})$$

¹²⁴ R. I. Gilbert, N. C. Mickleborough, Design Prestressed Concrete, 1990, hal. 225. atau T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 222.

$$12,5 \cdot (x_b - 243) = \frac{5,43 + (5,43 - \left(\frac{5,43 + 3,71}{1180}\right) \cdot x_b)}{2} \cdot x_b$$

$$12,5 \cdot x_b - 3037,5 = 5,43 \cdot x_b - 0,00385 \cdot x_b^2$$

$$0,00385 \cdot x_b^2 + 7,07 \cdot x_b - 3037,5 = 0$$

didapat $x_b = 359$ mm

$$\sigma_p \cdot h \cdot (x_s - e) = \frac{f_t + (f_t - \left(\frac{f_t + f_b}{D}\right) \cdot x_s)}{2} \cdot x_s \quad (\text{pers. 2})$$

$$12,5 \cdot 370 \cdot (x_s - 428) = \frac{5,43 + (5,43 - \left(\frac{5,43 + 3,71}{1180}\right) \cdot x_s)}{2} \cdot x_s$$

$$4625 \cdot x_s - 1979500 = 5,43 \cdot x_s - 0,00385 \cdot x_s^2$$

$$0,00385 \cdot x_s^2 + 4630,43 \cdot x_s - 1979500 = 0$$

didapat $x_s = 427$ mm

Momen hancur,¹²⁵

$$\begin{aligned} M_b &= \left(f_t \cdot \frac{x_b^2}{2} - \left(\frac{f_t + f_b}{D} \right) \cdot f_t \cdot \frac{x_b^2}{6} - \sigma_p \cdot \frac{(x_b - a)^2}{2} \right) \\ &= \left(5,43 \cdot \frac{359^2}{2} - \left(\frac{5,43 + 3,71}{1180} \right) \cdot 5,43 \cdot \frac{359^2}{6} - 12,5 \cdot \frac{(359 - 243)^2}{2} \right) \\ &= 349911,92 - 903,44 - 84100 = 264908,48 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_s = f_b \cdot \frac{(D - x_s)^2}{6} = 3,71 \cdot \frac{(1180 - 427)^2}{6} = 350600,57 \text{ N/mm}^2$$

Karena $M_s > M_b$, maka perhitungan penulangan berdasarkan M_s .

$$D_e = 2 \cdot a + h = 2 \cdot 243 + 370 = 856 \text{ mm}$$

Geser maksimum daerah bantalan ujung,¹²⁶

$$T_{b1} = M_s / (\frac{1}{2} \cdot D_e) = 350600,57 / (\frac{1}{2} \cdot 856) = 819,16 \text{ N}$$

$$T_{b2} = \frac{F_t}{4} \cdot \left(1 - \frac{h}{D_e} \right) = \frac{4500000}{4} \cdot \left(1 - \frac{370}{856} \right) = 638726,63 \text{ N}$$

diambil $T_b = 638726,63 \text{ N}$

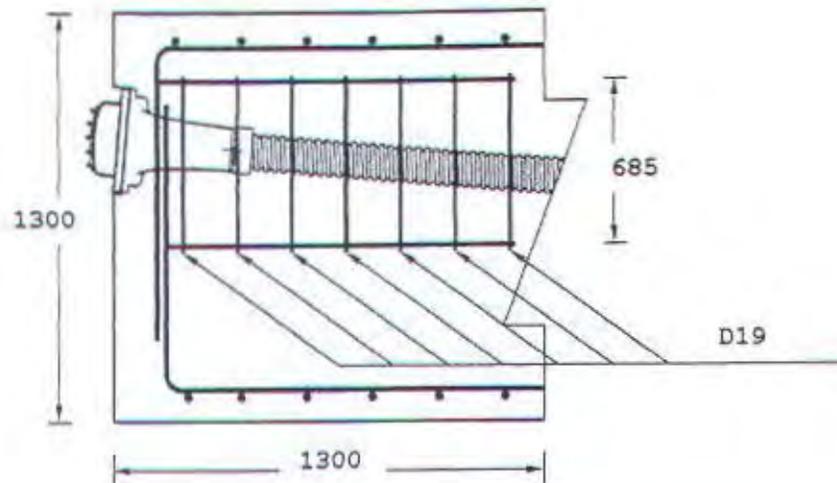
¹²⁵ Idem.

¹²⁶ R. I. Gilbert, N. C. Mickleborough, Design Prestressed Concrete, 1990, hal. 225.

Penulangan diberikan sejarak $0,8.D_e = 0,8.856 = 684,8$ mm

$$A_{sb} = \frac{T_k}{0,8.f_y} = \frac{638726,63}{0,8.290} = 2753,13 \text{ mm}^2$$

maka digunakan tulangan ulir 10-D19, $A_s = 2835 \text{ mm}^2$



Gambar 6.9. Penulangan bantalan ujung balok pratekan lantai 4.

6.2.7. Kontrol Lendutan

Contoh Perhitungan Lendutan Balok Pratekan Lantai 4

Lendutan ijin balok pratekan diisyaratkan tidak lebih dari,

$$\Delta_{max} = \frac{L}{480} = \frac{24900}{480} = 51,875 \text{ mm}$$

$$F_0 = 4500000 \text{ N}$$

$$F_e = 3514156 \text{ N}$$

Lendutan di Tengah Bentang Saat Transfer

Akibat beban keatas merata tendon,

$$^{127}p' = \frac{8.F_0.f}{l^2} = \frac{8 \times 3,51E + 6 \times 490}{24900^2} = 22,22 \text{ N/mm}$$

$$^{128}\Delta_l = \frac{5 \times p' \times L^4}{384 \times EI} = \frac{5 \times 22,22 \times 24900^4}{384 \times 186300 \times 1,57E + 11} = 3,80 \text{ mm (keatas!)}$$

Akibat berat sendiri dan pelat,

¹²⁷ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 20.

¹²⁸ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 262.

Dari hasil analisa SAP2000 dalam kondisi saat transfer didapat lendutan sebesar $\Delta_2 = 22 \text{ mm}$ (kebawah!)

Akibat eksentrisitas tendon,¹²⁹

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= \frac{L^2}{8.EI} \cdot (M_1 + \frac{5}{6} \cdot M_2) = \frac{L^2}{8.EI} \cdot (F_i \cdot f - \frac{5}{6} \cdot F_i \cdot e_i) \\ &= \frac{24900^2}{8 \cdot 186300 \cdot 1,57E + 11} \cdot (4500000 \cdot 320 - \frac{5}{6} \cdot 4500000 \cdot 170) \\ &= 3,81 \text{ mm} \quad (\text{keatas!})\end{aligned}$$

$$\Delta_{total} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = -3,80 + 22,00 - 3,81 = 14,39 \text{ mm}$$

maka, $\Delta_{total} < \Delta_{max}$ (memenuhi syarat!)

Lendutan di Tengah Bentang Saat Beban Kerja

Akibat beban merata tendon,

$$^{130} p' = \frac{8 \cdot F_0 \cdot f}{l^2} = \frac{8 \times 3,51E + 6 \times 490}{24900^2} = 22,22 \text{ N/mm}$$

$$^{131} \Delta_1 = \frac{5 \times p' \times L^4}{384 \times EI} = \frac{5 \times 22,22 \times 24900^4}{384 \times 186300 \times 1,57E + 11} = 3,80 \text{ mm} \quad (\text{keatas!})$$

Akibat beban bekerja,

Dari hasil analisa SAP2000 dalam kondisi saat beban kerja didapat lendutan sebesar $\Delta_2 = 39,5 \text{ mm}$ (kebawah!)

Akibat eksentrisitas tendon,

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= \frac{L^2}{8.EI} \cdot (M_1 + \frac{5}{6} \cdot M_2) = \frac{L^2}{8.EI} \cdot (F_e \cdot f - \frac{5}{6} \cdot F_e \cdot e_i) \\ &= \frac{24900^2}{8 \cdot 186300 \cdot 1,57E + 11} \cdot (3,51E + 6 \cdot 320 - \frac{5}{6} \cdot 3,51E + 6 \cdot 170) \\ &= 1,66 \text{ mm} \quad (\text{keatas!})\end{aligned}$$

$$\Delta_{total} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = -3,80 + 39,50 - 1,66 = 34,04 \text{ mm}$$

maka, $\Delta_{total} < \Delta_{max}$ (memenuhi syarat!)

¹²⁹ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 270.

¹³⁰ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 20.

¹³¹ T.Y.Lin., Ned H. Burns. Edisi ketiga, 1996, Desain Struktur Beton Prategang, hal. 262.

6.3. PERENCANAAN BALOK INDUK

Pada tulangan lentur balok induk, dijumpai momen yang berbalik arah akibat pengaruh gempa. Apabila kondisi ini terjadi maka momen pada tumpuan bisa berharga negatif (akibat gravitasi) ataupun positif (akibat gempa yang cukup besar). Perencanaan balok induk dalam perhitungan ini dilakukan berdasarkan tipe atau jenis balok induk dalam sistem struktur pada portal C dan 8 seperti pada gambar berikut:

6.3.1. Penulangan Lentur Balok Induk

Contoh Perhitungan Tulangan Lentur Balok Induk Portal 4 Tipe B1 lantai 1

$$Mu = 5,91E+8 \text{ Nmm}$$

$$^{132}\text{Dipakai } \delta = 0,5$$

$$^{133} \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$^{134} \rho_{max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0,0179$$

$$R_n = \frac{(1-\delta)Mu}{\phi b d^2} = \frac{(1-0,5) \times 5,91E+8}{0,8 \times 500 \times 687,5^2} = 1,562$$

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

$$\rho_{\delta} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 1,562}{390}} \right) = 0,0041$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho' = \frac{\delta Mu}{\phi \times f_y \times (d - d') \times b \times d} = \frac{0,5 \times 5,91E+8}{0,8 \times 390 \times (687,5 - 62,5) \times 500 \times 687,5} = 0,0044$$

Tulangan Tumpuan

Tulangan tumpuan atas :

$$\text{Rasio tulangan tarik} = \rho_{\delta} + \rho' = 0,0041 + 0,0044$$

$$\rho = 0,0085 > \rho_{min} = 0,0036$$

¹³² SKSNI 1991 pasal 3.14.3.2

¹³³ SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a

¹³⁴ SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0.0085 \times 500 \times 687.5 = 2936,7 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 6 D-25 ($As = 2944 \text{ mm}^2$)

Tulangan tumpuan bawah :

$$As' = \rho' \cdot b \cdot d = 0.0044 \times 500 \times 687.5 = 1512,5 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 4 D-25 ($As = 1963 \text{ mm}^2$)

Tulangan Tumpuan Positif

$$Mu^+ = 2,83 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

¹³⁵Dipakai $\delta = 0.5$

$$^{136} \rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

$$^{137} \rho_{max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0.0179$$

$$Rn = \frac{(1-\delta)Mu}{\phi b d^2} = \frac{(1-0,5) \times 2,83 \text{ E}+8}{0,8 \times 500 \times 687,5^2} = 0,936$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c} = \frac{390}{0.85 \times 30} = 15,294$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 0,936}{390}} \right) = 0,0024$$

Rasio tulangan tekan :

$$\rho' = \frac{\delta Mu}{\phi \times f_y \times (d - d') \times b \times d} = \frac{0,5 \times 2,83 \text{ E}+8}{0,8 \times 390 \times (687,5 - 62,5) \times 500 \times 687,5} = 0,0026$$

Rasio tulangan tarik :

$$\rho = \rho \delta + \rho' = 0.0024 + 0.0026 = 0.0050$$

$$\rho > \rho_{min} (= 0.0036) \quad (\text{dipakai } \rho_{perlu})$$

$$\rho = 0.0050$$

Menghitung tulangan tekan dan tarik pada tumpuan

Tulangan tumpuan atas :

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,0050 \times 500 \times 687.5 = 1718,75 \text{ mm}^2$$

¹³⁵ SKSNI 1991 pasal 3.14.3.2

¹³⁶ SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a

¹³⁷ SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.2-a

Dipakai tulangan 4 D-25 ($A_s = 1963,5 \text{ mm}^2$)

Tulangan tumpuan bawah :

$$A_s' = 0,5 \cdot \rho \cdot b \cdot d = 0,5 \times 0,0026 \times 500 \times 687,5 = 446,88 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2 D-25 ($A_s = 981,8 \text{ mm}^2$)

Dalam hal ini tulangan terpasang diambil berdasarkan harga terbesar dari 2 jenis tulangan tumpuan di atas :

Tulangan atas : 6 D-25 ($A_s = 2994 \text{ mm}^2$)

Tulangan bawah : 4 D-25 ($A_s = 1963 \text{ mm}^2$)

Tulangan Lapangan (Momen Positif)

$$M_u^+ = 3,38 \text{ E}+8 \text{ Nmm}$$

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

$$\rho_{max} = \frac{7}{f_y} = \frac{7}{390} = 0,0179$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3,38 \text{ E}+8}{0,8 \times 400 \times 637,5^2} = 1,786$$

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

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 1,786}{390}} \right) = 0,0048$$

$$a = \frac{\rho \times d \times f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{0,0048 \times 687,5 \times 390}{0,85 \times 30} = 50 \text{ mm} < t = 120 \text{ mm}$$

Berarti penulangan seperti balok persegi dengan mengganti b menjadi b_e .

$$R_n = 0,612$$

$$\rho = 0,0016 < \rho_{min} = 0,0036$$

$$\text{dipakai } \rho_{min} = 0,0036$$

Tulangan lapangan bawah :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0036 \times 500 \times 687,5 = 1234 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 3 D-25 ($A_s = 1472 \text{ mm}^2$)

Tulangan lapangan bawah :

$$As' = 0,5 \rho b.d = 0,5 \times 0,0036 \times 500 \times 687,5 = 619 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2 D-25 ($As = 981,8 \text{ mm}^2$)

Tulangan atas : 2 D-25 ($As = 981,8 \text{ mm}^2$)

Tulangan bawah : 2 D-25 ($As = 981,8 \text{ mm}^2$)

6.3.2. Penulangan Geser Balok Induk

Contoh Perhitungan Penulangan Geser Balok Induk Tipe B1 lantai 1

Perhitungan geser sejarak d dari muka kolom

Untuk menentukan tulangan geser perlu didalam komponen struktur rangka akibat gempa dihitung berdasarkan setengah dari nilai V_c untuk lokasi sepanjang d dari muka tumpuan. (SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.3-b).

$$Vu = 2,47E+5 \text{ N} \quad (\text{nilai di muka kolom})$$

$$\phi Vc = \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} . bw . d \right) = 0,6 \left(\frac{1}{6} \sqrt{30} \times 500 \times 687,5 \right) = 188279,63$$

$$\min \phi Vs = \phi \left(\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} . bw . d \right) = 0,6 \left(\frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 500 \times 637,5 \right) = 376559,26$$

$$\phi Vc < Vu \leq (\phi Vc + \min \phi Vs) \quad (\text{kategori desain 3})$$

$$1,88E+5 \text{ N} < 2,47E+5 \text{ N} \leq 3,77E+5 \text{ N}$$

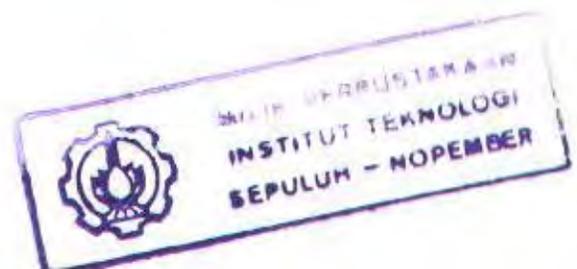
maka dipasang sengkang dengan ketentuan :

$$s = \frac{3 f_y A_v}{b} = \frac{3 \times 320 \times 157}{500} = 301,44 \text{ mm}$$

Untuk daerah sepanjang d dari muka kolom, spasi maksimum tulangan geser tidak boleh melebihi nilai yang telah diatur dalam SKSNI 1991 pasal 3.14.9.3.3 dan pasal 3.14.9.3.10-b, yaitu :

- $d/4$ = $687,5 / 4$ = 172 mm
- $10 \times \phi$ tul. longitudinal = 10×25 = 250 mm
- $24 \times \phi$ sengkang = 24×10 = 240 mm
- 300 mm

Dipasang tulangan geser $\phi 10-150$



Perhitungan geser di luar jarak d .

$$V_u = 1.51 E+5 N$$

$$\phi V_c = \phi \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} . b w . d \right) = 0,6 \left(\frac{1}{6} \sqrt{30} \times 500 \times 637,5 \right) = N$$

$$\min \phi V_s = \phi \left(\frac{1}{3} b w . d \right) = 0,6 \left(\frac{1}{3} \times 400 \times 637,5 \right) = N$$

$$\phi V_c < V_u \leq (\phi V_c + \min \phi V_s)$$

$$1.40E + 5N < 1.51E + 5N < 1.91E + 5N$$

(kategori desain 3)

maka dipasang sengkang dengan ketentuan :

$$s = \frac{3 f_y A_v}{b} = \frac{3 \times 320 \times 157}{500} = \text{mm}$$

Persyaratan pemasangan tulangan geser :

$$s < d/2 (= 637,5 / 2 = 320 \text{ mm})$$

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

Tulangan geser dipasang $\phi 10-300$

6.3.3. Penulangan Puntir Balok Induk

Contoh Perhitungan Puntir Balok Induk Tipe B1 lantai 1

Dari analisa SAP 2000 didapatkan:

$$T_u = 1,73E+7 \text{ N.mm}$$

$$\Sigma x^2 y = (500^2 \times 750) = 1,9 E+8 \text{ mm}^3$$

$$\Sigma x^2 y = (750^2 \times 500) = 2,8 E+8 \text{ mm}^3 \quad (\text{menentukan})$$

Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton :

$$\phi T_c = \phi \frac{\left(\frac{1}{15} \sqrt{f_c'} . \Sigma x^2 y \right)}{\sqrt{1 + \frac{0,4 V_u}{C_t . T_u}}} = 0,6 \frac{\left(\frac{1}{15} \sqrt{30} \times 7,5 E + 7 \right)}{\sqrt{1 + \frac{0,4 \times 2,47 E + 5}{\left(\frac{500 \times 687,5}{2,8 E + 8} \right) \times 1,73 E + 7}}}$$

$$\phi T_c = 2,58E+7 \text{ N.mm}$$

Karena $T_u < \phi T_c$ maka tidak diperlukan tambahan tulangan puntir dalam penampang balok, baik tulangan transversal maupun longitudinal.

6.4. PERENCANAAN KOLOM

Dalam struktur gedung Atlas Sport Club II ini, kolom direncanakan memiliki karakteristik penampang yang tipikal menurut jenis atau tipenya masing-masing. Dalam perhitungan pada bab ini kolom diwakili oleh kolom-kolom tipe K4.

6.4.1. Perhitungan Kolom Tipe K4

Kolom tipe K4 yang memiliki gaya dalam maksimum ditemukan pada kolom-kolom bagian atas struktur, yang menghubungkan antara atap dan lantai 6 bangunan.

Data Teknis

| | |
|------------------------|---------------------------------------|
| Dimensi kolom | = 90 × 90 cm |
| Mutu beton ($f'c$) | = 30 MPa |
| Mutu baja (f_y) | = 390 MPa (ulir), dan 240 MPa (polos) |
| Selimut beton (s') | = 50 mm |
| Tulangan utama | = ulir, D-25 mm |
| Sengkang | = polos, ϕ -16 mm |
| Tinggi kolom | = 400 cm |

$$\begin{aligned}
 P_u &= 8,03E+6 \text{ N} & V_u &= 2,58E+5 \text{ N} \\
 M_{2b}(x) &= 1,47E+8 \text{ N.mm} & M_{2b}(y) &= 4,61E+6 \text{ N.mm} \\
 M_{2s}(x) &= 5,64E+8 \text{ N.mm} & M_{2s}(y) &= 7,24E+8 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

(catatan: gaya-gaya dalam sudah termasuk pengaruh kekangan kolom dan pengaruh defleksi kolom akibat gaya pratekan)

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'c} = 4700 \cdot \sqrt{30} = 25743 \text{ MPa}$$

Balok induk yang berhubungan adalah tipe B1 (40 × 75 cm),

$$I_{g_{blk}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 750^3 = 1,76E+10 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr_{blk}} = 0,5 \cdot I_{g_{blk}} = 0,5 \cdot 1,76E+10 = 8,79E+9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{blk} = E_c \cdot I_{cr_{blk}} = 25743 \times 8,79E+9 = 2,26E+14 \text{ N.mm}^2$$

Balok lainnya yang berhubungan adalah tipe B2 (40 × 70 cm),

$$I_{g_{blk}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 700^3 = 1,43E+10 \text{ mm}^4$$

$$I_{cr_{blk}} = 0,5 \cdot I_{g_{blk}} = 0,5 \cdot 1,43E+10 = 7,15E+9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{blk} = E_c \cdot I_{cr_{blk}} = 25743 \times 7,15E+9 = 1,84E+14 \text{ N.mm}^2$$

Kolom tipe K3 (90 × 90 cm),

$$I_{g_{klm}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 900 \cdot 900^3 = 3,41E+10 \text{ mm}^4$$

$$EI_{klm} = 0,3 \cdot Ec \cdot I_{g_{klm}} = 0,3 \times 25743 \times 3,41E+10 = 2,64E+14 \text{ N.mm}^2$$

Faktor jepitan atas,

$$\psi_A = \frac{\Sigma(EI_{klm}/L_{klm})}{\Sigma(EI_{bik}/L_{bik})} = \frac{(2,64E+14/4000)}{2 \times (1,84E+14/7200) + (2,26E+14/8200)} = 1,67$$

Faktor jepitan bawah,

$$\psi_B = 0$$

Faktor tekuk (k),

maka, dari nomogram faktor panjang efektif kolom diperoleh $k = 1,22$

Kontrol Kelangsingan

Jenis portal adalah portal tanpa berpengaku (*unbraced frame*) bergoyang.

Jari-jari girasi,

$$r = 0,3 \cdot h = 0,3 \cdot 900 = 240 \text{ mm}$$

Nilai kelangsingan,

$$l_u = 4000 - 750 = 3250 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{k l_u}{r} > 22$$

$$= \frac{1,22 \times 3250}{240} < 22 = 17 < 22 \quad (\text{memenuhi!})$$

maka kolom K4 termasuk kolom pendek, jadi pengaruh kelangsingannya tidak diperhitungkan.

Pembesaran Momen

$$C_m = 1$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,65P_c}} \geq 1,0$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{8,03E+6}{0,75 \times 1,09E+8}} = 1,13$$

maka, $M_{cx} = \delta_b \cdot M_{2bx} = 1,13 \times 1,47E+08 = 1,66E+08 \text{ N.mm}$

$$M_{cy} = \delta_b \cdot M_{2by} = 1,13 \times 4,61E+06 = 5,20E+06 \text{ N.mm}$$

Perhitungan Momen ekuivalen

$$\begin{aligned}\phi Mn &= M_{ux} + M_{uy} \frac{b}{h} \cdot \frac{1-\beta}{\beta} \\ &= 1,66E+08 + 5,20E+06 \cdot \frac{900}{900} \cdot \frac{1-0,65}{0,65} = 1,69E+08\end{aligned}$$

6.4.1.1. Penulangan Longitudinal Kolom Tipe K4

Contoh Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom Tipe K4

$$\frac{P_u}{A_g} = \frac{8,18E+6}{900 \times 900} = 10,10 \text{ MPa}$$

$$\frac{M_u}{A_g \cdot h} = \frac{1,83E+8}{900 \times 900 \times 900} = 2,51 \text{ MPa}$$

maka, dari diagram interaksi $M-N$, diperoleh $\rho = 1\%$

$$A_{sk} = \rho \cdot (b \times \mu \cdot h) = 0,01 \times (900 \times 0,8 \times 900) = 6480 \text{ mm}^2$$

Maka untuk tulangan longitudinal kolom arah x digunakan ulir 16 – D25

($A_s = 7850 \text{ mm}^2$)

Kontrol Biaksial Bending

$$\begin{aligned}P_{ob} &= 0,8 \phi (f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y) \\ &= 0,8 \cdot 0,65 (30 (900^2 - 7850)) + 7850 \cdot 390 \\ &= 1,11 E+07\end{aligned}$$

$$\frac{M_{u_x}}{A_g \cdot h} = \frac{1,10E+9}{900 \times 900 \times 900} = 1,50 \text{ MPa}$$

dari diagram interaksi dengan $\rho = 1\%$ diperoleh :

$$\frac{\phi P_{n_x}}{A_g} = 15$$

$$P_{n_x} = 15 \times 900^2 / 0,65 = 1,87 E+08 \text{ N}$$

$$\frac{M_{u_y}}{A_g \cdot h} = \frac{1,24E+9}{900 \times 900 \times 900} = 1,71 \text{ MPa}$$

dari diagram interaksi dengan $\rho = 1\%$ diperoleh :

$$\frac{\phi P_{n_y}}{A_g} = 15$$

$$P_{n_y} = 15 \times 900^2 / 0,65 = 1,87 E+08 \text{ N}$$

Maka diperoleh :

$$\frac{1}{Pn_b} = \frac{1}{Pn_x} + \frac{1}{Pn_y} - \frac{1}{Pob} = \frac{1}{1,87E+07} + \frac{1}{1,87E+07} - \frac{1}{1,11E+07}$$

$$Pn_b = 5,93 E+07 \quad > Pn = \frac{Pu}{\phi} = \frac{8,18E+06}{0,65} = 1,26E+07 \text{ N (memenuhi!)}$$

6.4.1.2. Penulangan Transversal Kolom Tipe K4

Contoh Perhitungan Penulangan Transversal Kolom Tipe K4

Data-data perencanaan :

$$Tu = 3,90 E+07 \text{ Nmm}$$

$$Vu = 3,35 E+5 \text{ N}$$

$$Pu = 8,03E+6 \text{ N}$$

$$b = 900 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan utama} = \text{D-25}$$

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

$$d = 900 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 837,5 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (} f_c' \text{)} = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (} f_y \text{)} = 320 \text{ Mpa}$$

Cek Torsi Minimum

$$\phi T_c = \phi \left(\frac{1}{15} \sqrt{f_c'} \cdot \Sigma x^2 y \right) = 0,6 \left(\frac{1}{15} \sqrt{30} \times 900^2 \times 900 \right)$$

$$\phi T_c = 1,60 E+08 \text{ Nmm}$$

$$Tu = 3,90 E+07 \text{ Nmm} < \phi T_c \quad (\text{torsi dapat diabaikan}).$$

Sumbangan Kekuatan Geser Beton

$$V_c = 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \left[1 + \frac{Nu}{14 \cdot Ag} \right] = 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 900 \times 837,5 \times \left[1 + \frac{8,03E+6}{14 \times 900^2} \right]$$

$$V_c = 2,35 E+06 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 1,18 E+06 \text{ N}$$

Karena $V_u < 0,5 \phi V_c$, maka dipasang sengkang minimum sebesar :

$$Av_{\min} = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \quad \rightarrow \quad s = \frac{Av \cdot 3 \cdot f_y}{b_w}$$

Dipakai sengkang ϕ -10 ($A_s = 78.5 \text{ mm}^2$), maka :

$$s = \frac{2 \times 78.5 \times 3 \times 320}{900} = 167,5 \text{ mm}$$

$$s_{maks} = 0.5 h = 0.5 \times 800 = 400 \text{ mm}$$

$$s_{maks} = 10.d_b = 10 \times 25 = 250 \text{ mm}$$

$$s_{maks} = 200 \text{ mm}$$

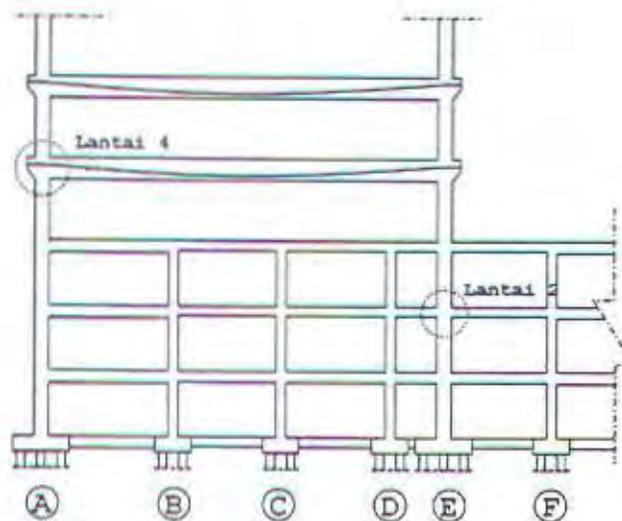
Dipasang tulangan sengkang ϕ 10-200 mm

6.5. PERENCANAAN PERTEMUAN BALOK KOLOM

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.

Hubungan balok kolom yang direncanakan pada perhitungan ini, mengambil dua titik join, yaitu pada titik hubungan balok kolom lantai 1 dan titik hubungan balok kolom lantai 4 yang mendapat beban-beban maksimum. Jadi hasil perhitungannya tipikal untuk hubungan balok kolom yang lainnya pada struktur.



Gambar 6.10. Letak sambungan balok kolom.

6.5.1. Perhitungan Sambungan Balok Kolom Atas

Data Teknis

Komponen Arah X

Balok tipe BP, 600 × 1300 mm,

$$l_{ki} = 24900 \text{ mm}, \quad l_{ki'} = 24000 \text{ mm},$$

$$M_{kap,b,ki} = 1,25 \times 4,95E+9 \text{ N.mm} = 7,0E+9 \text{ N.mm}$$

$$a_{ki} = 309 \text{ mm}, \quad z_{b,ki} = d_{blk} - a/2 = 940 - 309/2 = 785,5 \text{ mm}$$

Kolom tipe K3, 900 × 900 mm

$$f'_c = 30 \text{ MPa}, \quad f_y = 390 \text{ MPa}$$

Komponen Arah Y

Balok tipe B2, 400 × 700 mm

$$l_{ki} = l_{ka} = 7200 \text{ mm}, \quad l_{ki'} = l_{ka'} = 6300 \text{ mm},$$

$$\underline{d} = 700 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25 = 637,5 \text{ mm}$$

$$As = 4906 \text{ mm}^2$$

Momen kapasitas balok dalam tarik :

$$a_{ki,ka} = \frac{1,25 \times 4906 \times 390}{0,85 \times 30 \times 400} = 234,5 \text{ mm}$$

$$M_{kap,ki} = 1,25 \times 4906 \times 390 \times \left(637,5 - \frac{234,5}{2} \right) = 1,24E+9 \text{ Nmm}$$

$$M_{kap,b,ki} = M_{kap,b,ka} = 1,24E+9 \text{ N.mm}$$

$$a_{ki,ka} = 234,5 \text{ mm}, \quad z_{b,ki,ka} = d_{blk} - a/2 = 637,5 - 234,5/2 = 520,25 \text{ mm}$$

Kolom tipe K3, 900 × 900 mm

$$f'_c = 30 \text{ MPa}, \quad f_y = 390 \text{ MPa},$$

Perhitungan Geser Join¹³⁸

Komponen Arah X

$$V_{kol,x} = \frac{0,70 \cdot \left(\frac{l_{ki}}{l_{ki'}} \cdot M_{kap,ki} + \frac{l_{ka}}{l_{ka'}} \cdot M_{kap,ka} \right)}{0,5 \cdot (h_{k,a} + h_{k,b})} = \frac{0,70 \cdot \left(\frac{24900}{24000} \cdot 7,0E+9 \right)}{0,5 \cdot (5000 + 5000)}$$

¹³⁸ SKSNI T-15-1991-03, pasal 3.14.6.1.1.

$$= 1016750 \text{ N} = 1,02\text{E}+5 \text{ N}$$

$$C_{ki,x} = T_{ki,x} = 0,70 \cdot \frac{M_{kap,ki}}{z_{ki}} = 0,70 \cdot \frac{7,0\text{E}+9}{785,5} = 6238064,93 \text{ N} = 6,24\text{E}+6 \text{ N}$$

$$V_{jh,x} = C_{ki,x} - V_{kol,x} = 6,24\text{E}+6 - 1,02\text{E}+5 = 6,14\text{E}+6 \text{ N}$$

Komponen Arah Y

$$V_{kol,y} = \frac{0,70 \cdot \left(\frac{l_{ki}}{l_{ki'}} \cdot M_{kap,ki} + \frac{l_{ka}}{l_{ka'}} \cdot M_{kap,ka} \right)}{0,5 \cdot (h_{k,a} + h_{k,b})} = \frac{0,70 \cdot \left(2 \times \frac{7200}{6300} \cdot 1,24\text{E}+9 \right)}{0,5 \cdot (5000 + 5000)}$$

$$= 396800 \text{ N} = 3,97\text{E}+5 \text{ N}$$

$$C_{ki,y} = C_{ka,y} = T_{ki,y} = T_{ka,y} = 0,70 \cdot \frac{M_{kap,ki,ka}}{z_{ki,ka}} = 0,70 \cdot \frac{1,24\text{E}+9}{520,25}$$

$$= 1668428,6 \text{ N} = 1,67\text{E}+6 \text{ N}$$

$$V_{jh,y} = C_{ka,y} + C_{ki,y} - V_{kol,y} = (2 \times 1,67\text{E}+6) - 3,97\text{E}+5 = 2,94\text{E}+6 \text{ N}$$

Karena $V_{jh,x} > V_{jh,y}$ maka diambil $V_{jh} = 6,14\text{E}+6 \text{ N}$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } b_k > b_b \quad b_j &= b_k = 900 \text{ mm} \\ b_j &= b_b + 0,5h_k = 400 + 0,5 \times 5000 = 2900 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$v_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j \cdot h_k} = \frac{6,14\text{E}+6}{900 \times 5000} = 1,36 \text{ MPa} < 1,5\sqrt{f'c} (= 8,21 \text{ MPa}) \quad (\text{memenuhi!})$$

$$Nu = 8,03\text{E}+6 \text{ N}$$

$$\frac{Nu}{Ag} = \frac{8,03\text{E}+6}{900 \times 900} = 9,91 \text{ MPa}$$

$$0,1 \cdot f'c = 3,0 \text{ MPa}$$

karena $\frac{Nu}{Ag} > 0,1 \cdot f'c$, maka V_{ch} diambil,

$$^{139}V_{ch} = 0,7 \cdot P_{cs} = 0,7 \times 4,5\text{E}+6 = 3,15\text{E}+6 \text{ N}$$

karena $V_{ch} < V_{jh}$ maka diperlukan penulangan geser horisontal.

$$\begin{aligned} ^{140}V_{sh} &= V_{jh} - V_{ch} = 6,14\text{E}+6 - 3,15\text{E}+6 \\ &= 2,99\text{E}+6 \text{ N} \end{aligned}$$

¹³⁹ SKSNI-T-15-1991-03, pasal 3.14.6.1.4. Dengan keadaan joint terlewat tegangan prategang, dimana P_{cs} adalah gaya prategang efektif.

¹⁴⁰ SKSNI-T-15-1991-03, pasal 3.14.6.1.5.

$$A_{jt} = V_{sh}/f_y = 2,99E+6/390 = 7666,67 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan pengikat ulir 4 - D12 mm

6.5.2. Perhitungan Sambungan Balok Kolom Bawah

Data Teknis

Komponen Arah X

Balok tipe, 400 × 650 mm,

$$l_{ki} = 3300 \text{ mm}, l_{ki}' = 3225 \text{ mm},$$

$$l_{ka} = 6600 \text{ mm}, l_{ka}' = 6525 \text{ mm},$$

$$A_s = 2453 \text{ mm}^2$$

Momen kapasitas balok dalam tarik

$$a_{ki,ka} = \frac{1,25 \times 2453 \times 390}{0,85 \times 30 \times 400} = 117,24 \text{ mm}$$

$$M_{kapka,ki} = 1,25 \times 2453 \times 390 \times \left(637,5 - \frac{117,24}{2} \right) = 6,92E+8 \text{ Nmm}$$

$$a_{ki} = 117,24 \text{ mm}, \quad z_{b,ki} = d_{blk} - a/2 = 637,5 - 117,24/2 = 578,88 \text{ mm}$$

Kolom tipe K3, 900 × 900 mm

$$f_c = 30 \text{ MPa}, \quad f_y = 390 \text{ MPa}$$

Komponen Arah Y

Balok tipe, 400 × 700 mm,

$$l_{ki} = 7200 \text{ mm}, \quad l_{ki}' = 6300 \text{ mm},$$

$$A_s = 2944 \text{ mm}^2$$

Momen kapasitas balok dalam tarik

$$a_{ki,ka} = \frac{1,25 \times 2944 \times 390}{0,85 \times 30 \times 400} = 140,71 \text{ mm}$$

$$M_{kapka,ki} = 1,25 \times 2944 \times 390 \times \left(687,5 - \frac{140,71}{2} \right) = 8,86E+8 \text{ Nmm}$$

$$a_{ki} = 140,71 \text{ mm}, \quad z_{b,ki} = d_{blk} - a/2 = 687,5 - 140,71/2 = 617,15 \text{ mm}$$

Kolom tipe K3, 900 × 900 mm

$$f_c = 30 \text{ MPa}, \quad f_y = 390 \text{ MPa}$$

Perhitungan Geser Join¹⁴¹

Komponen Arah X

$$V_{kol,x} = \frac{0,70 \cdot \left(\frac{I_{kl}}{I_{kl}'} \cdot M_{kap,kl} + \frac{I_{ka}}{I_{ka}'} \cdot M_{kap,ka} \right)}{0,5 \cdot (h_{k,a} + h_{k,b})} = \frac{0,70 \cdot \left(\frac{3300}{3225} \cdot 6,92E+8 + \frac{6600}{6525} \cdot 6,92E+8 \right)}{0,5 \cdot (4000 + 4000)}$$

$$= 246408 \text{ N} = 2,46E+5 \text{ N}$$

$$C_{ki,x} = T_{ki,x} = 0,70 \cdot \frac{M_{kap,kl}}{z_{ki}} = 0,70 \cdot \frac{6,92E+8}{578,88} = 8,37E+5 \text{ N}$$

$$V_{jh,x} = C_{kax} - C_{ki,x} - V_{kol,x} = (2 \times 8,37E+5) - 2,46E+5 = 1,43E+6 \text{ N}$$

Komponen Arah Y

$$V_{kol,y} = \frac{0,70 \cdot \left(\frac{I_{kl}}{I_{kl}'} \cdot M_{kap,kl} + \frac{I_{ka}}{I_{ka}'} \cdot M_{kap,ka} \right)}{0,5 \cdot (h_{k,a} + h_{k,b})} = \frac{0,70 \cdot \left(2 \times \frac{7200}{6300} \cdot 8,86E+8 \right)}{0,5 \cdot (4000 + 4000)}$$

$$= 354400 \text{ N} = 3,54E+5 \text{ N}$$

$$C_{ki,y} = C_{kay} = T_{ki,y} = T_{ka,y} = 0,70 \cdot \frac{M_{kap,kl,ka}}{z_{ki,ka}} = 0,70 \cdot \frac{8,86E+8}{617,15}$$

$$= 1,00E+6 \text{ N}$$

$$V_{jh,y} = C_{kay} + C_{ki,y} - V_{kol,y} = (2 \times 1,00E+6) - 3,54E+5 = 1,65E+6 \text{ N}$$

Karena $V_{jh,y} > V_{jh,x}$ maka diambil $V_{jh} = 1,65E+6 \text{ N}$

Untuk $b_k > b_b$

$$b_j = b_k = 900 \text{ mm}$$

$$b_j = b_b + 0,5h_k = 400 + 0,5 \times 4000 = 2400 \text{ mm}$$

$$v_{jh} = \frac{V_{jh}}{b_j h_k} = \frac{1,65E+6}{900 \times 4000} = 0,46 \text{ MPa} < 1,5\sqrt{f'c} (= 8,21 \text{ MPa}) \quad (\text{memenuhi!})$$

$$Nu = 8,03E+6 \text{ N}$$

$$\frac{Nu}{Ag} = \frac{8,03E+6}{900 \times 900} = 9,91 \text{ MPa}$$

$$0,1f'c = 3,0 \text{ MPa}$$

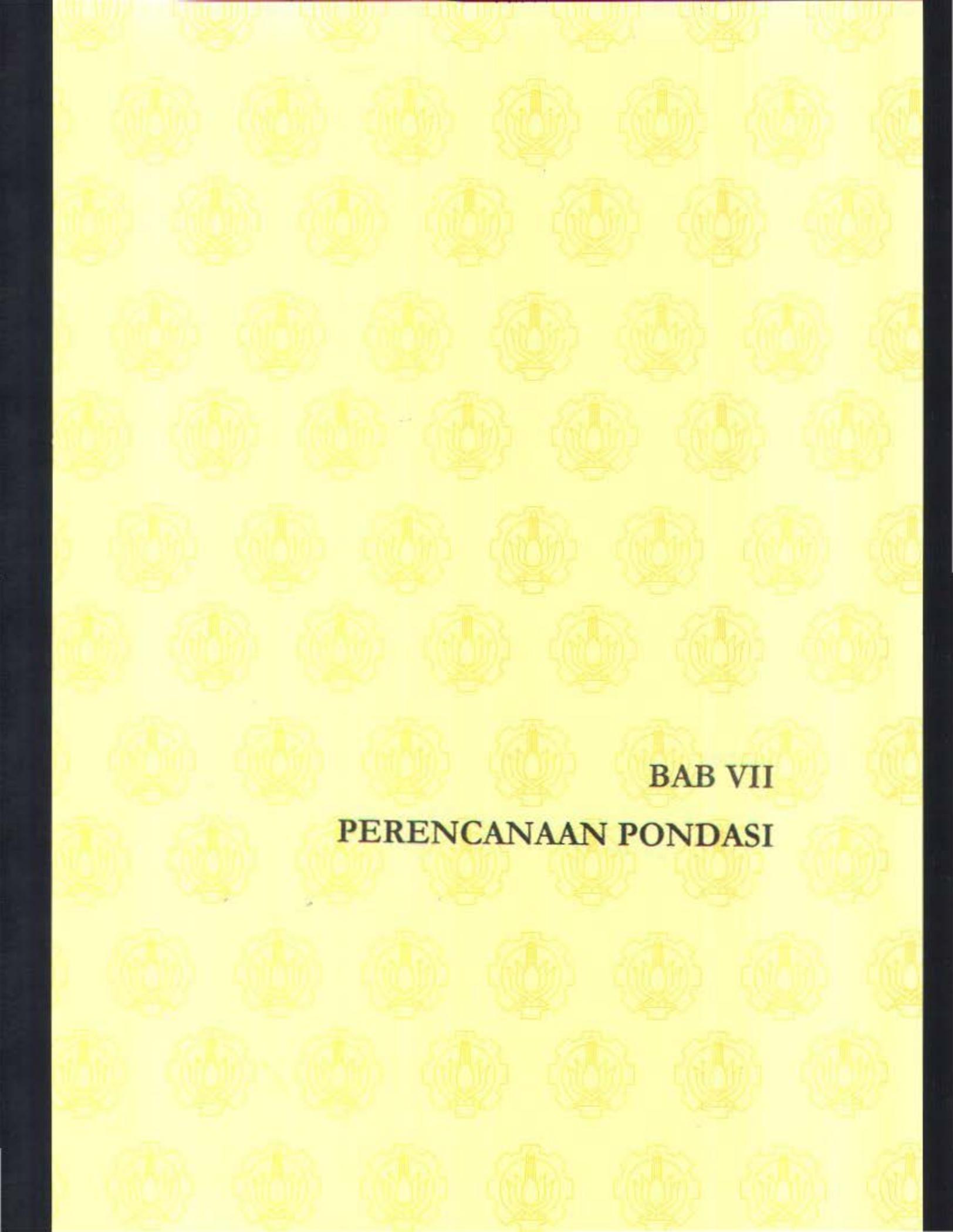
karena $\frac{Nu}{Ag} > 0,1f'c$, maka V_{ch} diambil,

¹⁴¹ SKSNI T-15-1991-03, pasal 3.14.6.1.1.

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{P_u}{A_g} - 0.1 \cdot f_c' \times b_j \cdot h_k} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{8,03E+6}{900 \times 900} - 0.1 \times 30 \times 900 \times 4000}$$

$$V_{ch} = 6310485 \text{ N} = 6,31E+6 \text{ N}$$

karena $V_{ch} > V_{jh}$ maka tidak diperlukan penulangan geser horisontal. dipasang tulangan praktis. Dipasang tulangan : $\phi 10 - 5$



BAB VII

PERENCANAAN PONDASI

BAB VII

PERENCANAAN PONDASI

7.1. UMUM

Pondasi gedung Atlas Sport Club II menggunakan pondasi dalam jenis tiang pancang bulat. Perencanaan meliputi perhitungan jumlah tiang pancang yang diperlukan, perencanaan poer (*pile cap*), dan perencanaan sloof (*tie beam*). Pondasi tiang bulat menggunakan pondasi beton produk PT. Wijaya Karya (WIKA). Data tanah yang diperoleh melalui hasil uji Standart Penetration Test (SPT) yang telah dilakukan oleh Testana Engineering, Inc. Output perhitungan kapasitas dukung ijin berdasarkan metode Luciano Decourt, diambil dari data-data terlampir.

7.2. PERENCANAAN PONDASI

7.2.1. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung tanah seperti yang telah disebutkan diatas, menggunakan metode Reese. Analisa daya dukung telah dilakukan oleh Testana Engineering, Inc. dan menghasilkan output berupa besar daya dukung tanah terhadap variabel diameter penampang pondasi, jenis pondasi dalam dan kedalaman pondasi dari permukaan tanah. Hasil analisa yang dilakukan diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 7.1. Data NSPT pada Proyek Atlas Sport Club II.

| DATA NSPT | | | | | |
|-----------|---------------|------------|----|---------------|------------|
| No | Kedalaman (m) | Jumlah SPT | No | Kedalaman (m) | Jumlah SPT |
| 1 | 1.50 | 2 | 10 | 19.50 | 38 |
| 2 | 3.50 | 0 | 11 | 21.50 | 33 |
| 3 | 5.50 | 0 | 12 | 23.50 | 28 |
| 4 | 7.50 | 2 | 13 | 25.50 | 27 |
| 5 | 9.50 | 6 | 14 | 27.50 | 27 |
| 6 | 11.50 | 17 | 15 | 29.50 | 29 |
| 7 | 13.50 | 25 | 16 | 31.50 | 22 |
| 8 | 15.50 | 24 | 17 | 33.50 | 21 |
| 9 | 17.50 | 33 | | | |

Dengan menggunakan metode Luciano Decourt dan jenis pondasi tiang pancang (*driven pile*) \varnothing -50 cm, dengan kedalaman 20 m diperoleh daya dukung tanah 97 ton. Tiang pancang direncanakan memakai tiang pancang produksi WIKA tipe 500-C dengan spesifikasi sebagai berikut:

Data Teknis Tiang Pancang

Mutu beton tiang pancang K-600 (Concrete cube Compressive strength 600 kg/cm² dalam 28 hari).

$$^{142}A_s = 15,27 \text{ cm}^2 \quad M_c = 17 \text{ ton.m}$$

$$^{143}A_c = 1159,25 \text{ cm}^2 \quad M_{ult} = 34 \text{ ton.m}$$

$$^{144}W = 10583,74 \text{ cm}^3 \quad P_{ijin,pile} = 156 \text{ ton}$$

Contoh Perhitungan pada kolom K4

$$P_{u,K4} = 662 \text{ ton (kolom tipe K4)}$$

$$M_{u,K4} = 3,2 \text{ ton.m}$$

$$H_{u,x,K4} = 34,4 \text{ ton}$$

$$M_{u,x,K4} = 117,5 \text{ ton.m}$$

$$H_{u,y,K4} = 37,0 \text{ ton}$$

$$M_{u,y,K4} = 103,7 \text{ ton.m}$$

7.2.2. Perencanaan Pondasi Grup Tiang Pancang

Contoh Perhitungan Pondasi Grup Tiang Pancang Kolom Tipe K4

Tiang Pancang Perlu

P_{ijin} diambil yang terkecil dari $P_{ijin,pile}$ dan Q_{all}

$$P_{ijin} = Q_{all} = 106 \text{ ton}$$

Kebutuhan tiang pancang,

$$n = \frac{P_u}{P_{ijin}} = \frac{662}{97} = 6,82 \text{ buah}$$

maka dengan tambahan beban poer dipakai tiang pancang \varnothing -50 cm sebanyak 7 buah.

¹⁴² Luas penampang bersih beton.

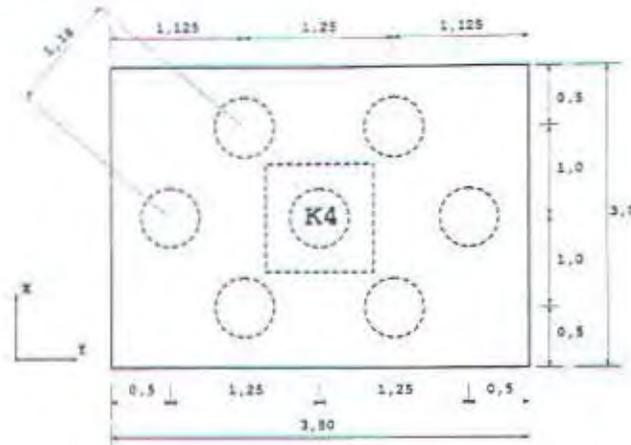
¹⁴³ Luas penampang bersih tulangan.

¹⁴⁴ Modulus penampang.

Jarak as ke as tiang terpasang (s) = $2,5 \cdot \emptyset$ sd. $3,0 \cdot \emptyset$

diambil $s = 2,5 \times 0,5 = 1,25$ m

Jarak tepi ke tepi poer (s_1) = 0,5 m



Gambar 7.1. Dimensi poer kolom K4.

Rencana dimensi poer = $3,5 \times 2,5 \times 1,0$ m

Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Aksial

Beban maksimum tiang,

$$\Sigma P_u = P_{u_{K4}} + \text{Berat poer} = 662 + (2,4 \times 3,5 \times 2,5 \times 1,0) = 683 \text{ ton}$$

$$\Sigma x^2 = 4 \times 0,75^2 = 2,25 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = (4 \times 0,625^2) + (2 \times 1,25^2) = 4,6875 \text{ m}^2$$

$$x_{max} = 2,25 \text{ m}$$

$$y_{max} = 1,3 \text{ m}$$

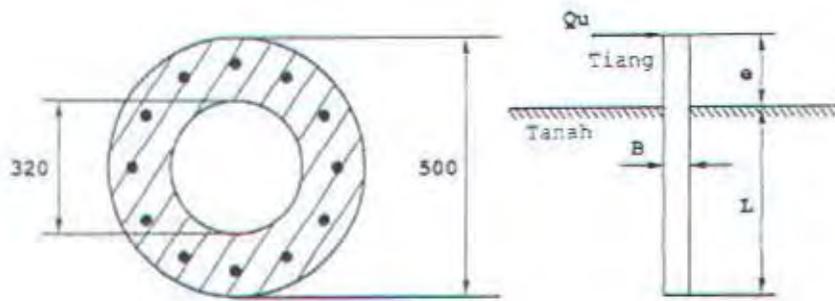
$$P_{max} = \frac{\Sigma P_u}{n} + \frac{M_y \cdot x_{max}}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \cdot y_{max}}{\Sigma y^2}$$

$$= \frac{662}{7} + \frac{103,7 \times 0,75}{2,25} + \frac{117,5 \times 1,25}{4,6875} = 105,51 \text{ ton}$$

$$= 105,51 \text{ ton} < P_{ijin} = 156 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral

Karakteristik tiang,



Gambar 7.2. Penampang tiang pancang.

$$E_{c\text{tiang}} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{600} = 115126,02 \text{ Mpa}$$

$$I_{\text{tiang}} = \frac{\pi}{64} (B - T)^4 = \frac{3,14}{64} (500 - 320)^4 = 51503850 \text{ mm}^4$$

$$EI_{\text{tiang}} = E_{c\text{tiang}} \cdot I_{\text{tiang}} = 115126,02 \times 51503850 = 5,93E+12 \text{ MPa}$$

$$z_{\text{tiang}} = \frac{I}{B/2} = \frac{51503850}{500/2} = 206015,4 \text{ mm}^3$$

$$^{145}Mu_{\text{tiang}} = z f_b = M_{\text{ult}} = 34 \text{ ton.m} = 340000000 \text{ N.mm}$$

$$K \text{ untuk soil pile} = 0,022277 \text{ N/mm}^2$$

$$R = \left(\frac{EI}{K} \right)^{1/4} = \left(\frac{5,93E+12}{0,022277} \right)^{1/4} = 4039,24 \text{ mm}$$

$$L/R = 20000/4039,24 = 4,95 > 3,5 \quad (\text{kategori tiang panjang!})$$

Dianggap nilai pada jumlah pukulan rata-rata $N = 19,7$ pukulan.

$$N' = 15 + 0,5 \cdot (N - 15) = 15 + 0,5 \cdot (19,7 - 15) = 17,4$$

$$C_u = 10 \cdot N' = 10 \times 17,4 = 174 \text{ Kpa} = 1,74 \text{ kg/cm}^2 = 0,174 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_u = 9 \times C_u \times B^2 = 9 \times 0,174 \times 500^2 = 391500 \text{ N}$$

maka gaya lateral ijin 1 tiang pancang,

$$Q_{\text{ijin}} = Q_u / SF = 344250 / 2,5 = 156600 \text{ N} = 15,66 \text{ ton}$$

$$H_x = 34,4 \text{ ton}$$

$$H_y = 37,0 \text{ ton}$$

$$\Sigma Q_u = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} = \sqrt{34,4^2 + 37,0^2} = 50,52 \text{ ton (untuk 7 tiang)}$$

maka untuk setiap tiang didapat

$$Q_{u, 1 \text{ tiang}} = 7,22 \text{ ton} < Q_{\text{ijin}} = 15,66 \text{ ton} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

Kontrol Kuat Kelompok Tiang Pancang Grup Terhadap Gaya Aksial

¹⁴⁵ f_b adalah tegangan ijin tulangan tiang pancang.

$$Eff_{vert} = 1 - \frac{\text{arc.tg}(B/s)}{90^\circ} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) = 1 - \frac{\text{arc.tg}(0,5/1,18)}{90^\circ} \left(2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right)$$

$$= 0,625$$

$$P_{ijin-grup.ver} = n \times P_{ijin} \times Eff_{vert} = 7 \times 156 \times 0,625 = 682,5 \text{ ton}$$

$$P_{ijin-grup} > P_u \quad (= 662 \text{ ton}) \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

Kontrol Geser Pons

Data-data perencanaan poer :

| | |
|----------------------|------------------------------------|
| P_u | = 662 ton |
| P_{max} | = 105 ton |
| Dimensi | = 3,5 × 2,5 × 1,0 m |
| Jumlah tiang pancang | = 7 buah |
| Dimensi kolom | = 900 x 900 mm |
| Mutu beton f_c | = 30 MPa |
| Mutu baja f_y | = 390 MPa |
| Tulangan pokok | = D-25 |
| Selimut beton | = 70 mm |
| Tinggi efektif d | = 1000 - 70 - 25 - ½ 25 = 892.5 mm |

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan sebagai berikut¹⁴⁶ :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_o \times d$$

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 :

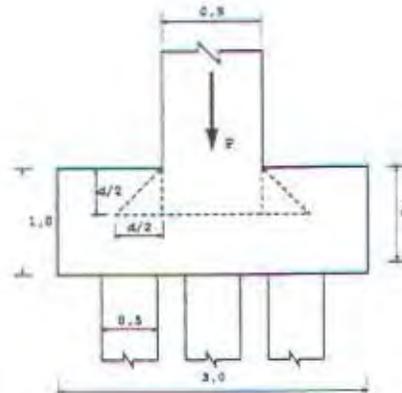
¹⁴⁶ SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.4.11-2

Keliling penampang kritis :

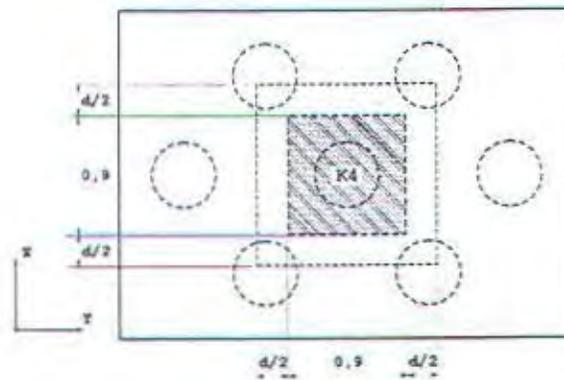
$$\beta_c = 800/800 = 1$$

$$b_o = 2 (b_{kol} - h_{kol} + 4 \cdot d/2) = 2(900 + 900 + 2 \cdot 892,5)$$

$$= 7170 \text{ mm}$$



Gambar 7.3. Geser Pons pada Poer



Gambar 7.4. Daerah Kritis Geser Pons pada Poer

Kuat geser pons :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1} \right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) \times 7170 \times 892,5 = 1,75E+7 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{30} \times 7170 \times 892,5 \times 1 = 1,17E+7 \text{ N} \quad (\text{menentukan !})$$

$$\phi V_c = 0,6 \times 1,17E+7$$

$$= 7,01E+6 \text{ N}$$

$$= 701 \text{ ton}$$

$$\phi V_c > P_u - P_{\text{max}} (= 662 - 105 = 557 \text{ ton}) \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

Selain itu dimensi poer (tebal poer) direncanakan juga dengan mempertimbangkan panjang penyaluran tiang pancang yaitu sebesar :

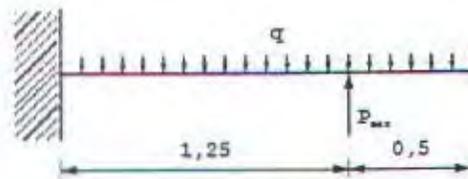
$$\begin{aligned}
 &= 40 \times D_{\text{tiang pancang}} \\
 &= 40 \times 19 \text{ mm} = 760 \text{ mm} > t \text{ rencana poer} = 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

7.2.3. Penulangan Pondasi Grup Tiang Pancang

Perhitungan dengan asumsi sistem yang ada bekerja sebagai kantilever, dan menggunakan perletakan jepit, baik arah sumbu x maupun arah sumbu y. Pembebanan yang dikerjakan berdasarkan tiang yang memberikan kondisi terkritik. Sedangkan tulangan yang digunakan adalah ulir D-25 mm ($f_y = 390$ MPa).

Contoh Perhitungan Penulangan Poer Kolom Tipe K4

Penulangan Arah Sumbu X



Gambar 7.5. Asumsi jepit pada poer arah sumbu x.

$$q_{max} = 2,4 \times 1,0 \times 1,0 = 2,4 \text{ ton/m}$$

$$\begin{aligned}
 Mu_x &= P_{max} \cdot 0,625 + P_{max} \cdot 1,25 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot 1,75^2 \\
 &= (105,51 \times 1,25) - (\frac{1}{2} \times 2,4 \times 1,75^2) = 128,21 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

$$d_x = 892,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu_x}{\phi \times b \times d_x^2} = \frac{1,28E+9}{0,85 \times 1000 \times 892,5^2} = 1,89 \text{ MPa}$$

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

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 1,89}{390}} \right) = 0,0050$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot \beta \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{390} \cdot \frac{600}{600 + 240} = 0,0337$$

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

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

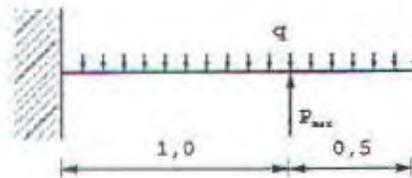
$\rho > \rho_{min}$, maka dipakai $\rho = 0,0050$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_x = 0,0050 \times 1000 \times 892,5 = 4462,5 \text{ mm}^2$$

maka untuk tulangan poer arah x dipakai D25 mm sejarak 100 mm

$$(A_s = 4908,7 \text{ mm}^2)$$

Penulangan Arah Sumbu Y



Gambar 7.6. Asumsi jepit pada poer arah sumbu y.

$$q_{max} = 2,4 \times 1,25 \times 1,0 = 3,0 \text{ ton/m}$$

$$Mu_y = P_{max} \cdot 1,0 - \frac{1}{2} \cdot q \cdot 1,5^2$$

$$= (105,51 \times 1,0) - (\frac{1}{2} \times 3,0 \times 1,5^2) = 102,14 \text{ ton.m}$$

$$d_y = d_x - D = 892,5 - 25 = 867,5 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{Mu_y}{\phi \times b \times d_y^2} = \frac{1,02E+9}{0,85 \times 1250 \times 867,5^2} = 1,28 \text{ MPa}$$

$$m = 15,294$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,294} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,294 \times 1,28}{390}} \right) = 0,0034$$

$$\rho_{balance} = 0,0337 \quad ; \quad \rho_{max} = 0,0253 \quad ; \quad \rho_{min} = 0,0036$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_y = 0,0034 \times 1250 \times 867,5 = 3686,88 \text{ mm}^2$$

maka untuk tulangan poer arah y dipakai D25 mm sejarak 160 mm

$$(A_s = 3835 \text{ mm}^2)$$

7.3. PERENCANAAN SLOOF

7.3.1. Perencanaan Dimensi Sloof

Sloof direncanakan tipikal untuk seluruh bangunan gedung dengan mengambil bentang yang terpanjang 8,2 m.

Data Teknis

| |
|---|
| $P_u = 10\% \times \Sigma P_u = 10\% \times 683 \text{ ton} = 68,3 \text{ ton}$ |
| Panjang sloof (l) = 8,1 m |
| Dimensi sloof = 50 × 75 cm |
| Tulangan pokok = ulir D-22 mm ($f_y = 390 \text{ MPa}$) |
| Sengkang = polos ϕ -10 mm ($f_y = 390 \text{ MPa}$) |
| Selimut beton (s') = 50 mm |

Kontrol Dimensi Sloof

$$d' = s' + \phi + D/2 = 50 + 10 + 22/2 = 77 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 750 - 77 = 673 \text{ mm}$$

Tegangan ijin tarik beton,

$$f_{r_{ijin}} = 0,7 \cdot \sqrt{f'c} = 0,7 \cdot \sqrt{30} = 3,83 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik yang terjadi,

$$f_r = \frac{P_u}{\phi \cdot b \cdot h} = \frac{68,3E+4}{0,85 \times 500 \times 750} = 2,143 \text{ MPa}$$

$$f_r < f_{r_{ijin}} \quad (\text{memenuhi syarat!})$$

7.3.2. Penulangan Sloof

Penulangan sloof didasarkan pada kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti pada penulangan kolom.

Tulangan Longitudinal

Berat sendiri sloof dengan faktor beban,

$$q_u = 1,2 \times 0,5 \times 0,75 \times 2,4 = 1,08 \text{ ton/m}$$

Momen yang terjadi,

$$M_u = 1/12 \times q_u \times l^2 = 1/12 \times 1,08 \times 8,1^2 = 5,90 \text{ ton.m} = 5,90E+7 \text{ N.mm}$$

maka,

$$\frac{Pu}{Ag} = \frac{68,3E + 4}{500 \times 750} = 1,82 \text{ MPa}$$

$$\frac{Mu}{Ag \cdot h} = \frac{5,90E + 7}{500 \times 750 \times 750} = 0,210 \text{ MPa}$$

maka, dari diagram interaksi $M - N$, diperoleh $\rho = 1 \%$

$$A_s = \rho \cdot (b \times \mu \cdot h) = 0,01 \times (500 \times 0,8 \times 750) = 3000 \text{ mm}^2$$

Maka untuk tulangan sloof digunakan ulir 8 - D22 ($A_s = 3041 \text{ mm}^2$)

Tulangan Geser Transversl

Geser yang terjadi,

$$Vu = \frac{1}{2} \times q_u \times l = \frac{1}{2} \times 1,08 \times 8,1 = 4,374 \text{ ton}$$

Geser nominal beton,

$$Vc = \left(1 + \frac{Nu}{14 \cdot Ag}\right) \left(\frac{\sqrt{f'c}}{6}\right) b_w \cdot d = \left(1 + \frac{68,3E + 4}{14 \times 500 \times 750}\right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6}\right) \cdot 500 \cdot 673$$

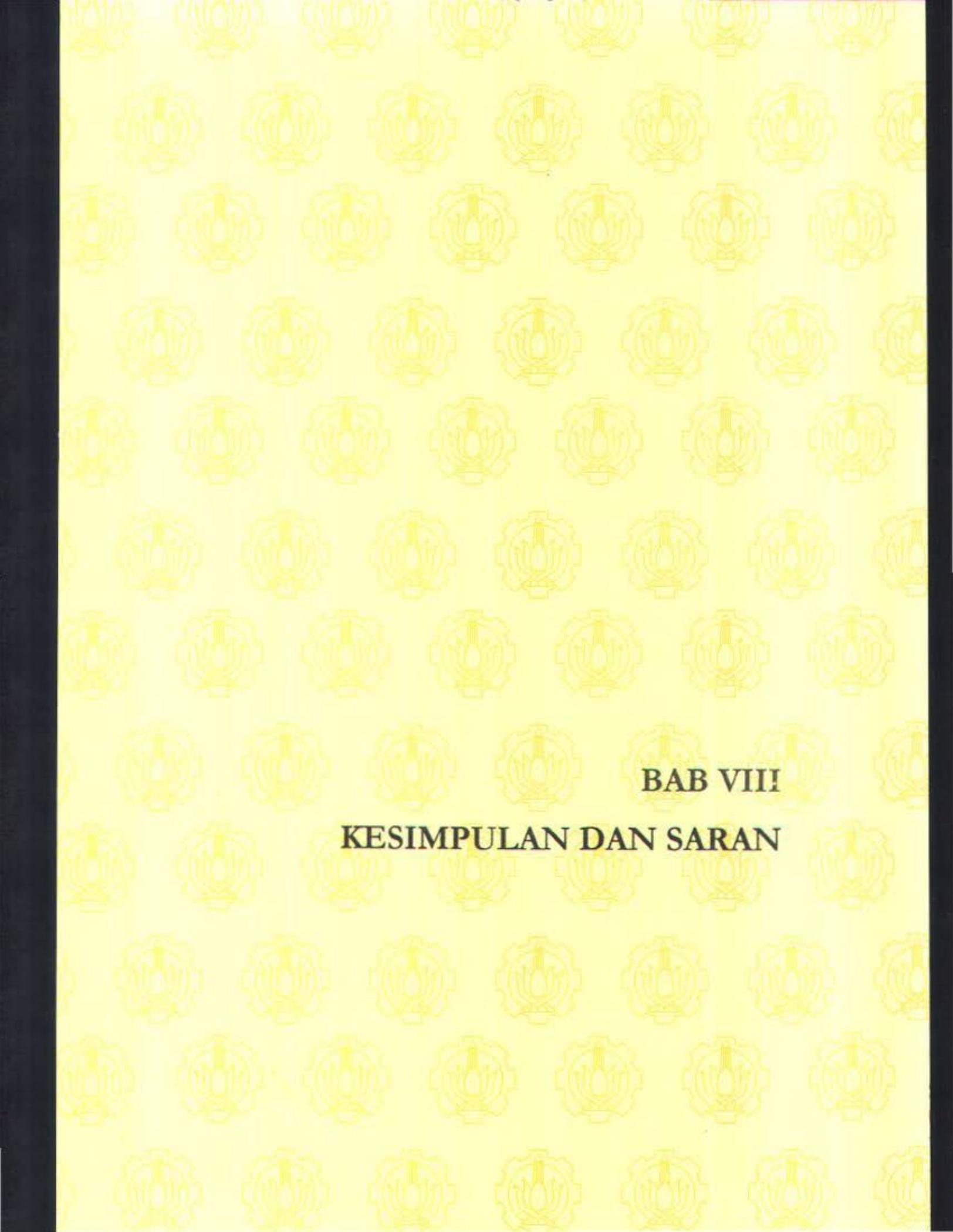
$$= 347143,86 \text{ N} = 34,71 \text{ ton}$$

$Vc > Vu$, maka tidak perlu tulangan geser. Pakai sengkang minimum saja.

Jarak antar sengkang,

$$s = d/2 = 673/2 = 336,5 \text{ mm}$$

maka dipakai sengkang $\phi 10 - 300 \text{ mm}$.



BAB VIII

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB VIII

KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. KESIMPULAN

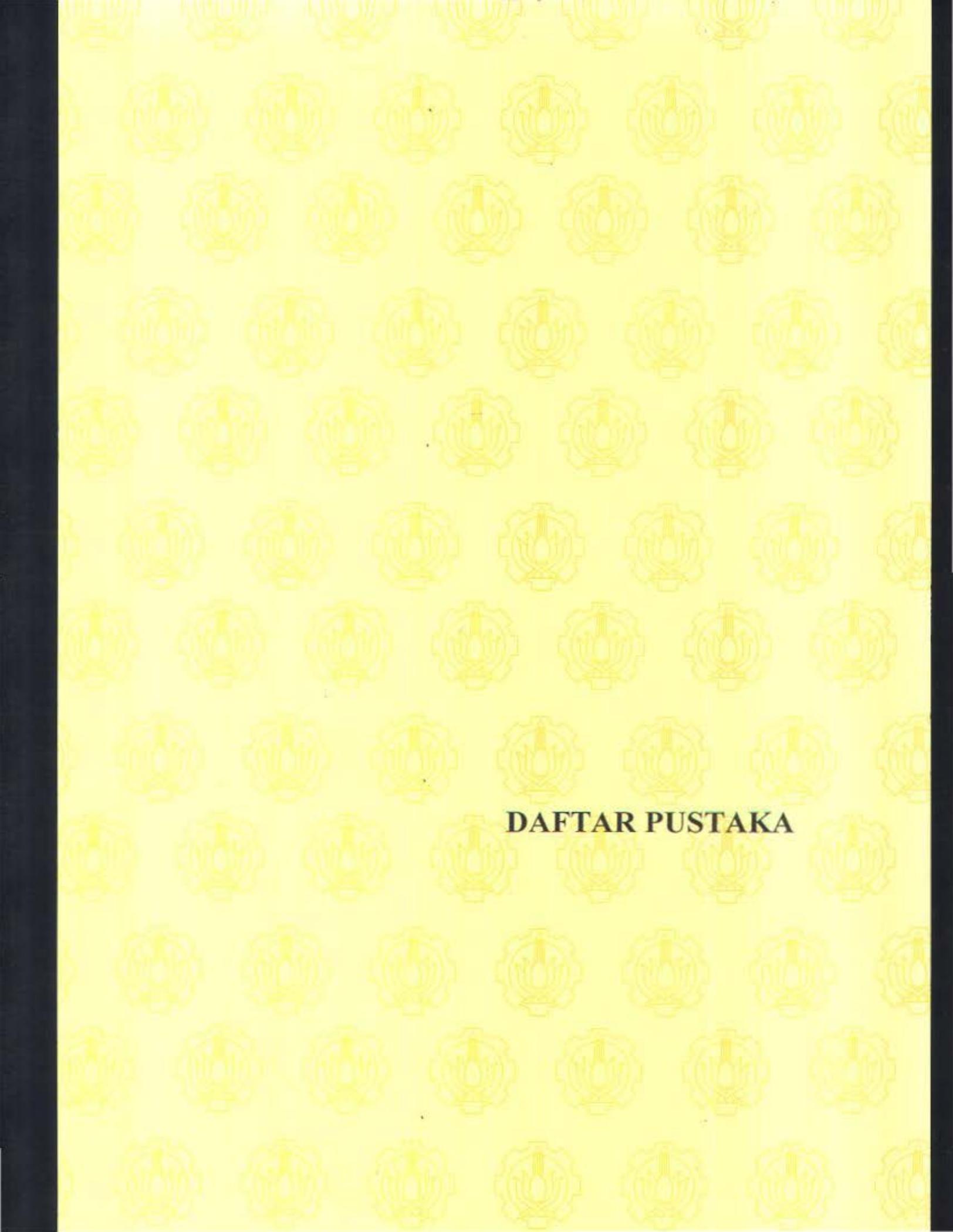
Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 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*.
- Kehilangan pratekan adalah faktor penting dalam perencanaan balok pratekan, karena dapat mengurangi kekuatan balok pratekan pada khususnya, dan dapat mengurangi kekuatan struktur secara keseluruhan. Kehilangan pratekan harus direncanakan dengan dengan batasan yang telah ditentukan.
- 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.
- Pendetailan-pendetailan komponen struktur dengan tingkat daktilitas 2 telah dituangkan dalam gambar.

8.2. SARAN

- Perlu diperhatikan secara khusus tentang metode pelaksanaan pada struktur dengan balok-balok pratekan. Hal ini sangat berpengaruh pada analisa dan kekuatan struktur secara keseluruhan, karena pengaruh gaya pratekan cukup besar. Oleh karena itu komunikasi dan koordinasi yang tepat antara perencana, pelaksana, dan pengawas lapangan sangat diperlukan.

- Perlu dilakukan studi yang lebih mendalam untuk menghasilkan perencanaan struktur dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan estetika. Sehingga diharapkan perencanaan dapat dapat dilaksanakan mendekati kondisi sesungguhnya di lapangan.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Daniel L. Schodek. 1980. **Structure**. New Jersey: Prentice Hall.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. **Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk Rumah dan Gedung**. Bandung: Yayasan Penerbit PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1991. **Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung**. SKSNI T-15-1991-03. Bandung: Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan.
1997. **Uniform Buildings Code**.
- R. I. Gilbert, N. C. Mickleborough. 1990. **Design Prestressed Concrete**. Sydney: Cambridge University Press.
- Edward G. Nawj, Dr. 1998. **Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar**. Jakarta: Erlangga.
- 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.
- 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.
- Shamsher Prakash, Hari D. Sharma. 1989. **Pile Foundation In Engineering Practice**. New York: John Wiley & Sons, Inc.

When I feel that I am nothing You make me become something. When I can't do anything You did 'something' for me. Your strong arms always pick me up when I fell down. Thanks **JESUS CHRIST** 4 all bless, all things You've given me.

Keluargaku, danké **Mama** deng **Papa**, mo sabar 4 moz. Danké 4 donk poenk doa deng support, moz minta maaf 4 samua lái. **Tinno**, thanx 4 remember me in your pray. **Mirell** adikku tersayang, blajar yang rajin. Keluargaku di **Rewwin** dan **Rungkut** terima kasih atas dukungannya selama di Surabaya Ini, God Bless U All.

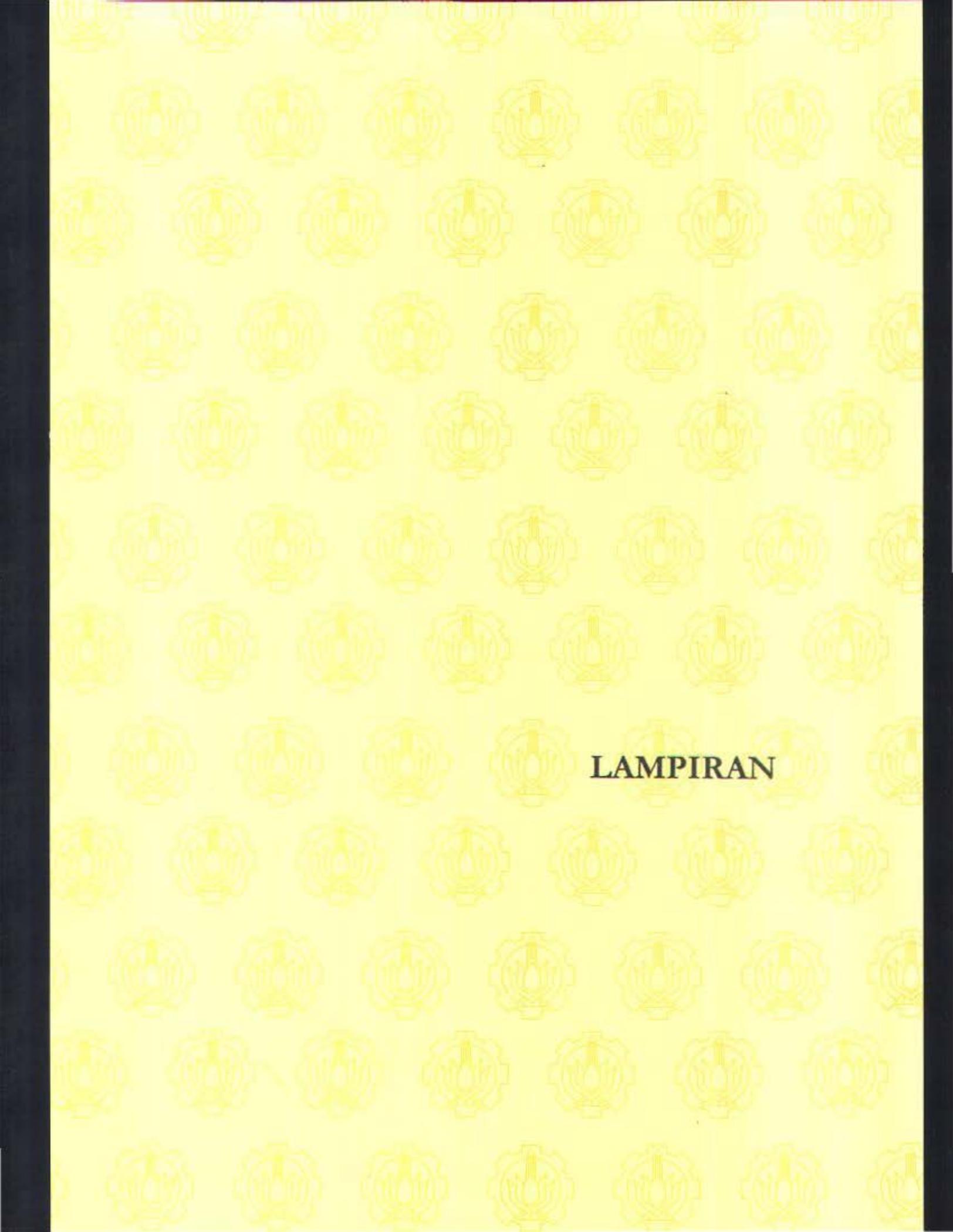
Fitri Indriastiwi, thanx 4 your love 'n affection, 4 your patience 'n kindness, Thanx 4 always reminds me of these, thanx 4 all. I dedicated it especially 4 U. *I love you '2'lcku.*

Pak Budi, terima kasih buat bimbingannya. **Pak Ketut** terima kasih buat sidangnya. **Pak Edijatno** dosen waliku, God Bless You All.

Sahabat-sahabatku, **Yogie** thanx buat saran-sarannya, sukses buat kamu. **Phay** buat komputernya pas sidang, udah nemenin basket, **Aan** buat bantuannya pas sidang, **Hanif** dan **Eko** atas hiburannya (kalo ada audisi pelawak ikut ae). Semua anak-anak J-12+ **Erick**, **Hatta**, **Wilson**, **Jun**, **Beben**, **Andi**, **Fisher**, **Dimas**, **Ricky Boy**, thanx a lot guys. **Mbak 'tut**, **Pak Lubi** thanx 4 always remind me. Semua Temen-teman **S-41** yang udah lulus sukses slalu, yang belum lulus keep on fighting, dan semuanya yang telah membantu. Tuhan memberkati kalian semua. Teman-teman gerejaku, **B'** thanx buat doa 'n supportnya. **VG Immanuel** buat doanya.

Tuhan Yesus memberkati.





LAMPIRAN

Pelat Lantai

| L_n (mm) | S_n (mm) | β | b (mm) | h (mm) | t_{rok} (mm) | be_1 (mm) | be_2 (mm) | be_{pakai} (mm) | b_{slab} (mm) | K | I_b (mm ⁴) | I_s (mm ⁴) | α | α_m | $h_{min,1}$ (mm) | $h_{min,2}$ (mm) | h_{max} (mm) | $h_{min,3}$ (mm) | t (mm) |
|---------------|---------------|---------|-------------|-------------|-------------------|----------------|----------------|----------------------|--------------------|------|-----------------------------|-----------------------------|----------|------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------|
| 3650 | 3150 | 1.16 | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 4100 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.9E+08 | 20.0 | 48.2 | 12 | 80 | 103 | 90 | |
| | | | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3600 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.2E+08 | 22.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 750 | 120 | 1130 | 980 | 980 | 1800 | 1.29 | 2.3E+10 | 2.6E+08 | 87.2 | | | | | | |
| | | | 500 | 700 | 120 | 1080 | 980 | 980 | 2050 | 1.30 | 1.9E+10 | 3.0E+08 | 62.7 | | | | | | |
| 3650 | 3150 | 1.16 | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 4100 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.9E+08 | 20.0 | 32.7 | 17 | 80 | 103 | 90 | |
| | | | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3600 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.2E+08 | 22.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 750 | 120 | 1760 | 1460 | 1460 | 3600 | 1.51 | 2.6E+10 | 5.2E+08 | 51.0 | | | | | | |
| | | | 500 | 700 | 120 | 1660 | 1460 | 1460 | 4100 | 1.52 | 2.2E+10 | 5.9E+08 | 36.8 | | | | | | |
| 3650 | 3000 | 1.22 | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 4100 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.9E+08 | 20.0 | 46.4 | 12 | 79 | 103 | 90 | |
| | | | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3450 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.0E+08 | 23.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 750 | 120 | 1130 | 980 | 980 | 1725 | 1.29 | 2.3E+10 | 2.5E+08 | 91.0 | | | | | | |
| | | | 500 | 650 | 120 | 1030 | 980 | 980 | 2050 | 1.31 | 1.5E+10 | 3.0E+08 | 50.6 | | | | | | |
| 3650 | 3000 | 1.22 | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 4100 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.9E+08 | 20.0 | 32.2 | 16 | 79 | 103 | 90 | |
| | | | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3450 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.0E+08 | 23.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 750 | 120 | 1760 | 1460 | 1460 | 3525 | 1.51 | 2.6E+10 | 5.1E+08 | 52.1 | | | | | | |
| | | | 500 | 650 | 120 | 1560 | 1460 | 1460 | 3725 | 1.53 | 1.8E+10 | 5.4E+08 | 32.7 | | | | | | |
| 3150 | 2850 | 1.11 | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3300 | 1.64 | 1.2E+10 | 4.8E+08 | 24.9 | 37.0 | 13 | 69 | 89 | 90 | |
| | | | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3600 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.2E+08 | 22.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 700 | 120 | 1660 | 1460 | 1460 | 3525 | 1.52 | 2.2E+10 | 5.1E+08 | 42.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 650 | 120 | 1030 | 980 | 980 | 1800 | 1.31 | 1.5E+10 | 2.6E+08 | 57.7 | | | | | | |
| 3150 | 2850 | 1.11 | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3300 | 1.64 | 1.2E+10 | 4.8E+08 | 24.9 | 35.4 | 14 | 69 | 89 | 90 | |
| | | | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3600 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.2E+08 | 22.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 750 | 120 | 1760 | 1460 | 1460 | 3525 | 1.51 | 2.6E+10 | 5.1E+08 | 52.1 | | | | | | |
| | | | 500 | 700 | 120 | 1660 | 1460 | 1460 | 3600 | 1.52 | 2.2E+10 | 5.2E+08 | 41.9 | | | | | | |
| 3300 | 3150 | 1.05 | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3750 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.4E+08 | 21.9 | 44.7 | 12 | 74 | 93 | 90 | |
| | | | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3600 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.2E+08 | 22.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 700 | 120 | 1080 | 980 | 980 | 1800 | 1.30 | 1.9E+10 | 2.6E+08 | 71.5 | | | | | | |
| | | | 500 | 700 | 120 | 1080 | 980 | 980 | 2050 | 1.30 | 1.9E+10 | 3.0E+08 | 62.7 | | | | | | |
| 3300 | 3150 | 1.05 | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3750 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.4E+08 | 21.9 | 31.7 | 17 | 74 | 93 | 90 | |
| | | | 400 | 600 | 120 | 1360 | 1360 | 1360 | 3600 | 1.64 | 1.2E+10 | 5.2E+08 | 22.8 | | | | | | |
| | | | 500 | 700 | 120 | 1660 | 1460 | 1460 | 3600 | 1.52 | 2.2E+10 | 5.2E+08 | 41.9 | | | | | | |
| | | | 500 | 700 | 120 | 1660 | 1460 | 1460 | 3750 | 1.52 | 2.2E+10 | 5.4E+08 | 40.2 | | | | | | |

Tabel Perhitungan Momen Pelat lantai

DL = 406 kg/m
 LL = 400 kg/m
 U = 1127.2 kg/m

| Tipe Pelat | Letak | L_y (m) | L_x (m) | β | Daerah | x | M_u (kgm) | M_u (Nmm) |
|------------|-----------|--------------|--------------|---------|------------|-------|----------------|----------------|
| A | eksterior | 4.10 | 3.60 | 1.1 | tumpuan x | -55.0 | -803.47 | -7.87E+06 |
| | | 4.10 | 3.60 | | lapangan x | 55.0 | 803.47 | 7.87E+06 |
| | | 4.10 | 3.60 | | tumpuan y | -50.0 | -730.43 | -7.16E+06 |
| | | 4.10 | 3.60 | | lapangan y | 50.0 | 730.43 | 7.16E+06 |
| | interior | 4.10 | 3.60 | 1.1 | tumpuan x | -46.0 | -671.99 | -6.59E+06 |
| | | 4.10 | 3.60 | | lapangan x | 46.0 | 671.99 | 6.59E+06 |
| | | 4.10 | 3.60 | | tumpuan y | -38.0 | -555.12 | -5.44E+06 |
| | | 4.10 | 3.60 | | lapangan y | 38.0 | 555.12 | 5.44E+06 |
| B | eksterior | 4.10 | 3.45 | 1.2 | tumpuan x | -61.0 | -818.41 | -8.02E+06 |
| | | 4.10 | 3.45 | | lapangan x | 61.0 | 818.41 | 8.02E+06 |
| | | 4.10 | 3.45 | | tumpuan y | -51.0 | -684.24 | -6.71E+06 |
| | | 4.10 | 3.45 | | lapangan y | 51.0 | 684.24 | 6.71E+06 |
| | interior | 4.10 | 3.45 | 1.2 | tumpuan x | -46.0 | -617.16 | -6.05E+06 |
| | | 4.10 | 3.45 | | lapangan x | 46.0 | 617.16 | 6.05E+06 |
| | | 4.10 | 3.45 | | tumpuan y | -38.0 | -509.83 | -5.00E+06 |
| | | 4.10 | 3.45 | | lapangan y | 38.0 | 509.83 | 5.00E+06 |
| C | eksterior | 3.60 | 3.30 | 1.1 | tumpuan x | -46.0 | -564.66 | -5.53E+06 |
| | | 3.60 | 3.30 | | lapangan x | 46.0 | 564.66 | 5.53E+06 |
| | | 3.60 | 3.30 | | tumpuan y | -46.0 | -564.66 | -5.53E+06 |
| | | 3.60 | 3.30 | | lapangan y | 46.0 | 564.66 | 5.53E+06 |
| | interior | 3.60 | 3.30 | 1.1 | tumpuan x | -42.0 | -515.56 | -5.05E+06 |
| | | 3.60 | 3.30 | | lapangan x | 42.0 | 515.56 | 5.05E+06 |
| | | 3.60 | 3.30 | | tumpuan y | -37.0 | -454.18 | -4.45E+06 |
| | | 3.60 | 3.30 | | lapangan y | 37.0 | 454.18 | 4.45E+06 |
| D | eksterior | 3.75 | 3.60 | 1.0 | tumpuan x | -38.0 | -555.12 | -5.44E+06 |
| | | 3.75 | 3.60 | | lapangan x | 38.0 | 555.12 | 5.44E+06 |
| | | 3.75 | 3.60 | | tumpuan y | -43.0 | -628.17 | -6.16E+06 |
| | | 3.75 | 3.60 | | lapangan y | 43.0 | 628.17 | 6.16E+06 |
| | interior | 3.75 | 3.60 | 1.0 | tumpuan x | -36.0 | -525.91 | -5.15E+06 |
| | | 3.75 | 3.60 | | lapangan x | 36.0 | 525.91 | 5.15E+06 |
| | | 3.75 | 3.60 | | tumpuan y | -36.0 | -525.91 | -5.15E+06 |
| | | 3.75 | 3.60 | | lapangan y | 36.0 | 525.91 | 5.15E+06 |

zan Tulangan Pelat lantai

f_c MPa $b = 1000$ mm
 f_y MPa $t = 12$ mm
 s_x mm $d_x = 95$ mm
 s_y mm $d_y = 85$ mm
 m $m = 9.412$

| L_y (m) | L_x (m) | L_y/L_x | Daerah | M_u (Nmm) | M_n (Nmm) | R_n | ρ_{perlu} | ρ_{pakai} | As per (mm ²) | Dipakai | As pak (mm ²) | As sst (mm ²) | Dipakai | As pak (mm ²) |
|--------------|--------------|-----------|------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|
| 4.10 | 3.60 | 1.1 | tumpuan x | -8.03E+06 | -1.00E+07 | 1.11284 | 0.0035 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.60 | | lapangan x | 8.03E+06 | 1.00E+07 | -1.11284 | -0.0034 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.60 | | tumpuan y | -7.30E+06 | -9.13E+06 | 1.01167 | 0.0032 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.60 | | lapangan y | 7.30E+06 | 9.13E+06 | -1.01167 | -0.0031 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.60 | 1.1 | tumpuan x | -6.72E+06 | -8.40E+06 | 0.93074 | 0.0029 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.60 | | lapangan x | 6.72E+06 | 8.40E+06 | -0.93074 | -0.0029 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.60 | | tumpuan y | -5.55E+06 | -6.94E+06 | 0.76887 | 0.0024 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.60 | | lapangan y | 5.55E+06 | 6.94E+06 | -0.76887 | -0.0024 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.45 | 1.2 | tumpuan x | -8.18E+06 | -1.02E+07 | 1.13353 | 0.0036 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.45 | | lapangan x | 8.18E+06 | 1.02E+07 | -1.13353 | -0.0035 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.45 | | tumpuan y | -6.84E+06 | -8.55E+06 | 0.94770 | 0.0030 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.45 | | lapangan y | 6.84E+06 | 8.55E+06 | -0.94770 | -0.0029 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.45 | 1.2 | tumpuan x | -6.17E+06 | -7.71E+06 | 0.85479 | 0.0027 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.45 | | lapangan x | 6.17E+06 | 7.71E+06 | -0.85479 | -0.0026 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.45 | | tumpuan y | -5.10E+06 | -6.37E+06 | 0.70613 | 0.0022 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 4.10 | 3.45 | | lapangan y | 5.10E+06 | 6.37E+06 | -0.70613 | -0.0022 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 3.60 | 3.30 | 1.1 | tumpuan x | -5.65E+06 | -7.06E+06 | 0.78208 | 0.0025 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 3.60 | 3.30 | | lapangan x | 5.65E+06 | 7.06E+06 | -0.78208 | -0.0024 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 3.60 | 3.30 | | tumpuan y | -5.65E+06 | -7.06E+06 | 0.78208 | 0.0025 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 3.60 | 3.30 | | lapangan y | 5.65E+06 | 7.06E+06 | -0.78208 | -0.0024 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 3.60 | 3.30 | 1.1 | tumpuan x | -5.16E+06 | -6.44E+06 | 0.71407 | 0.0023 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 3.60 | 3.30 | | lapangan x | 5.16E+06 | 6.44E+06 | -0.71407 | -0.0022 | 0.0058 | 551.00 | φ10 - 140 | 560.71 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 3.60 | 3.30 | | tumpuan y | -4.54E+06 | -5.68E+06 | 0.62906 | 0.0020 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |
| 3.60 | 3.30 | | lapangan y | 4.54E+06 | 5.68E+06 | -0.62906 | -0.0019 | 0.0058 | 493.00 | φ10 - 150 | 523.33 | 240.00 | φ8 - 200 | 251.2 |

MENCARI PUSAT MASSA

Lantai Atap

| Jenis Beban | | W (kg) | x (m) | y (m) | W.x (kgm) | W.y (kgm) | MMI (kg m ²) |
|------------------------|------------------------|-----------|----------|----------|--------------|--------------|-----------------------------|
| Beban Mati Pelat Atap | = 24.9 35.7 348 | 309347.64 | 12.45 | 17.85 | 3851378.1 | 5521855.37 | 2078620485 |
| | = 10 6.9 -348 | -24012 | 19.9 | 32.25 | -477838.8 | -774387 | -1119015 |
| Beban Hidup Pelat Atap | = 24.9 35.7 120 | 106671.6 | 12.45 | 17.85 | 1328061.4 | 1904088.06 | 716765685 |
| | = 10 6.9 -120 | -8280 | 19.9 | 32.25 | -164772 | -267030 | -383708 |
| Balok Pratekan 65/130 | = 0.6 1.3 24.9 2400 3 | 139838.4 | 12.45 | 14.4 | 1740988.1 | 2013672.96 | 738967 |
| Balok Induk 40/65 | = 0.4 0.65 16.7 2400 2 | 20841.6 | 16.55 | 21.50 | 344928.48 | 448094.4 | 90637 |
| | = 0.4 0.65 6.9 2400 4 | 17222.4 | 12 | 32.25 | 206668.8 | 555422.4 | 7278 |
| Balok Induk 50/75 | = 0.4 0.75 8.2 2400 3 | 17712 | 4.1 | 21.5 | 72619.2 | 380808 | 127315 |
| Balok Induk 50/70 | = 0.4 0.7 28.8 2400 5 | 96768 | 13.92 | 14.4 | 1347010.6 | 1393459.2 | 713558 |
| Balok Anak 40/60 | = 0.4 0.6 24.9 2400 4 | 57369.6 | 12.45 | 14.4 | 714251.52 | 826122.24 | 303071 |
| | = 0.4 0.6 28.8 2400 3 | 49766.4 | 11.3 | 14.4 | 562360.32 | 716636.16 | 354753 |
| | = 0.4 0.6 6.9 2400 2 | 7948.8 | 7.825 | 32.25 | 62199.36 | 256348.8 | 18648 |
| | = 0.4 0.6 14.9 2400 1 | 8582.4 | 7.45 | 32.25 | 63938.88 | 276782.4 | 35807 |
| Kolom 60/60 | = 0.6 0.6 2.5 2400 15 | 32400 | 13.92 | 21.5 | 451008 | 696600 | 55005 |
| Kolom 60/90 | = 0.9 0.9 2.5 2400 6 | 29160 | 12.45 | 14.4 | 363042 | 419904 | 14733 |
| Total | | 861336.84 | | | 10465844 | 14368377 | 2796341221 |
| Koordinat titik pusat | | | | 12.151 | 16.6815 | | |

Lantai 7

| Jenis Beban | | W (kg) | x (m) | y (m) | W.x (kgm) | W.y (kgm) | MMI (kg m ²) |
|-----------------------|------------------------|------------|----------|----------|--------------|--------------|-----------------------------|
| Beban Atap | = | 861336.84 | 12.151 | 16.6815 | 10465844 | 14368377 | |
| Beban Mati Pelat | = 24.9 35.7 406 | 360905.58 | 12.45 | 17.85 | 4493274.5 | 6442164.6 | 2425057030 |
| | = 10 6.9 -406 | -28014 | 19.9 | 32.25 | -557478.6 | -903451.5 | -1305149 |
| Beban Hidup Pelat | = 24.9 35.7 400 | 355572 | 12.45 | 17.85 | 4426871.4 | 6346960.2 | 2389218748 |
| | = 10 6.9 -400 | -27600 | 19.9 | 32.25 | -549240 | -890100 | -1285858 |
| Balok Pratekan 65/130 | = 0.6 1.3 24.9 2400 3 | 139838.4 | 12.45 | 14.4 | 1740988.1 | 2013672.96 | 738889 |
| Balok Induk 40/65 | = 0.4 0.65 16.7 2400 2 | 20841.6 | 16.55 | 21.50 | 344928.48 | 448094.4 | 90462 |
| | = 0.4 0.65 6.9 2400 4 | 17222.4 | 12 | 32.25 | 206668.8 | 555422.4 | 7280 |
| Balok Induk 50/75 | = 0.4 0.75 8.2 2400 3 | 17712 | 4.1 | 21.5 | 72619.2 | 380808 | 127585 |
| Balok Induk 50/70 | = 0.4 0.7 28.8 2400 5 | 96768 | 13.92 | 14.4 | 1347010.6 | 1393459.2 | 713234 |
| Balok Anak 40/60 | = 0.4 0.6 24.9 2400 4 | 57369.6 | 12.45 | 14.4 | 714251.52 | 826122.24 | 303040 |
| | = 0.4 0.6 28.8 2400 3 | 49766.4 | 11.3 | 14.4 | 562360.32 | 716636.16 | 354835 |
| | = 0.4 0.6 6.9 2400 2 | 7948.8 | 7.825 | 32.25 | 62199.36 | 256348.8 | 18710 |
| | = 0.4 0.6 14.9 2400 1 | 8582.4 | 7.45 | 32.25 | 63938.88 | 276782.4 | 35881 |
| Kolom 60/60 | = 0.6 0.6 5 2400 15 | 64800 | 13.92 | 21.5 | 902016 | 1393200 | 109769 |
| Kolom 60/90 | = 0.9 0.9 5 2400 6 | 58320 | 12.45 | 14.4 | 726084 | 839808 | 29428 |
| Dinding | = 24.9 2 1250 | 62250 | 12.45 | 17.85 | 775012.5 | 1111162.5 | 189039829 |
| | = 35.7 2 1250 | 89250 | 12.45 | 17.85 | 1111162.5 | 1593112.5 | 557134265 |
| Total | | 2212870.02 | | | 26908511 | 37168579.9 | 5560387979 |
| Koordinat titik pusat | | | | 12.16 | 16.7965 | | |

Lantai 6

| Jenis Beban | | W (kg) | x (m) | y (m) | Wx (kgm) | Wy (kgm) | MMI (kg m ²) |
|-----------------------|------------------------|------------|----------|----------|-------------|-------------|-----------------------------|
| Beban Lantai 7 | = | 2212870.02 | 12.16 | 16.7965 | 26908511 | 37168579.9 | |
| Beban Mati Pelat | = 24.9 35.7 406 | 360905.58 | 12.45 | 17.85 | 4493274.5 | 6442164.6 | 2425056982 |
| | = 10 6.9 -406 | -28014 | 19.9 | 32.25 | -557478.6 | -903451.5 | -1305558 |
| Beban Hidup Pelat | = 24.9 35.7 400 | 355572 | 12.45 | 17.85 | 4426871.4 | 6346960.2 | 2389218948 |
| | = 10 6.9 -400 | -27600 | 19.9 | 32.25 | -549240 | -890100 | -1286260 |
| Balok Pratekan 65/130 | = 0.6 1.3 24.9 2400 3 | 139838.4 | 12.45 | 14.4 | 1740988.1 | 2013672.96 | 738871 |
| Balok Induk 40/65 | = 0.4 0.65 16.7 2400 2 | 20841.6 | 16.55 | 21.50 | 344928.48 | 448094.4 | 90420 |
| | = 0.4 0.65 6.9 2400 4 | 17222.4 | 12 | 32.25 | 206668.8 | 555422.4 | 7280 |
| Balok Induk 50/75 | = 0.4 0.75 8.2 2400 3 | 17712 | 4.1 | 21.5 | 72619.2 | 380808 | 127651 |
| Balok Induk 50/70 | = 0.4 0.7 28.8 2400 5 | 96768 | 13.92 | 14.4 | 1347010.6 | 1393459.2 | 713156 |
| Balok Anak 40/60 | = 0.4 0.6 24.9 2400 4 | 57369.6 | 12.45 | 14.4 | 714251.52 | 826122.24 | 303032 |
| | = 0.4 0.6 28.8 2400 3 | 49766.4 | 11.3 | 14.4 | 562360.32 | 716636.16 | 354855 |
| | = 0.4 0.6 6.9 2400 2 | 7948.8 | 7.825 | 32.25 | 62199.36 | 256348.8 | 18725 |
| | = 0.4 0.6 14.9 2400 1 | 8582.4 | 7.45 | 32.25 | 63938.88 | 276782.4 | 35898 |
| Kolom 60/60 | = 0.6 0.6 5 2400 15 | 64800 | 13.92 | 21.5 | 902016 | 1393200 | 109717 |
| Kolom 60/90 | = 0.9 0.9 5 2400 6 | 58320 | 12.45 | 14.4 | 726084 | 839808 | 29428 |
| Dinding | = 24.9 2 1250 | 62250 | 12.45 | 17.85 | 775012.5 | 1111162.5 | 189039829 |
| | = 35.7 2 1250 | 89250 | 12.45 | 17.85 | 1111162.5 | 1593112.5 | 557134264 |
| Total | | 3564403 | | | 43351179 | 59968782.7 | 5560387237 |
| Koordinat titik pusat | | | 12.162 | 16.8244 | | | |

Lantai 5

| Jenis Beban | | W (kg) | x (m) | y (m) | Wx (kgm) | Wy (kgm) | MMI (kg m ²) |
|-----------------------|------------------------|------------|----------|----------|-------------|-------------|-----------------------------|
| Beban Lantai 6 | = | 3564403.2 | 12.162 | 16.8244 | 43351179 | 59968782.7 | |
| Beban Mati Pelat | = 24.9 35.7 406 | 360905.58 | 12.45 | 17.85 | 4493274.5 | 6442164.6 | 2425056960 |
| | = 10 6.9 -406 | -28014 | 19.9 | 32.25 | -557478.6 | -903451.5 | -1305006 |
| Beban Hidup Pelat | = 24.9 35.7 400 | 355572 | 12.45 | 17.85 | 4426871.4 | 6346960.2 | 2389218680 |
| | = 10 6.9 -400 | -27600 | 19.9 | 32.25 | -549240 | -890100 | -1285717 |
| Balok Pratekan 65/130 | = 0.6 1.3 24.9 2400 3 | 139838.4 | 12.45 | 14.4 | 1740988.1 | 2013672.96 | 738862 |
| Balok Induk 40/65 | = 0.4 0.65 16.7 2400 2 | 20841.6 | 16.55 | 21.50 | 344928.48 | 448094.4 | 90401 |
| | = 0.4 0.65 6.9 2400 4 | 17222.4 | 12 | 32.25 | 206668.8 | 555422.4 | 7280 |
| Balok Induk 50/75 | = 0.4 0.75 8.2 2400 3 | 17712 | 4.1 | 21.5 | 72619.2 | 380808 | 127680 |
| Balok Induk 50/70 | = 0.4 0.7 28.8 2400 5 | 96768 | 13.92 | 14.4 | 1347010.6 | 1393459.2 | 713121 |
| Balok Anak 40/60 | = 0.4 0.6 24.9 2400 4 | 57369.6 | 12.45 | 14.4 | 714251.52 | 826122.24 | 303029 |
| | = 0.4 0.6 28.8 2400 3 | 49766.4 | 11.3 | 14.4 | 562360.32 | 716636.16 | 354864 |
| | = 0.4 0.6 6.9 2400 2 | 7948.8 | 7.825 | 32.25 | 62199.36 | 256348.8 | 18732 |
| | = 0.4 0.6 14.9 2400 1 | 8582.4 | 7.45 | 32.25 | 63938.88 | 276782.4 | 35906 |
| Kolom 60/60 | = 0.6 0.6 5 2400 15 | 64800 | 13.92 | 21.5 | 902016 | 1393200 | 109769 |
| Kolom 60/90 | = 0.9 0.9 5 2400 6 | 58320 | 12.45 | 14.4 | 726084 | 839808 | 29428 |
| Dinding | = 24.9 2 1250 | 62250 | 12.45 | 17.85 | 775012.5 | 1111162.5 | 189039829 |
| | = 35.7 2 1250 | 89250 | 12.45 | 17.85 | 1111162.5 | 1593112.5 | 557134264 |
| Total | | 4915936.38 | | | 59793846 | 82768985.6 | 5560388083 |
| Koordinat titik pusat | | | 12.163 | 16.8369 | | | |

Lantai 4

| Jenis Beban | | W | x | y | W.x | W.y | MMI (kg m dt ²) |
|-----------------------|------------------------|------------|--------|---------|-----------|------------|--------------------------------|
| | | (kg) | (m) | (m) | (kgm) | (kgm) | |
| Beban Lantai 5 | = | 4915936.38 | 12.163 | 16.8369 | 59793846 | 82768985.6 | |
| Beban Mati Pelat | = 24.9 35.7 406 | 360905.58 | 12.45 | 17.85 | 4493274.5 | 6442164.6 | 2425056948 |
| | = 10 6.9 -406 | -28014 | 19.9 | 32.25 | -557478.6 | -903451.5 | -1304981 |
| Beban Hidup Pelat | = 24.9 35.7 400 | 355572 | 12.45 | 17.85 | 4426871.4 | 6346960.2 | 2389218668 |
| | = 10 6.9 -400 | -27600 | 19.9 | 32.25 | -549240 | -890100 | -1285692 |
| Balok Pratekan 65/130 | = 0.6 1.3 24.9 2400 3 | 139838.4 | 12.45 | 14.4 | 1740988.1 | 2013672.96 | 738858 |
| Balok Induk 40/65 | = 0.4 0.65 16.7 2400 2 | 20841.6 | 16.55 | 21.50 | 344928.48 | 448094.4 | 90390 |
| | = 0.4 0.65 6.9 2400 4 | 17222.4 | 12 | 32.25 | 206668.8 | 555422.4 | 7280 |
| Balok Induk 50/75 | = 0.4 0.75 8.2 2400 3 | 17712 | 4.1 | 21.5 | 72619.2 | 380808 | 127697 |
| Balok Induk 50/70 | = 0.4 0.7 28.8 2400 5 | 96768 | 13.92 | 14.4 | 1347010.6 | 1393459.2 | 713101 |
| Balok Anak 40/60 | = 0.4 0.6 24.9 2400 4 | 57369.6 | 12.45 | 14.4 | 714251.52 | 826122.24 | 303027 |
| | = 0.4 0.6 28.8 2400 3 | 49766.4 | 11.3 | 14.4 | 562360.32 | 716636.16 | 354869 |
| | = 0.4 0.6 6.9 2400 2 | 7948.8 | 7.825 | 32.25 | 62199.36 | 256348.8 | 18736 |
| | = 0.4 0.6 14.9 2400 1 | 8582.4 | 7.45 | 32.25 | 63938.88 | 276782.4 | 35911 |
| Kolom 60/60 | = 0.6 0.6 5 2400 15 | 64800 | 13.92 | 21.5 | 902016 | 1393200 | 109680 |
| Kolom 60/90 | = 0.9 0.9 5 2400 6 | 58320 | 12.45 | 14.4 | 726084 | 839808 | 29415 |
| Dinding | = 24.9 2 1250 | 62250 | 12.45 | 17.85 | 775012.5 | 1111162.5 | 189039828 |
| | = 35.7 2 1250 | 89250 | 12.45 | 17.85 | 1111162.5 | 1593112.5 | 557134263 |
| Total | | 6267469.56 | | | 76236514 | 105569188 | |
| Koordinat titik pusat | | | 12.164 | 16.844 | | | 5560387998 |

Lantai 3

| Jenis Beban | | W | x | y | W.x | W.y | MMI (kg m dt ²) |
|-------------------|-------------------------|------------|--------|---------|------------|------------|--------------------------------|
| | | (kg) | (m) | (m) | (kgm) | (kgm) | |
| Beban Lantai 4 | = | 6267469.56 | 12.164 | 31.244 | 76236514 | 195820750 | |
| Beban Mati Pelat | = 54 50.1 406 | 1098392.4 | 27 | 25.05 | 29656595 | 27514729.6 | 68371445116 |
| | = 7.5 6.9 406 | 21010.5 | 57.75 | 46.65 | 1213356.4 | 980139.825 | 3917763 |
| | = 8.2 14.4 -406 | -47940.48 | 4.1 | 7.2 | -196555.97 | -345171.46 | -6588117 |
| | = 13.4 14.4 -406 0.5 | -39170.88 | 12.67 | 4.8 | -496295.05 | -188020.22 | -12502454 |
| | = 10 6.9 -406 | -28014 | 19.9 | 46.65 | -557478.6 | -1306853.1 | -1147690 |
| Beban Hidup Pelat | = 54 50.1 400 | 1082160 | 27 | 25.05 | 29218320 | 27108108 | 67361029671 |
| | = 7.5 6.9 400 | 20700 | 57.75 | 46.65 | 1195425 | 965655 | 3859869 |
| | = 8.2 14.4 -400 | -47232 | 4.1 | 7.2 | -193651.2 | -340070.4 | -6490748 |
| | = 13.4 14.4 -400 0.5 | -38592 | 12.67 | 4.8 | -488960.64 | -185241.6 | -12317679 |
| | = 10 6.9 -400 | -27600 | 19.9 | 46.65 | -549240 | -1287540 | -1130724 |
| Balok Induk 40/65 | = 0.4 0.65 6.9 2400 9 | 38750.4 | 31.17 | 46.65 | 1207850 | 1807706.16 | 733560 |
| | = 0.4 0.65 23.3 2400 8 | 116313.6 | 19.85 | 22.4625 | 2308825 | 2612694.24 | 592063 |
| | = 0.4 0.65 6.7 2400 -1 | -4180.8 | 11.55 | 7.2 | -48288.24 | -30101.76 | -17236 |
| | = 0.4 0.65 13.4 2400 -1 | -8361.6 | 14.9 | 0 | -124587.84 | 0 | -18594 |
| Balok Induk 55/85 | = 0.5 0.85 19.67 2400 1 | 20063.4 | 14.9 | 7.2 | 298944.66 | 144456.48 | 82591 |
| Balok Induk 50/75 | = 0.4 0.75 8.2 2400 6 | 35424 | 4.1 | 32.35 | 145238.4 | 1145966.4 | 688806 |
| | = 0.4 0.7 28.8 2400 9 | 174182.4 | 26.73 | 28.8 | 4655895.6 | 5016453.12 | 2678298 |
| | = 0.4 0.7 14.4 2400 6 | 58060.8 | 36.25 | 7.2 | 2104704 | 418037.76 | 2141789 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|------|------|-------|------|----|-----------|-------|---------|-----------|------------|--------------|--|
| Balok Induk 50/70 | = | 0.4 | 0.7 | 7.2 | 2400 | 1 | 4838.4 | 14.9 | 10.8 | 72092.16 | 52254.72 | 6358 | |
| | = | 0.4 | 0.7 | 22.5 | 2400 | 8 | 120960 | 42.75 | 22.4625 | 5171040 | 2717064 | 8266597 | |
| | = | 0.4 | 0.7 | 7.5 | 2400 | 2 | 10080 | 57.75 | 46.65 | 582120 | 470232 | 1655026 | |
| Balok Anak 40/60 | = | 0.4 | 0.6 | 54 | 2400 | 7 | 217728 | 27 | 25.18 | 5878656 | 5482391.04 | 7320972 | |
| | = | 0.4 | 0.6 | 50 | 2400 | 7 | 201600 | 27.19 | 25 | 5481504 | 5040000 | 6138986 | |
| | = | 0.4 | 0.6 | 6.9 | 2400 | 1 | 3974.4 | 57.75 | 46.65 | 229521.6 | 185405.76 | 652440 | |
| | = | 0.4 | 0.6 | 7.5 | 2400 | 1 | 4320 | 57.75 | 46.65 | 249480 | 201528 | 709465 | |
| | = | 0.4 | 0.6 | 11.55 | 2400 | -1 | -6652.8 | 5.775 | 10.8 | -38419.92 | -71850.24 | -103731 | |
| | = | 0.4 | 0.6 | 18.25 | 2400 | -1 | -10512 | 9.125 | 3.6 | -95922 | -37843.2 | -107973 | |
| | = | 0.4 | 0.6 | 14.4 | 2400 | -1 | -8294.4 | 4.1 | 7.2 | -34007.04 | -59719.68 | -170665 | |
| | = | 0.4 | 0.6 | 10.8 | 2400 | -1 | -6220.8 | 11.55 | 5.4 | -71850.24 | -33592.32 | -29600 | |
| Kolom 60/60 | = | 0.6 | 0.6 | 2 | 2400 | 32 | 55296 | 42.75 | 46.26 | 2363904 | 2557992.96 | 3887830 | |
| | = | 0.6 | 0.6 | 2 | 2400 | 2 | 3456 | 61.5 | 28.8 | 212544 | 99532.8 | 676654 | |
| | = | 0.6 | 0.6 | 2 | 2400 | 9 | 15552 | 14.9 | 3.6 | 231724.8 | 55987.2 | 20818 | |
| | = | 0.6 | 0.6 | 2 | 2400 | 4 | 6912 | 23.25 | 35.9 | 160704 | 248140.8 | 22450 | |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4.5 | 2400 | 15 | 58320 | 13.92 | 21.5 | 811814.4 | 1253880 | 165397 | |
| Kolom 65/65 | = | 0.65 | 0.65 | 2 | 2400 | 1 | 2028 | 14.9 | 7.2 | 30217.2 | 14601.6 | 2133 | |
| Kolom 60/90 | = | 0.9 | 0.9 | 4.5 | 2400 | 6 | 52488 | 12.45 | 28.8 | 653475.6 | 1511654.4 | 173608 | |
| Dinding | = | | 24.9 | 2 | 1250 | | 62250 | 12.45 | 17.85 | 775012.5 | 1111162.5 | 189054505 | |
| | = | | 35.7 | 2 | 1250 | | 89250 | 12.45 | 17.85 | 1111162.5 | 1593112.5 | 557155247 | |
| Total | | | | | | | 9566734.5 | | | 169323540 | 282191689 | 136482452526 | |
| Koordinat titik pusat | | | | | | | | 17.70 | 29.4972 | | | | |

Lantai 2

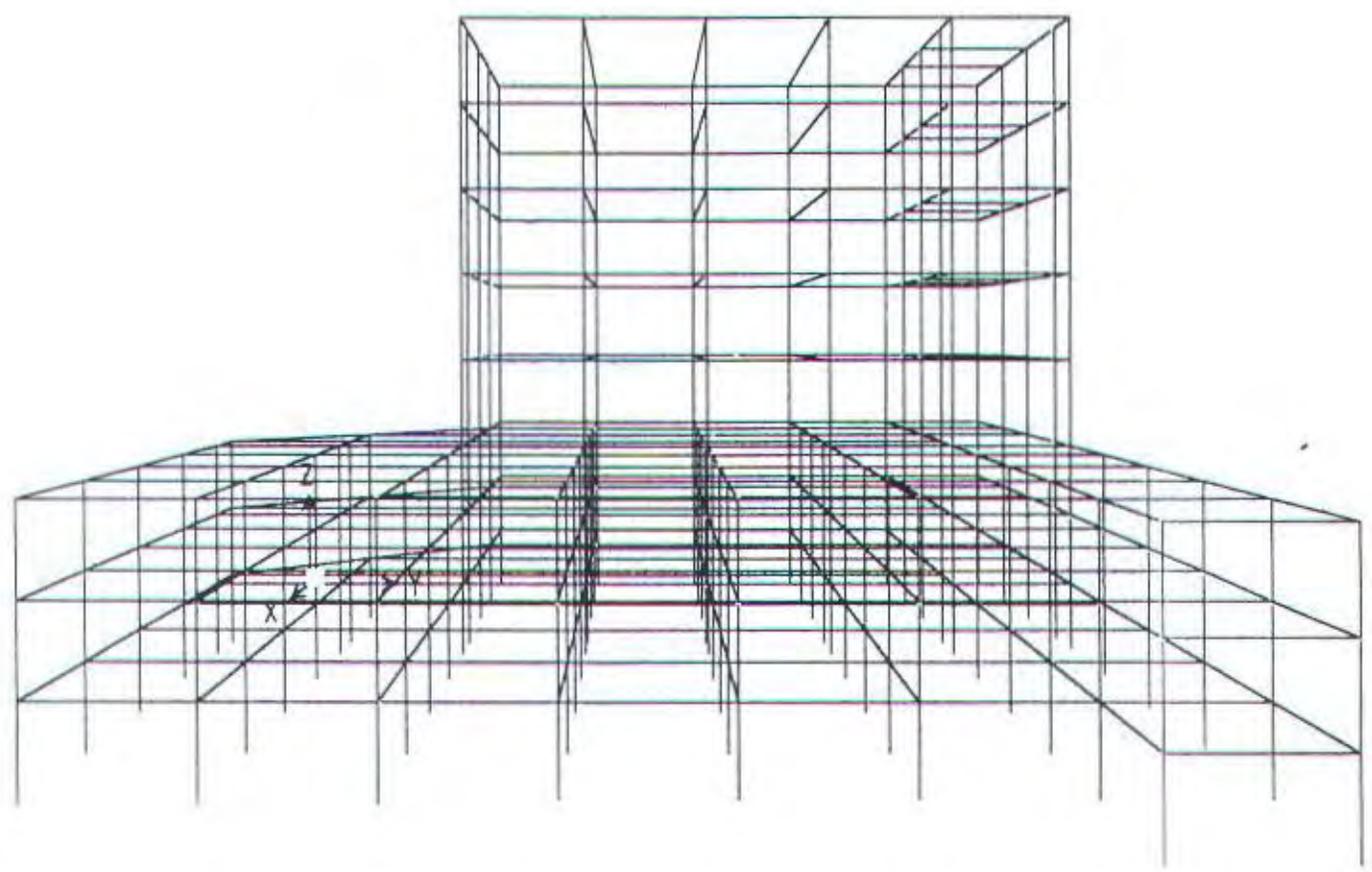
| Jenis Beban | | W (kg) | x (m) | y (m) | W.x (kgm) | W.y (kgm) | MMI (kg m ²) | | | | | |
|-------------------|---|-----------|----------|----------|--------------|--------------|-----------------------------|------------|------------|-------------|------------|---------|
| Beban Lantai 3 | = | 9566734.5 | 17.699 | 43.8972 | 169323540 | 419952666 | | | | | | |
| Beban Mati Pelat | = | 54 | 50.1 | 406 | 1098392.4 | 27 | 25.05 | 29656595 | 27514729.6 | 68365817553 | | |
| | = | 7.5 | 6.9 | 406 | 21010.5 | 57.75 | 46.65 | 1213356.4 | 980139.825 | 3377877 | | |
| | = | 8.2 | 14.4 | -406 | -47940.48 | 4.1 | 7.2 | -196555.97 | -345171.46 | -7076035 | | |
| | = | 13.4 | 14.4 | -406 | -39170.88 | 12.67 | 4.8 | -496295.05 | -188020.22 | -12676514 | | |
| | = | 10 | 6.9 | -406 | -28014 | 19.9 | 46.65 | -557478.6 | -1306853.1 | -1137389 | | |
| Beban Hidup Pelat | = | 54 | 50.1 | 400 | 1082160 | 27 | 25.05 | 29218320 | 27108108 | 67355485277 | | |
| | = | 7.5 | 6.9 | 400 | 20700 | 57.75 | 46.65 | 1195425 | 965655 | 3327959 | | |
| | = | 8.2 | 14.4 | -400 | -47232 | 4.1 | 7.2 | -193651.2 | -340070.4 | -6971448 | | |
| | = | 13.4 | 14.4 | -400 | -38592 | 12.67 | 4.8 | -488960.64 | -185241.6 | -12489159 | | |
| | = | 10 | 6.9 | -400 | -27600 | 19.9 | 46.65 | -549240 | -1287540 | -1120580 | | |
| Balok Induk 40/65 | = | 0.4 | 0.65 | 6.9 | 2400 | 9 | 38730.4 | 31.17 | 46.65 | 1207850 | 1807706.16 | 426732 |
| | = | 0.4 | 0.65 | 23.3 | 2400 | 8 | 116313.6 | 19.85 | 22.4625 | 2308825 | 2612694.24 | 552426 |
| | = | 0.4 | 0.65 | 6.7 | 2400 | -1 | -4180.8 | 11.55 | 7.2 | -48288.24 | -30101.76 | -38481 |
| | = | 0.4 | 0.65 | 13.4 | 2400 | -1 | -8361.6 | 14.9 | 0 | -124587.84 | 0 | -42740 |
| Balok Induk 55/85 | = | 0.5 | 0.85 | 19.67 | 2400 | 1 | 20063.4 | 14.9 | 7.2 | 298944.66 | 144456.48 | 142645 |
| Balok Induk 50/75 | = | 0.4 | 0.75 | 8.2 | 2400 | 6 | 35424 | 4.1 | 32.35 | 145238.4 | 1145966.4 | 1049762 |
| Balok Induk 50/70 | = | 0.4 | 0.7 | 28.8 | 2400 | 9 | 174182.4 | 26.73 | 28.8 | 4655895.6 | 5016453.12 | 1817407 |
| | = | 0.4 | 0.7 | 14.4 | 2400 | 6 | 58060.8 | 36.25 | 7.2 | 2104704 | 418037.76 | 1485724 |
| | = | 0.4 | 0.7 | 7.2 | 2400 | 1 | 4838.4 | 14.9 | 10.8 | 72092.16 | 52254.72 | 21168 |
| | = | 0.4 | 0.7 | 22.5 | 2400 | 8 | 120960 | 42.75 | 22.4625 | 5171040 | 2717064 | 6373211 |
| | = | 0.4 | 0.7 | 7.5 | 2400 | 2 | 10080 | 57.75 | 46.65 | 582120 | 470232 | 1395887 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------------|--------|---------|-----------|------------|--------------|
| Balok Anak 40/60 | = | 0.4 | 0.6 | 54 | 2400 | 7 | 217728 | 27 | 25.18 | 5878656 | 5482391.04 | 6205594 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 50 | 2400 | 7 | 201600 | 27.19 | 25 | 5481504 | 5040000 | 5080633 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 6.9 | 2400 | 1 | 3974.4 | 57.75 | 46.65 | 229521.6 | 185405.76 | 550120 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 7.5 | 2400 | 1 | 4320 | 57.75 | 46.65 | 249480 | 201528 | 598269 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 11.55 | 2400 | -1 | -6652.8 | 5.775 | 10.8 | -38419.92 | -71850.24 | -163607 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 18.25 | 2400 | -1 | -10512 | 9.125 | 3.6 | -95922 | -37843.2 | -179161 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 14.4 | 2400 | -1 | -8294.4 | 4.1 | 7.2 | -34007.04 | -59719.68 | -254648 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 10.8 | 2400 | -1 | -6220.8 | 11.55 | 5.4 | -71850.24 | -33592.32 | -61433 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 3.6 | 2400 | -1 | -2073.6 | 18.25 | 25.05 | -37843.2 | -51943.68 | -1604 |
| Kolom 60/60 | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 32 | 110592 | 42.75 | 46.26 | 4727808 | 5115985.92 | 6043843 |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 2 | 6912 | 61.5 | 28.8 | 425088 | 199065.6 | 1158550 |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 9 | 31104 | 14.9 | 3.6 | 463449.6 | 111974.4 | 133846 |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 4 | 13824 | 23.25 | 35.9 | 321408 | 496281.6 | 8662 |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 15 | 51840 | 13.92 | 21.5 | 721612.8 | 1114560 | 335058 |
| Kolom 65/65 | = | 0.65 | 0.65 | 4 | 2400 | 1 | 4056 | 14.9 | 7.2 | 60434.4 | 29203.2 | 16328 |
| Kolom 60/90 | = | 0.9 | 0.9 | 4 | 2400 | 6 | 46656 | 12.45 | 28.8 | 580867.2 | 1343692.8 | 369289 |
| Dinding | = | 35.7 | 1 | | 1000 | | 35700 | 4.1 | 32.25 | 146370 | 1151325 | 55799921 |
| | = | 14.1 | 1 | | 1000 | | 14100 | 11.55 | 43.05 | 162855 | 607005 | 3443183 |
| | = | 28.8 | 1 | | 1000 | | 28800 | 21.6 | 21.6 | 622080 | 622080 | 29250859 |
| | = | 21.6 | 1 | | 1000 | | 21600 | 24.9 | 25.2 | 537840 | 544320 | 12343060 |
| | = | 10.8 | 1 | | 1000 | | 10800 | 28.2 | 5.4 | 304560 | 58320 | 1548437 |
| | = | 28.8 | 1 | | 1000 | | 28800 | 35.25 | 28.8 | 1015200 | 829440 | 29300463 |
| | = | 14.4 | 1 | | 1000 | | 14400 | 39 | 7.2 | 561600 | 103680 | 3697109 |
| | = | 25.2 | 1 | | 1000 | | 25200 | 42.75 | 12.6 | 1077300 | 317520 | 19697824 |
| | = | 6.9 | 2 | | 1000 | | 13800 | 55.875 | 46.65 | 771075 | 643770 | 3361028 |
| | = | 43.2 | 1 | | 1000 | | 43200 | 54 | 21.6 | 2332800 | 933120 | 99121228 |
| | = | 61.5 | 1 | | 1000 | | 61500 | 30.75 | 50.1 | 1891125 | 3081150 | 284876664 |
| | = | 26.25 | 1 | | 1000 | | 26250 | 48.375 | 43.2 | 1269843.8 | 1134000 | 22316027 |
| | = | 10.05 | 1 | | 1000 | | 10050 | 16.575 | 36 | 166578.75 | 361800 | 1244614 |
| | = | 10.35 | 4 | | 1000 | | 41400 | 30.075 | 25.2 | 1245105 | 1043280 | 86916622 |
| | = | 11.25 | 1 | | 1000 | | 11250 | 48.375 | 18 | 544218.75 | 202500 | 1815728 |
| | = | 8.2 | 1 | | 1000 | | 8200 | 4.1 | 14.4 | 33620 | 118080 | 695615 |
| | = | 32.4 | 1 | | 1000 | | 32400 | 37.8 | 0 | 1224720 | 0 | 41727141 |
| = | 19.67 | 1 | | 1000 | | 19670 | 14.9 | 7.2 | 293083 | 141624 | 9326173 | |
| Total | | | | | | | 13232551.44 | | | 277560650 | 518181318 | 136426042716 |
| Koordinat titik pusat | | | | | | | | 20.976 | 39.1596 | | | |

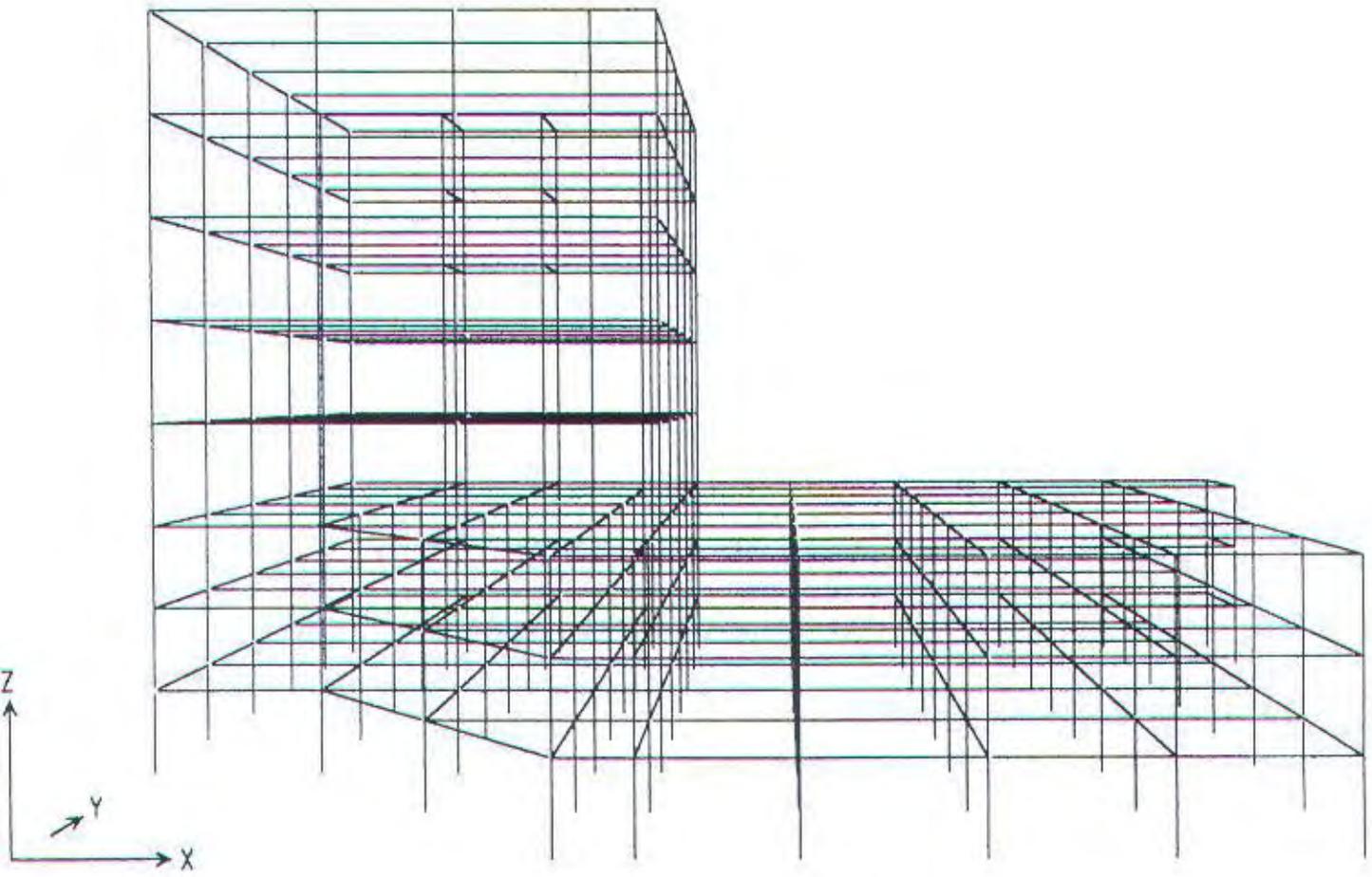
Lantai 1

| Jenis Beban | | W (kg) | x (m) | y (m) | W.x (kgm) | W.y (kgm) | MMI (kg m di ²) | | | |
|-------------------|---|-------------|----------|----------|--------------|--------------|--------------------------------|------------|------------|-------------|
| Beban Lantai 2 | = | 13232551.44 | 20.976 | 53.5596 | 277560650 | 708730059 | | | | |
| Beban Mati Pelat | = | 54 | 50.1 | 406 | 1098392.4 | 27 | 25.05 | 29656595 | 27514729.6 | 68363805889 |
| | = | 7.5 | 6.9 | 406 | 21010.5 | 57.75 | 46.65 | 1213356.4 | 980139.825 | 3109701 |
| | = | 8.2 | 14.4 | -406 | -47940.48 | 4.1 | 7.2 | -196555.97 | -345171.46 | -7377799 |
| | = | 13.4 | 14.4 | -406 | -39170.88 | 12.67 | 4.8 | -496295.05 | -188020.22 | -12803604 |
| | = | 10 | 6.9 | -406 | -28014 | 19.9 | 46.65 | -557478.6 | -1306853.1 | -1156824 |
| Beban Hidup Pelat | = | 54 | 50.1 | 400 | 1082160 | 27 | 25.05 | 29218320 | 27108108 | 67353503346 |
| | = | 7.5 | 6.9 | 400 | 20700 | 57.75 | 46.65 | 1195425 | 965655 | 3063745 |
| | = | 8.2 | 14.4 | -400 | -47232 | 4.1 | 7.2 | -193651.2 | -340070.4 | -7268743 |

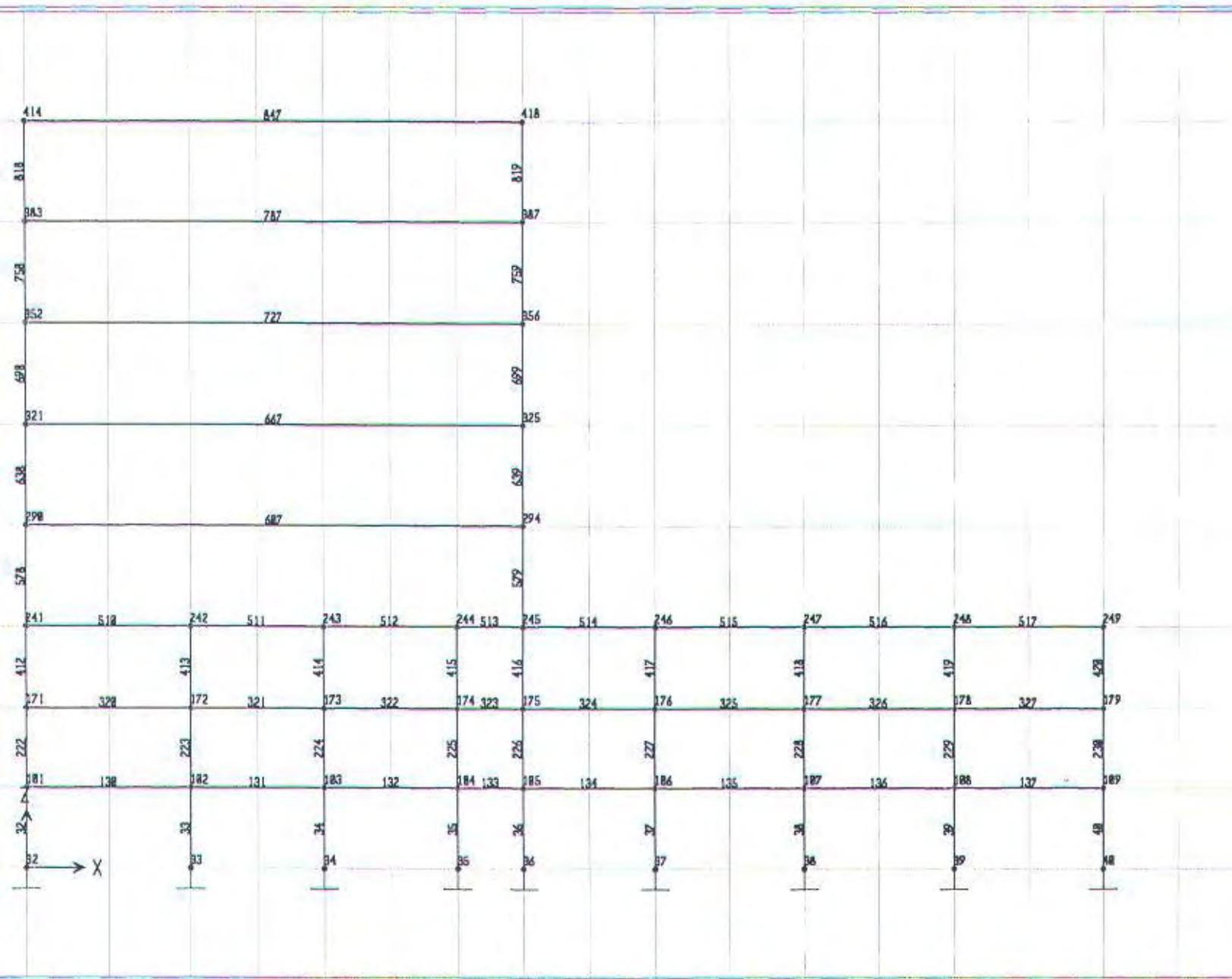
| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|------|-------|-------------|--------|---------|------------|------------|--------------|
| | = | 13.4 | 14.4 | -400 | 0.5 | | -38592 | 12.67 | 4.8 | -488960.64 | -185241.6 | -12614361 |
| | = | 10 | 6.9 | -400 | | | -27600 | 19.9 | 46.65 | -549240 | -1287540 | -1139729 |
| Balok Induk 40/65 | = | 0.4 | 0.65 | 6.9 | 2400 | 9 | 38750.4 | 31.17 | 46.65 | 1207850 | 1807706.16 | 298263 |
| | = | 0.4 | 0.65 | 23.3 | 2400 | 8 | 116313.6 | 19.85 | 22.4625 | 2308825 | 2612694.24 | 635324 |
| | = | 0.4 | 0.65 | 6.7 | 2400 | -1 | -4180.8 | 11.55 | 7.2 | -48288.24 | -30101.76 | -53154 |
| | = | 0.4 | 0.65 | 13.4 | 2400 | -1 | -8361.6 | 14.9 | 0 | -124587.84 | 0 | -62633 |
| Balok Induk 55/85 | = | 0.5 | 0.85 | 19.67 | 2400 | 1 | 20063.4 | 14.9 | 7.2 | 298944.66 | 144456.48 | 192808 |
| Balok Induk 50/75 | = | 0.4 | 0.75 | 8.2 | 2400 | 6 | 35424 | 4.1 | 32.35 | 145238.4 | 1145966.4 | 1273396 |
| Balok Induk 50/70 | = | 0.4 | 0.7 | 28.8 | 2400 | 9 | 174182.4 | 26.75 | 28.8 | 4655895.6 | 5016453.12 | 1515318 |
| | = | 0.4 | 0.7 | 14.4 | 2400 | 6 | 58064.8 | 36.25 | 7.2 | 2104704 | 418037.76 | 1189109 |
| | = | 0.4 | 0.7 | 7.2 | 2400 | 1 | 4838.4 | 14.9 | 10.8 | 72092.16 | 52254.72 | 33679 |
| | = | 0.4 | 0.7 | 22.5 | 2400 | 8 | 120960 | 42.75 | 22.4625 | 5171040 | 2717064 | 5474865 |
| | = | 0.4 | 0.7 | 7.5 | 2400 | 2 | 10080 | 57.75 | 46.65 | 582120 | 470232 | 1267198 |
| Balok Anak 40/60 | = | 0.4 | 0.6 | 54 | 2400 | 7 | 217728 | 27 | 25.18 | 5878656 | 5482391.04 | 5807087 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 50 | 2400 | 7 | 201600 | 27.19 | 25 | 5481504 | 5040000 | 4698057 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 6.9 | 2400 | 1 | 3974.4 | 57.75 | 46.65 | 229521.6 | 185405.76 | 499347 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 7.5 | 2400 | 1 | 4320 | 57.75 | 46.65 | 249480 | 201528 | 543086 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 11.55 | 2400 | -1 | -6652.8 | 5.775 | 10.8 | -38419.92 | -71850.24 | -201045 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 18.25 | 2400 | -1 | -10512 | 9.125 | 3.6 | -95922 | -37843.2 | -226003 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 14.4 | 2400 | -1 | -8294.4 | 4.1 | 7.2 | -34007.04 | -59719.68 | -306339 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 10.8 | 2400 | -1 | -6220.8 | 11.55 | 5.4 | -71850.24 | -33592.32 | -83541 |
| | = | 0.4 | 0.6 | 3.6 | 2400 | -1 | -2073.6 | 18.25 | 25.05 | -37843.2 | -51943.68 | -3936 |
| Kolom 60/60 | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 32 | 110592 | 42.75 | 46.26 | 4727808 | 5115985.92 | 5222118 |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 2 | 6912 | 61.5 | 28.8 | 425088 | 199065.6 | 1061385 |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 9 | 31104 | 14.9 | 3.6 | 463449.6 | 111974.4 | 211331 |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 4 | 13824 | 23.25 | 35.9 | 321408 | 496281.6 | 1896 |
| | = | 0.6 | 0.6 | 4 | 2400 | 15 | 51840 | 13.92 | 21.5 | 721612.8 | 1114560 | 481487 |
| Kolom 65/65 | = | 0.65 | 0.65 | 4 | 2400 | 1 | 4056 | 14.9 | 7.2 | 60434.4 | 29203.2 | 26970 |
| Kolom 60/90 | = | 0.9 | 0.9 | 4 | 2400 | 6 | 46656 | 12.45 | 28.8 | 580867.2 | 1343692.8 | 525363 |
| Dinding | = | | 35.7 | 2 | 1000 | | 71400 | 4.1 | 32.25 | 292740 | 2302650 | 445918038 |
| | = | | 28.8 | 1 | 1000 | | 28800 | 14.9 | 25.2 | 429120 | 725760 | 29265932 |
| | = | | 25.2 | 1 | 1000 | | 25200 | 18.25 | 23.4 | 459900 | 589680 | 19600392 |
| | = | | 32.4 | 1 | 1000 | | 32400 | 24.9 | 19.8 | 806760 | 641520 | 41649718 |
| | = | | 50.1 | 1 | 1000 | | 50100 | 54 | 25.05 | 2705400 | 1255005 | 154398857 |
| | = | | 6.9 | 2 | 1000 | | 13800 | 50.25 | 46.65 | 693450 | 643770 | 3307004 |
| | = | | 61.5 | 1 | 1000 | | 61500 | 30.75 | 50.1 | 1891125 | 3081150 | 284860331 |
| | = | | 22.5 | 1 | 1000 | | 22500 | 50.25 | 43.2 | 1130625 | 972000 | 14092761 |
| | = | | 6.7 | 2 | 1000 | | 13400 | 11.55 | 34.2 | 154770 | 458280 | 2960645 |
| | = | | 8.2 | 1 | 1000 | | 8200 | 4.1 | 15.5 | 33620 | 127100 | 700356 |
| | = | | 17 | 1 | 1000 | | 17000 | 26.75 | 36 | 454750 | 612000 | 6018409 |
| | = | | 10.35 | 1 | 1000 | | 10350 | 30.075 | 25.2 | 311276.25 | 260820 | 1362889 |
| | = | | 29.1 | 1 | 1000 | | 29100 | 39.45 | 14.4 | 1147995 | 419040 | 30244485 |
| = | | 32.4 | 1 | 1000 | | 32400 | 37.8 | 0 | 1224720 | 0 | 41712583 | |
| = | | 19.67 | 1 | 1000 | | 19670 | 14.9 | 7.2 | 293083 | 141624 | 9330847 | |
| Total | | | | | | | 16887068.38 | | | 383627120 | 807296096 | 136796566304 |
| Koordinat titik pusat | | | | | | | | 22.717 | 47.8056 | | | |



7.42 - File:struktur utama k90x90 - 3-D View - N-m Units



v7.42 - File:struktur utama k90x90 - 3-D View - N-m Units



The 'K' Range system of post-tensioning

General

All tendons in the 'K' System can either be pre-made and pulled into the sheath or the strands pushed one by one into the sheath, before or after concreting, to suit the construction sequence.

It is not necessary to produce a tendon of precise length, as the anchorages are easily assembled once the tendon is in position.

Strands can be omitted from the tendon sizes listed in order to achieve the greatest economy in design.

The flexibility of the 'K' System permits the use of different sizes of strands.

All strands are stressed simultaneously and anchored in a compact and efficient anchorage.

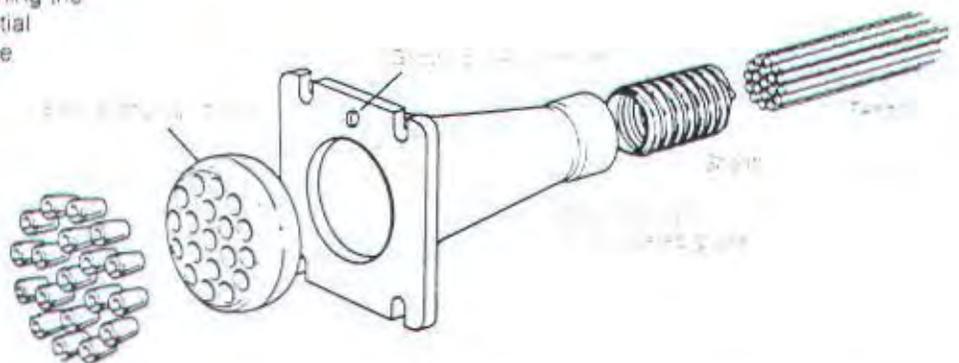
Anchorage

All anchorages are designed to the same principles, varying only in size and numbers of strands.

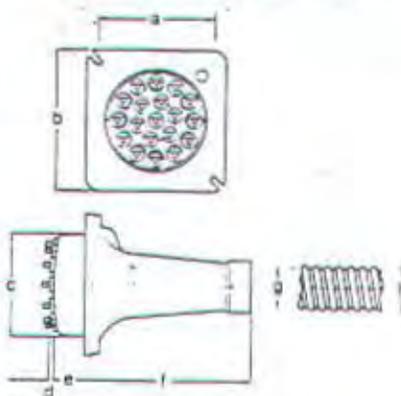
Each consists of a grey cast iron (or fabricated) Guide incorporated in the structure which distribute the tendon force into the concrete end-block. On the Guide sits the Anchorage Block, into which the strands are anchored by means of three-piece Jaws, each locked into a tapered hole.

To achieve the maximum static and dynamic security in the tendon, each hole is drilled at its correct angle in relation to the tendon pattern and all kinks and unwanted deviations in tendon are avoided.

The Anchorage Guide is provided with an accurate and robust method of fixing and aligning the tendon, as it is provided with substantial shutter fixing holes and, at its opposite end, a firm screw-type fixing for the sheath. In addition it incorporates a large front-access grout injection point which, by its careful transition design, is block-age-free.

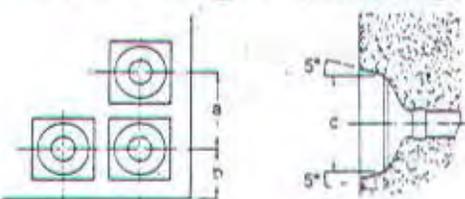


Anchorage (castings)



| | 1M13 | 1M15 | 7K13 4K15 | 12K13 7K15 | 12K15 | 19K13 | 27K13 19K15 | 37K13 27K15 | 55K13 37K15 |
|---|----------|----------|--------------|---------------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|
| a | 100 | 103 | 130 | 170 | 200 | 225 | 250 | 300 | 370 |
| b | 125 X 70 | 130 X 85 | 160 | 210 | 245 | 270 | 315 | 365 | 470 |
| c | - | - | 115 | 140 | 160 | 190 | 220 | 260 | 320 |
| d | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| e | - | - | 50 | 60 | 60 | 60 | 65 | 80 | 95 |
| f | 50 | 50 | 103 | 145 | 190 | 290 | 385 | 395 | 465 |
| g | - | - | 55 | 65 | 75 | 85 | 95 | 110 | 130 |
| h | 16 | 20 | 61 | 71 | 81 | 91 | 101 | 118 | 140 |

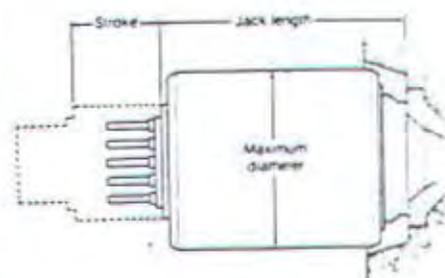
Anchorage (detailing)



| | 1M13 | 1M15 | 7K13 4K15 | 12K13 7K15 | 12K15 | 19K13 | 27K13 19K15 | 37K13 27K15 | 55K13 37K15 |
|---|------|------|--------------|---------------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|
| a | 200 | 200 | 200 | 270 | 300 | 325 | 375 | 450 | 525 |
| b | 90 | 90 | 135 | 175 | 200 | 225 | 250 | 300 | 375 |
| c | 90 | 90 | 195 | 250 | 300 | 350 | 500 | 550 | 650 |
| d | 90 | 90 | 100 | 120 | 125 | 125 | 140 | 150 | 160 |

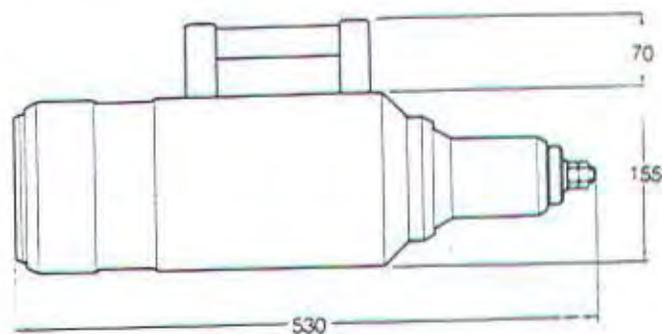
| JACK TYPE | K 100 | K 200 | K 350 | K 500 | K 700 | K 1000 | KF 500 | |
|---------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|------|
| Maximum force | kN | 1120 | 2065 | 3065 | 4595 | 6125 | 8945 | 5000 |
| Expansion cyl. area | cm ² | 203.4 | 318 | 490 | 765.8 | 980 | 1431 | 789 |
| Retract cyl. area | cm ² | 65.9 | 157 | 232 | 452.3 | 589 | 724 | 367 |
| Maximum pressure | bar | 550 | 650 | 625 | 600 | 625 | 625 | 650 |
| Stroke | mm | 200 | 200 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Maximum diameter | mm | 270 | 350 | 440 | 508 | 609 | 720 | 565 |
| Length closed | mm | 365 | 402 | 502 | 718 | 767 | 783 | 1016 |
| Total weight | kg | 112 | 208 | 328 | 740 | 1060 | 1450 | 970 |

Dimensions in millimeters

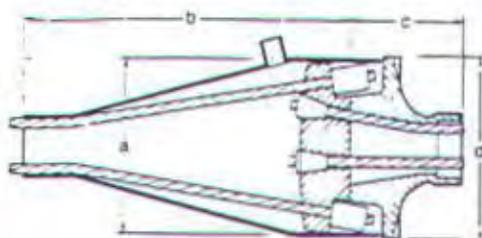


Swaging jack

Hydraulic swaging jack
 Extruded sleeves for 13 and 15 mm strands
 Maximum pressure 700 bars
 Extruding force 520 kN
 Weight 47 kg



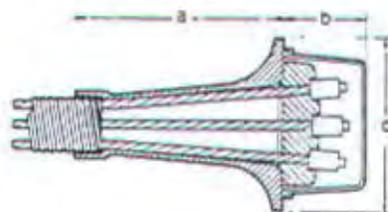
Couplers



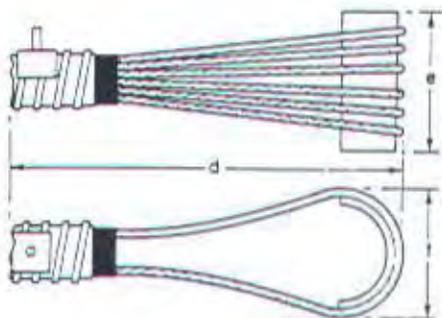
| | 1M13 1M15 | 7K13 4K15 | 12K13 7K15 | 12K15 | 19K13 | 27K13 19K15 | 37K13 27K15 | 55K13 37K15 |
|---|-------------------------|-----------|------------|-------|-------|-------------|--|-------------|
| a | For coupling use | 160 | 204 | 230 | 260 | 308 | Dimensions for larger couplers are available on request. | |
| b | pretensioning couplers. | 450 | 555 | 600 | 490 | 680 | | |
| c | | 120 | 166 | 120 | 280 | 362 | | |
| d | | 160 | 210 | 245 | 270 | 315 | | |

The range of standard couplers is the 'flange' type in which the continuing cable is attached by pre-applied type swaged grips

Blind ends



| | | 7K13 4K15 | 12K13 17K15 | 12K15 | 19K13 | 27K13 19K15 | 37K13 27K15 | 55K13 37K15 |
|---|----------|-----------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|
| a | Enclosed | 160 | 210 | 245 | 270 | 315 | 365 | 450 |
| b | Swaged | 103 | 145 | 190 | 290 | 385 | 435 | 465 |
| c | type | 115 | 115 | 127 | 120 | 145 | 165 | 180 |



| | | 6K13 | 12K13 | 12K15 |
|---|-------------|------|-------|-------|
| d | Looped type | - | 500 | 600 |
| e | - | - | 200 | 250 |
| f | - | - | 250 | 300 |

The standard blind end anchorage is similar to the normal anchorage but the jaws are replaced by swaged grips, a permanently attached anchorage pre-applied to the strand with a swaging jack.

Looped anchorages are practical only for the smaller tendons and details are given for the 6K13, 12K13 and 12K15 systems

Properties of strands

Characteristics of PC strand commonly used in Indonesia

| Nominal diameter | Nominal area | Nominal mass | Min. U.T.S. | Modulus of elasticity | |
|------------------|-----------------|--------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| mm. | mm ² | kg/1000m | kN | kN/mm ² | |
| 12.40 | 92.90 | 729 | 160 | 195 | JIS 3536 - SWPR 7A |
| 12.70 | 98.71 | 775 | 184 | 195 | ASTM A416 - GRADE 270 |
| 15.20 | 138.70 | 1101 | 226 | 195 | JIS 3536 - SWPR 7A |
| 15.24 | 140.00 | 1102 | 261 | 195 | ASTM A416 - GRADE 270 |

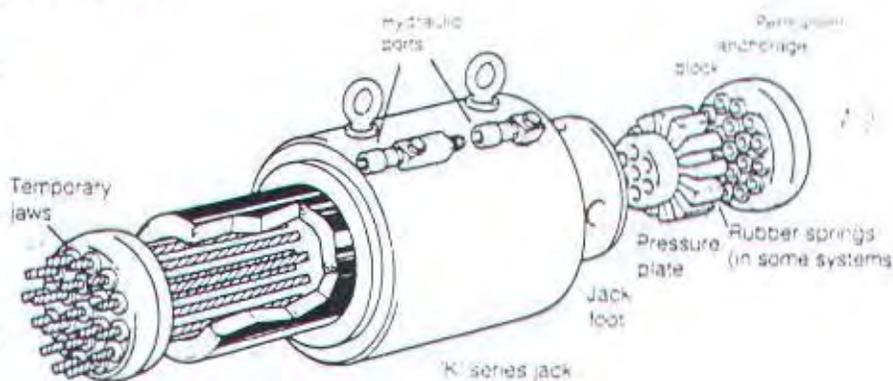
Tensioning equipment

The 'K' Range Jacks

The 'K' Range of Jacks are centerhole rams of the hydraulic double-acting type with fix cylinder and moving piston.

The attachment of the Strand to the jack is by specially designed wide-angle, multi-use Jaws, which are self-releasing on completion of jacking.

The system of ramming the permanent anchorages is by either a retaining plate or mechanical rubber



**MENENTUKAN GAYA PRATEGANG AWAL
BEBAN MINIMUM**

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 4 N-m Units PAGE 1
1/1/04 9:10:02

proton

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|------------|------------|------------|--------|----------|------------|
| 601 | Minima | | -157607.34 | -207660.66 | 29.44 | 253.05 | -989.93 | -662498.25 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 601 | Maxima | | -157607.34 | 207711.67 | 29.44 | 253.05 | -1256.77 | 629245.49 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 607 | Minima | | -163365.06 | -207726.59 | -3.504E-01 | 123.34 | 93.81 | -658449.75 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 607 | Maxima | | -163365.06 | 207645.73 | -3.504E-01 | 123.34 | 103.34 | 634900.00 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 613 | Minima | | -159859.52 | -207520.30 | -78.87 | 74.79 | -1031.54 | -658715.44 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 613 | Maxima | | -159859.52 | 207852.03 | -78.87 | 74.79 | 932.78 | 629199.00 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 5 N-m Units PAGE 1
1/1/04 9:09:34

proton

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|------------|------------|--------|--------|----------|------------|
| 661 | Minima | | -239383.63 | -207709.47 | -73.65 | 202.06 | -1805.50 | -707211.69 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 661 | Maxima | | -239383.63 | 207662.88 | -73.65 | 202.06 | 28.05 | 585924.91 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 667 | Minima | | -246313.50 | -207650.47 | 6.15 | 164.20 | 63.42 | -703816.63 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 667 | Maxima | | -246313.50 | 207721.96 | 6.15 | 164.20 | 216.53 | 589474.13 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 673 | Minima | | -241788.30 | -207516.14 | 46.46 | 170.30 | -600.83 | -709029.56 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 673 | Maxima | | -241788.30 | 207856.20 | 46.46 | 170.30 | 556.04 | 585934.75 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 6 N-m Units PAGE 1
1/1/04 9:08:01

proton

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|------------|------------|---------|--------|----------|------------|
| 721 | Minima | | -223966.86 | -207804.95 | -119.59 | 243.45 | -2467.38 | -702380.31 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 721 | Maxima | | -223966.86 | 207567.39 | -119.59 | 243.45 | 509.88 | 521344.34 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 727 | Minima | | -230454.28 | -207711.70 | 1.26 | 176.17 | 197.51 | -697410.83 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 727 | Maxima | | -230454.28 | 207660.63 | 1.26 | 176.17 | 188.81 | 535193.75 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 733 | Minima | | -226668.16 | -207595.00 | 86.78 | 190.36 | -1151.70 | -702045.63 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 733 | Maxima | | -226668.16 | 207777.33 | 86.78 | 190.36 | 1008.19 | 591935.81 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 7 N-m Units PAGE 1
1/1/04 9:06:14

PROTON

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | F | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|------------|------------|---------|--------|----------|------------|
| 781 | Minima | | -226377.95 | -207857.77 | -161.49 | 240.62 | -2969.38 | -703715.50 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 781 | Maxima | | -226377.95 | 207804.58 | -161.49 | 240.62 | 1051.82 | 591267.19 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 787 | Minima | | -232783.59 | -207785.24 | 2.91 | 199.81 | 137.28 | -499849.25 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 787 | Maxima | | -232783.59 | 207626.91 | 2.91 | 199.81 | -209.66 | 594918.00 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 793 | Minima | | -228961.86 | -207654.65 | 137.06 | 228.14 | -1774.83 | -701975.94 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 793 | Maxima | | -228961.86 | 207717.47 | 137.06 | 228.14 | 1637.90 | 591262.75 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 8 N-m Units PAGE 1
1/1/04 9:06:46

proton

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | F | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|------|------------|------|--------|------|------------|
| 841 | Minima | | 0.00 | -208175.66 | 0.00 | 295.02 | 0.00 | -714919.89 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 841 | Maxima | | 0.00 | 207196.67 | 0.00 | 295.02 | 0.00 | 584021.75 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 847 | Minima | | 0.00 | -208086.92 | 0.00 | 197.06 | 0.00 | -710599.81 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 847 | Maxima | | 0.00 | 207295.41 | 0.00 | 197.06 | 0.00 | 587236.00 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 853 | Minima | | 0.00 | -207939.05 | 0.00 | 229.15 | 0.00 | -711998.69 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |
| 853 | Maxima | | 0.00 | 207433.30 | 0.00 | 229.15 | 0.00 | 583996.00 |
| | | | SW | SW | SW | SW | SW | SW |

BEBAN MAKSIMUM

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 8 NEWS N-m Units PAGE 1
12/28/03 19:37:54

proton

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

| COMBO | TYPE | CASE | FACTOR | TYPE | TITLE |
|-------|------|----------|--------|--------------|-------|
| DL | ADD | | | | D-L |
| | | PLATM | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMRT | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLTHDP | 1.0000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 1.0000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.0000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 1.0000 | STATIC(LIVE) | |
| | | DLT2 | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT7 | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 8 NEWS N-m Units PAGE 2
12/28/03 19:37:54

proton

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | F | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|------|------------|------|---------|------|-------------|
| 601 | Minima | | 0.00 | -483246.87 | 0.00 | 1169.68 | 0.00 | -2528584.69 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 601 | Maxima | | 0.00 | 429196.32 | 0.00 | 1169.68 | 0.00 | 1938819.44 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 607 | Minima | | 0.00 | -482240.41 | 0.00 | 706.06 | 0.00 | -2516398.22 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 607 | Maxima | | 0.00 | 428883.77 | 0.00 | 706.06 | 0.00 | 1940176.82 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 613 | Minima | | 0.00 | -482220.93 | 0.00 | 1027.37 | 0.00 | -2513402.71 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 613 | Maxima | | 0.00 | 429253.23 | 0.00 | 1027.37 | 0.00 | 1938882.82 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 661 | Minima | | 0.00 | -484138.53 | 0.00 | 1261.46 | 0.00 | -2631291.89 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 661 | Maxima | | 0.00 | 429308.69 | 0.00 | 1261.46 | 0.00 | 1741188.46 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 667 | Minima | | 0.00 | -483577.31 | 0.00 | 982.89 | 0.00 | -2623035.25 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 667 | Maxima | | 0.00 | 429366.86 | 0.00 | 982.89 | 0.00 | 1742472.46 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 673 | Minima | | 0.00 | -482860.45 | 0.00 | 1431.18 | 0.00 | -2619330.44 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 673 | Maxima | | 0.00 | 429583.74 | 0.00 | 1431.18 | 0.00 | 1741248.14 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 721 | Minima | | 0.00 | -484704.86 | 0.00 | 1281.51 | 0.00 | -2603748.82 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 721 | Maxima | | 0.00 | 427739.49 | 0.00 | 1281.51 | 0.00 | 1770767.34 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 727 | Minima | | 0.00 | -484146.94 | 0.00 | 964.10 | 0.00 | -2599190.63 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 727 | Maxima | | 0.00 | 428287.24 | 0.00 | 964.10 | 0.00 | 1773401.72 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 733 | Minima | | 0.00 | -483415.00 | 0.00 | 1460.06 | 0.00 | -2592582.91 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 733 | Maxima | | 0.00 | 429029.14 | 0.00 | 1460.06 | 0.00 | 1770898.99 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 781 | Minima | | 0.00 | -485224.54 | 0.00 | 1489.49 | 0.00 | -2668346.56 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 781 | Maxima | | 0.00 | 427219.63 | 0.00 | 1489.49 | 0.00 | 1717662.02 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 787 | Minima | | 0.00 | -484545.21 | 0.00 | 1174.42 | 0.00 | -2659735.72 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 787 | Maxima | | 0.00 | 427898.95 | 0.00 | 1174.42 | 0.00 | 1717825.16 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 793 | Minima | | 0.00 | -483745.17 | 0.00 | 1726.51 | 0.00 | -2649982.45 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 793 | Maxima | | 0.00 | 428699.91 | 0.00 | 1726.51 | 0.00 | 1717407.78 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 841 | Minima | | 0.00 | -543807.55 | 0.00 | 1309.23 | 0.00 | -1847588.09 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 841 | Maxima | | 0.00 | 556326.74 | 0.00 | 1309.23 | 0.00 | 1454248.18 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 847 | Minima | | 0.00 | -543282.78 | 0.00 | 924.57 | 0.00 | -1832392.71 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 847 | Maxima | | 0.00 | 556881.47 | 0.00 | 924.57 | 0.00 | 1462320.54 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 853 | Minima | | 0.00 | -542400.22 | 0.00 | 1833.20 | 0.00 | -1829389.16 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 853 | Maxima | | 0.00 | 557734.78 | 0.00 | 1833.20 | 0.00 | 1634936.17 |
| | | | DL | DL | DL | DL | DL | DL |

MOMEN ENVELOPE BALOK PRATEKAN

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 8 NEWS-PRE N-m Units PAGE 1
12/28/03 20:26:54

print

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

| COMB | TYPE | CASE | FACTOR | TYPE | TITLE |
|-------|--------|--------------|--------|--------------|-------------------|
| COMB3 | ADD | | | | 1.2D+1.6E |
| | | PLATMT | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLTHDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | DLT2 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| DLT7 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | | | |
| COMB4 | ADD | | | | 0.75(1.2D+1.6L+W) |
| | | PLATMT | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAPHD | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLTHDP | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | ANGIN | 0.7500 | STATIC(WIND) | |
| | | DLT2 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| DLT6 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | | | |
| DLT7 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | | | |
| COMB6 | ADD | | | | 1.05(D+Lr+E) |
| | | PLATMT | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLTHDP | 0.9450 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 0.9450 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 0.9450 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 0.9450 | STATIC(LIVE) | |
| | | GEMPA | 1.0500 | SPECTRA | |
| | | DLT2 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| DLT6 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | | | |
| DLT7 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | | | |
| COMB7 | ADD | | | | 0.9(D+E) |
| | | PLATMT | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | GEMPA | 0.9000 | SPECTRA | |
| | | DLT2 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |

SAP2000 v7.42 File: LANTAI 8 NEWS-PRE N-m Units PAGE 2
12/28/03 20:26:54

print

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | F | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|-------|------------|-------|-----------|-------|-------------|
| 501 | Minima | | 0.00 | -895667.80 | 0.00 | -31354.11 | 0.00 | -3703340.11 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB6 |
| 501 | Maxima | | 0.00 | 822827.80 | 0.00 | 33721.63 | 0.00 | 2406309.56 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 507 | Minima | | 0.00 | -895148.61 | 0.00 | -31665.67 | 0.00 | -3653223.73 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB6 |
| 507 | Maxima | | 0.00 | 823346.97 | 0.00 | 33106.60 | 0.00 | 2411972.26 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 513 | Minima | | 0.00 | -894403.95 | 0.00 | -31767.25 | 0.00 | -3649445.99 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB6 |
| 513 | Maxima | | 0.00 | 824091.64 | 0.00 | 33669.25 | 0.00 | 2406398.97 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 561 | Minima | | 0.00 | -896829.91 | 0.00 | -29001.50 | 0.00 | -3653256.16 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB6 |
| 561 | Maxima | | 0.00 | 821665.87 | 0.00 | 31589.97 | 0.00 | 2282841.39 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 567 | Minima | | 0.00 | -896090.50 | 0.00 | -29129.42 | 0.00 | -3653267.91 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB6 |
| 567 | Maxima | | 0.00 | 822405.08 | 0.00 | 31138.33 | 0.00 | 2284599.07 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 573 | Minima | | 0.00 | -895153.73 | 0.00 | -28928.56 | 0.00 | -3593463.19 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB6 |
| 573 | Maxima | | 0.00 | 823341.87 | 0.00 | 31856.78 | 0.00 | 2282894.38 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 721 | Minima | | 0.00 | -897575.13 | 0.00 | -22836.13 | 0.00 | -3421827.92 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 721 | Maxima | | 0.00 | 820920.42 | 0.00 | 25431.82 | 0.00 | 2319415.72 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 727 | Minima | | 0.00 | -896832.73 | 0.00 | -22939.28 | 0.00 | -3409223.18 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 727 | Maxima | | 0.00 | 821662.86 | 0.00 | 24968.06 | 0.00 | 2320777.35 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 733 | Minima | | 0.00 | -895876.10 | 0.00 | -22669.39 | 0.00 | -3400468.87 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 733 | Maxima | | 0.00 | 822619.45 | 0.00 | 25652.46 | 0.00 | 2319621.82 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 791 | Minima | | 0.00 | -898237.16 | 0.00 | -15712.58 | 0.00 | -3489114.18 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 791 | Maxima | | 0.00 | 820258.41 | 0.00 | 18740.17 | 0.00 | 2260371.71 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 797 | Minima | | 0.00 | -897348.56 | 0.00 | -13926.05 | 0.00 | -3477505.38 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 797 | Maxima | | 0.00 | 821146.70 | 0.00 | 16334.89 | 0.00 | 2260921.72 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 793 | Minima | | 0.00 | -896307.72 | 0.00 | -13373.55 | 0.00 | -3465104.84 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 793 | Maxima | | 0.00 | 822187.87 | 0.00 | 16923.42 | 0.00 | 2260353.51 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 841 | Minima | | 0.00 | -876305.45 | 0.00 | -6419.73 | 0.00 | -3381928.49 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 841 | Maxima | | 0.00 | 888486.49 | 0.00 | 8084.56 | 0.00 | 2048044.20 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 847 | Minima | | 0.00 | -875620.77 | 0.00 | -5581.16 | 0.00 | -3288976.25 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 847 | Maxima | | 0.00 | 889172.12 | 0.00 | 7488.97 | 0.00 | 2087887.44 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 853 | Minima | | 0.00 | -874503.20 | 0.00 | -4626.01 | 0.00 | -3289976.32 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |
| 853 | Maxima | | 0.00 | 890289.71 | 0.00 | 8375.38 | 0.00 | 2048943.16 |
| | | | CCMB7 | CCMB3 | CCMB3 | CCMB6 | CCMB3 | CCMB3 |

**GESER PRATEKAN
AKIBAT BEBAN MATI**

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

| COMBO | TYPE | CASE | FACTOR | TYPE | TITLE |
|-------|------|--------|--------|--------------|-------|
| DEAD | ADD | | | | D |
| | | PLATMT | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |

SAP2000 v7.41 File: LANTAI 8 NEWS-PRE TANPA DIAPH K900 N-m Units PAGE 2
3/19/04 6:39:34

print

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | F | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|------------|------------|--------|---------|----------|-------------|
| 607 | Minima | | 206543.77 | -492020.04 | -4.96 | 579.69 | -61.72 | -1889560.65 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 607 | Maxima | | 206543.77 | 461517.69 | -4.96 | 579.69 | 61.66 | 1239859.15 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 667 | Minima | | -30052.98 | -492806.47 | 3.96 | 727.63 | -49.35 | -1944049.91 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 667 | Maxima | | -30052.98 | 460731.25 | 3.96 | 727.63 | 49.35 | 1195161.10 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 727 | Minima | | -23792.02 | -492906.90 | 20.30 | 824.90 | -252.71 | -1936380.03 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 727 | Maxima | | -23792.02 | 460830.91 | 20.30 | 824.90 | 252.66 | 1204079.11 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 787 | Minima | | 203432.59 | -493120.33 | 51.87 | 1074.44 | -645.71 | -1977904.50 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 787 | Maxima | | 203432.59 | 460413.38 | 51.87 | 1074.44 | 645.74 | 1165237.90 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 847 | Minima | | -564894.31 | -482716.66 | 115.30 | 956.07 | -1438.37 | -1720864.62 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 847 | Maxima | | -564894.31 | 505839.15 | 115.30 | 956.07 | 1437.57 | 1388869.39 |
| | | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |

AKIBAT BEBAN HIDUP

SAP2000 v7.41 File: LANTAI 8 NEWS-PRE TANPA DIAPH K900 N-m Units PAGE 1
3/19/04 6:39:55

print

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

| COMBO | TYPE | CASE | FACTOR | TYPE | TITLE |
|-------|------|----------|--------|--------------|-------|
| L | ADD | | | | L |
| | | PLTRDP | 1.0000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 1.0000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHD | 1.0000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAHD | 1.0000 | STATIC(LIVE) | |

SAP2000 v7.41 File: LANTAI 8 NEWS-PRE TANPA DIAPH K900 N-m Units PAGE 2
3/19/04 6:39:55

print

FRAME ELEMENT FORCES

| FRAME | LOAD | LOC | F | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
|-------|--------|-----|-----------|------------|------------|--------|--------|------------|
| 607 | Minima | | 77391.13 | +188511.37 | -4.787E-01 | 296.90 | +5.37 | +722998.77 |
| | | | L | L | L | L | L | L |
| 607 | Maxima | | 77391.13 | 170395.07 | -4.787E-01 | 296.90 | 5.35 | 475161.45 |
| | | | L | L | L | L | L | L |
| 667 | Minima | | -13014.30 | -188862.61 | 4.23 | 339.71 | +51.61 | -743884.40 |
| | | | L | L | L | L | L | L |
| 667 | Maxima | | -13014.30 | 170043.31 | 4.23 | 339.71 | 52.41 | 488649.69 |
| | | | L | L | L | L | L | L |

| | | L | L | L | L | L | L |
|-----|--------|------------|------------|-------|--------|---------|------------|
| 727 | Minima | 9074.64 | -188884.32 | 11.86 | 385.20 | -147.63 | -743548.03 |
| | | L | L | L | L | L | L |
| 727 | Maxima | 9074.64 | 170022.01 | 11.86 | 385.20 | 147.59 | 459256.72 |
| | | L | L | L | L | L | L |
| 787 | Minima | -43843.45 | -188912.20 | 26.70 | 422.15 | -332.54 | -733595.35 |
| | | L | L | L | L | L | L |
| 787 | Maxima | -43843.45 | 169994.24 | 26.70 | 422.15 | 331.41 | 469555.21 |
| | | L | L | L | L | L | L |
| 847 | Minima | -110754.45 | -58557.54 | 46.79 | 311.94 | -582.79 | -206239.76 |
| | | L | L | L | L | L | L |
| 847 | Maxima | -110754.45 | 53021.53 | 46.79 | 311.94 | 582.39 | 148627.52 |
| | | L | L | L | L | L | L |

LENDUTAN

AKIBAT BEBAN KERJA

SAP2000 v7.42 File: 407 LENDUTAN N=4 Unit= PAGE 1
3/19/04 8:24:00

proton

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

| COMBO | TYPE | CASE | FACTOR | TYPE | TITLE |
|-------|------|----------|--------|---------------|-------------------------|
| COMB3 | ADD | | | | 1.2D+1.6L |
| | | PLATMT | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLTRDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | DLT2 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT7 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| COMB4 | ADD | | | | 0.75(1.2D+1.6L+W1)+1.2P |
| | | PLATMT | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAPHD | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLTRDP | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | ANGIN | 0.7500 | STATIC(WIND) | |
| | | FRSTRES | 1.2000 | STATIC(OTHER) | |
| | | DLT2 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT7 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| COMB5 | ADD | | | | 1.2D+1.6L+1.2P |
| | | PLATMT | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | FRSTRES | 1.2000 | STATIC(OTHER) | |
| | | BAHDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLTRDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | DLT2 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT7 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| COMB6 | ADD | | | | 1.05(D+Lr+S)+1.2P |
| | | PLATMT | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAP | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |

| | | |
|----------|--------|---------------|
| BAMATI | 1.0500 | STATIC(DEAD) |
| BAATAP | 1.0500 | STATIC(DEAD) |
| PLTUDP | 0.9450 | STATIC(LIVE) |
| BAHDP | 0.9450 | STATIC(LIVE) |
| PLATAPHD | 0.9450 | STATIC(LIVE) |
| BAATAPHD | 0.9450 | STATIC(LIVE) |
| GEMPA | 1.0500 | SPECTRA |
| PRESTRES | 1.2000 | STATIC(OTHER) |
| DLT2 | 1.0500 | STATIC(DEAD) |
| DLT3 | 1.0500 | STATIC(DEAD) |
| DLT4 | 1.0500 | STATIC(DEAD) |
| DLT5 | 1.0500 | STATIC(DEAD) |
| DLT6 | 1.0500 | STATIC(DEAD) |
| DLT7 | 1.0500 | STATIC(DEAD) |

| | | | | |
|-------|----------|--------|---------------|---------------|
| COMBT | ADD | | | 0.9(D+E)+1.2F |
| | FLATMT | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | FLATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | BAMATI | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | BAATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | GEMPA | 0.9000 | SPECTRA | |
| | PRESTRES | 1.2000 | STATIC(OTHER) | |
| | DLT2 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | DLT3 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | DLT4 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | DLT5 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | DLT6 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |

SAP2000 v7.42 File: 607 LENDUTAN N-m Units PAGE 2
3/19/04 8:24:00

proton

JOINT DISPLACEMENTS

| JOINT | LOAD | U1 | U2 | U3 | R1 | R2 | R3 |
|-------|--------|-----------|------------|---------|------------|------------|------------|
| 1 | Minima | 6.969E-04 | -4.654E-03 | -0.0395 | -5.086E-04 | -9.378E-05 | -2.632E-05 |
| | | COMB7 | COMB6 | COMB5 | COMB6 | COMB3 | COMB6 |
| 1 | Maxima | 1.558E-03 | 4.654E-03 | -0.0199 | 5.086E-04 | -3.812E-05 | 2.632E-05 |
| | | COMB5 | COMB6 | COMB7 | COMB6 | COMB7 | COMB6 |
| 2 | Minima | 9.205E-04 | -7.494E-03 | -0.0376 | -5.981E-04 | -8.198E-05 | -3.315E-05 |
| | | COMB7 | COMB6 | COMB5 | COMB6 | COMB5 | COMB6 |
| 2 | Maxima | 2.102E-03 | 7.494E-03 | -0.0190 | 5.981E-04 | -3.239E-05 | 3.315E-05 |
| | | COMB5 | COMB6 | COMB7 | COMB6 | COMB7 | COMB6 |
| 3 | Minima | 1.096E-03 | -0.0107 | -0.0387 | -6.514E-04 | -7.822E-05 | -3.715E-05 |
| | | COMB7 | COMB6 | COMB5 | COMB6 | COMB5 | COMB6 |
| 3 | Maxima | 2.545E-03 | 0.0107 | -0.0199 | 6.514E-04 | -3.038E-05 | 3.715E-05 |
| | | COMB5 | COMB6 | COMB7 | COMB6 | COMB7 | COMB6 |
| 4 | Minima | 1.242E-03 | -0.0141 | -0.0382 | -6.759E-04 | -7.094E-05 | -3.975E-05 |
| | | COMB7 | COMB6 | COMB5 | COMB6 | COMB5 | COMB6 |
| 4 | Maxima | 2.920E-03 | 0.0141 | -0.0199 | 6.759E-04 | -2.646E-05 | 3.975E-05 |
| | | COMB5 | COMB6 | COMB7 | COMB6 | COMB7 | COMB6 |
| 5 | Minima | 1.288E-03 | -0.0175 | -0.0382 | -6.822E-04 | -7.411E-05 | -4.189E-05 |
| | | COMB7 | COMB6 | COMB5 | COMB6 | COMB5 | COMB6 |
| 5 | Maxima | 3.106E-03 | 0.0175 | -0.0247 | 6.822E-04 | -4.327E-05 | 4.189E-05 |
| | | COMB5 | COMB6 | COMB7 | COMB6 | COMB7 | COMB6 |

AKIBAT BEBAN MATI

SAP2000 v7.42 File: 607 LENDUTAN N-m Units PAGE 1
3/19/04 8:23:15

proton

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

| COMBO | TYPE | CASE | FACTOR | TYPE | TITLE |
|-------|------|--------|--------|--------------|-------|
| DEAD | ADD | | | | D |
| | | PLATMT | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | FLATAP | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.0000 | STATIC(DEAD) | |

SAP2000 v7.42 File: 607 LENDUTAN N-m Units PAGE 2

3/19/54 8:22:15

097000

JOINT DISPLACEMENTS

| JOINT | LOAD | U1 | U2 | U3 | R1 | R2 | R3 |
|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|------------|--------|
| 1 | Minima | 7.400E-04 | 0.0000 | -0.0220 | 0.0000 | -4.280E-05 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 1 | Maxima | 7.400E-04 | 0.0000 | -0.0220 | 0.0000 | -4.280E-05 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 2 | Minima | 9.855E-04 | 0.0000 | -0.0211 | 0.0000 | -3.649E-05 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 2 | Maxima | 9.855E-04 | 0.0000 | -0.0211 | 0.0000 | -3.649E-05 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 3 | Minima | 1.180E-03 | 0.0000 | -0.0217 | 0.0000 | -3.427E-05 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 3 | Maxima | 1.180E-03 | 0.0000 | -0.0217 | 0.0000 | -3.427E-05 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 4 | Minima | 1.337E-03 | 0.0000 | -0.0209 | 0.0000 | -2.893E-05 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 4 | Maxima | 1.337E-03 | 0.0000 | -0.0209 | 0.0000 | -2.893E-05 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 5 | Minima | 1.386E-03 | 0.0000 | -0.0274 | 0.0000 | -5.320E-06 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |
| 5 | Maxima | 1.386E-03 | 0.0000 | -0.0274 | 0.0000 | -5.320E-06 | 0.0000 |
| | | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD | DEAD |

DRIIFT

SAF2000 v7.42 File: STRUKTUR UTAMA K90X90 N-m Units PAGE 1
5/3/04 23:12:34

proton

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

| COMBO | TYPE | CASE | FACTOR | TYPE | TITLE |
|-------|--------|--------------|--------|--------------|-------------------|
| COMB1 | ADD | PLATMT | 1.2000 | STATIC(DEAD) | 1.2D+1.6L |
| | | PLATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLTHDE | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | DLT2 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT7 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| COMB2 | ADD | PLATMT | 0.9000 | STATIC(DEAD) | 0.75(1.2D+1.6L+W) |
| | | PLATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLATAPHD | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLTHDP | 1.2000 | STATIC(LIVE) | |
| | | ANGIN | 0.7500 | STATIC(WIND) | |
| | | DLT2 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| DLT7 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | | | |
| COMB3 | ADD | PLATMT | 1.0500 | STATIC(DEAD) | 1.05(D+Lr+E) |
| | | PLATAP | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLTHDE | 0.9450 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 0.9450 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 0.9450 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 0.9450 | STATIC(LIVE) | |
| | | GEMPA | 1.0500 | SPECTRA | |
| | | DLT2 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | |
| DLT7 | 1.0500 | STATIC(DEAD) | | | |
| COMB4 | ADD | PLATMT | 0.9000 | STATIC(DEAD) | 0.9(D+E) |
| | | PLATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | GEMPA | 0.9000 | SPECTRA | |
| | | DLT2 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT4 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT5 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT6 | 0.9000 | STATIC(DEAD) | |
| COMB5 | ADD | PLATMT | 1.2000 | STATIC(DEAD) | 1.2+D+1.6L+1.2E |
| | | PLATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAMATI | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | BAATAP | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | PLTHDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAHDP | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | BAATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | PLATAPHD | 1.6000 | STATIC(LIVE) | |
| | | DLT2 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |
| | | DLT3 | 1.2000 | STATIC(DEAD) | |

DLT3 1.2000 STATIC(DEAD)
 DLT4 1.2000 STATIC(DEAD)
 DLT5 1.2000 STATIC(DEAD)
 DLT6 1.2000 STATIC(DEAD)
 DLT7 1.2000 STATIC(DEAD)
 PRESTRES 1.2000 STATIC(OTHER)

COMB ADD 1.0500 (D+L+P)
 PLATNO 1.0500 STATIC(DEAD)
 PLATAP 1.0500 STATIC(DEAD)
 BAAP1 1.0500 STATIC(DEAD)
 BAAP2 1.0500 STATIC(DEAD)
 PUTRDF 0.9450 STATIC(LIVE)
 BARDF 0.9450 STATIC(LIVE)
 PLATAPD 0.9450 STATIC(LIVE)
 BAAPAPD 0.9450 STATIC(LIVE)
 Sempa 1.0500 SPECTRA
 DLT2 1.0500 STATIC(DEAD)
 DLT3 1.0500 STATIC(DEAD)
 DLT4 1.0500 STATIC(DEAD)
 DLT5 1.0500 STATIC(DEAD)
 DLT6 1.0500 STATIC(DEAD)
 DLT7 1.0500 STATIC(DEAD)
 PRESTRES 1.0500 STATIC(OTHER)

SAP2000 v7.42 File: STRUKTUR UTAMA K90X90 N-a Units PAGE 2
 5/3/04 23:12:34

JOINT DISPLACEMENTS

| JOINT | LOAD | U1 | U2 | U3 | R1 | R2 | R3 |
|-------|--------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 290 | Minima | -0.0155 COMB3 | -0.0277 COMB3 | -5.723E-03 COMB1 | -2.565E-03 COMB3 | 1.977E-04 COMB4 | -4.272E-04 COMB3 |
| 290 | Maxima | 0.0199 COMB6 | 0.0278 COMB6 | -2.958E-03 COMB4 | 2.605E-03 COMB6 | 1.902E-03 COMB6 | 4.198E-04 COMB6 |
| 294 | Minima | -0.0174 COMB6 | -0.0257 COMB3 | -5.846E-03 COMB1 | -2.563E-03 COMB6 | -1.722E-03 COMB6 | -4.272E-04 COMB3 |
| 294 | Maxima | 0.0179 COMB3 | 0.0256 COMB6 | -2.954E-03 COMB4 | 2.616E-03 COMB3 | -8.662E-05 COMB4 | 4.197E-04 COMB6 |
| 321 | Minima | -0.0180 COMB3 | -0.0406 COMB6 | -6.876E-03 COMB1 | -2.268E-03 COMB3 | 1.026E-04 COMB4 | -5.790E-04 COMB3 |
| 321 | Maxima | 0.0237 COMB6 | 0.0405 COMB3 | -3.565E-03 COMB4 | 2.309E-03 COMB6 | 1.450E-03 COMB3 | 5.692E-04 COMB6 |
| 325 | Minima | -0.0204 COMB6 | -0.0392 COMB3 | -7.020E-03 COMB1 | -2.344E-03 COMB6 | -1.307E-03 COMB3 | -5.790E-04 COMB3 |
| 325 | Maxima | 0.0212 COMB3 | 0.0388 COMB6 | -3.567E-03 COMB4 | 2.395E-03 COMB3 | -3.877E-06 COMB6 | 5.692E-04 COMB6 |
| 352 | Minima | -0.0203 COMB3 | -0.0507 COMB6 | -7.714E-03 COMB1 | -1.677E-03 COMB3 | 2.339E-04 COMB4 | -7.289E-04 COMB3 |
| 352 | Maxima | 0.0265 COMB6 | 0.0504 COMB3 | -4.008E-03 COMB4 | 1.718E-03 COMB6 | 1.371E-03 COMB3 | 7.168E-04 COMB6 |
| 356 | Minima | -0.0226 COMB6 | -0.0501 COMB3 | -7.872E-03 COMB1 | -1.731E-03 COMB6 | -1.240E-03 COMB3 | -7.289E-04 COMB3 |
| 356 | Maxima | 0.0241 COMB3 | 0.0494 COMB6 | -4.016E-03 COMB4 | 1.786E-03 COMB3 | -1.660E-04 COMB4 | 7.168E-04 COMB6 |
| 383 | Minima | -0.0220 COMB3 | -0.0573 COMB6 | -8.237E-03 COMB1 | -1.029E-03 COMB3 | 1.945E-04 COMB4 | -8.453E-04 COMB3 |
| 383 | Maxima | 0.0286 COMB6 | 0.0568 COMB3 | -4.288E-03 COMB4 | 1.066E-03 COMB6 | 1.091E-03 COMB3 | 8.310E-04 COMB6 |
| 387 | Minima | -0.0240 COMB6 | -0.0572 COMB3 | -8.402E-03 COMB1 | -1.044E-03 COMB6 | -9.773E-04 COMB3 | -8.453E-04 COMB3 |
| 387 | Maxima | 0.0264 COMB3 | 0.0562 COMB6 | -4.300E-03 COMB4 | 1.101E-03 COMB3 | -1.389E-04 COMB4 | 8.310E-04 COMB6 |
| 414 | Minima | -0.0225 COMB3 | -0.0609 COMB6 | -8.444E-03 COMB1 | -5.457E-04 COMB3 | 1.071E-03 COMB6 | -9.106E-04 COMB3 |
| 414 | Maxima | 0.0302 COMB6 | 0.0602 COMB3 | -4.421E-03 COMB4 | 5.739E-04 COMB6 | 1.994E-03 COMB1 | 8.946E-04 COMB6 |
| 418 | Minima | -0.0253 COMB6 | -0.0611 COMB3 | -8.610E-03 COMB1 | -5.458E-04 COMB6 | -1.949E-03 COMB1 | -9.106E-04 COMB3 |
| 418 | Maxima | 0.0273 COMB3 | 0.0598 COMB6 | -4.436E-03 COMB4 | 5.922E-04 COMB3 | -1.045E-03 COMB6 | 8.946E-04 COMB6 |

Tulangan Balok daerah Lapangan

$\rho_{min} = 0.00359$

$\rho_{maks} = 0.017949$

| Mu (Nm) | Mu (Nmm) | b (mm) | be (mm) | d (mm) | Rn | ρ perlu | ρ pakai | a (mm) | Rn | ρ perlu | ρ pakai | As bawah (mm ²) | Dipasang As | As pakai | As atas (mm ²) |
|------------|-------------|-----------|------------|-----------|-------|--------------|--------------|-----------|-------|--------------|--------------|--------------------------------|----------------|-------------|-------------------------------|
| 5769.7 | 3.38E+08 | 500 | 1460 | 687.5 | 1.786 | 0.0048 | 0.0048 | 50.0 | 0.612 | 0.0016 | 0.0036 | 1234.0 | 3 D- 25 | 1471.9 | 617.0 |
| 2232.7 | 2.22E+08 | 400 | 1675 | 587.5 | 2.013 | 0.0054 | 0.0054 | 48.4 | 0.481 | 0.0012 | 0.0036 | 843.6 | 3 D- 25 | 1471.9 | 421.8 |
| 280.27 | 2.46E+08 | 400 | 1360 | 587.5 | 2.230 | 0.0060 | 0.0060 | 53.8 | 0.656 | 0.0017 | 0.0036 | 843.6 | 3 D- 25 | 1471.9 | 421.8 |
| 743.55 | 3.31E+08 | 400 | 825 | 437.5 | 5.400 | 0.0157 | 0.0157 | 105.3 | 2.618 | 0.0071 | 0.0071 | 1242.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 621.1 |
| 125.17 | 2.28E+08 | 400 | 1650 | 637.5 | 1.754 | 0.0047 | 0.0047 | 45.5 | 0.425 | 0.0011 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 296.11 | 2.77E+08 | 500 | 1460 | 637.5 | 1.706 | 0.0045 | 0.0045 | 44.2 | 0.584 | 0.0015 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 9254.2 | 2.69E+08 | 500 | 1460 | 637.5 | 1.656 | 0.0044 | 0.0044 | 42.8 | 0.567 | 0.0015 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 325.86 | 3.06E+08 | 500 | 1875 | 637.5 | 1.884 | 0.0050 | 0.0050 | 49.0 | 0.502 | 0.0013 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 1959.97 | 3.32E+07 | 500 | 1460 | 637.5 | 0.204 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.070 | 0.0002 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 1736.34 | 2.19E+07 | 400 | 1675 | 637.5 | 0.169 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.040 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 252.49 | 2.35E+07 | 400 | 1360 | 637.5 | 0.181 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.053 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 4517.08 | 3.38E+07 | 400 | 825 | 637.5 | 0.260 | 0.0007 | 0.0036 | 35.0 | 0.126 | 0.0003 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 264.77 | 2.43E+07 | 400 | 1650 | 637.5 | 0.187 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.045 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 494.54 | 2.85E+07 | 500 | 1460 | 637.5 | 0.175 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.060 | 0.0002 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 1184.8 | 2.66E+07 | 500 | 1460 | 637.5 | 0.163 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.056 | 0.0001 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 5769.83 | 2.90E+07 | 500 | 1875 | 637.5 | 0.178 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.048 | 0.0001 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 4103.49 | 3.36E+07 | 500 | 1460 | 637.5 | 0.207 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.071 | 0.0002 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 1947.17 | 2.15E+07 | 400 | 1675 | 637.5 | 0.165 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.039 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 3430.57 | 2.36E+07 | 400 | 1360 | 637.5 | 0.181 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.053 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 5554.8 | 4.12E+07 | 400 | 825 | 637.5 | 0.317 | 0.0008 | 0.0036 | 35.0 | 0.154 | 0.0004 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 1865.08 | 2.40E+07 | 400 | 1650 | 637.5 | 0.185 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.045 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 2776.75 | 2.67E+07 | 500 | 1460 | 637.5 | 0.164 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.056 | 0.0001 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 2628.92 | 2.62E+07 | 500 | 1460 | 637.5 | 0.161 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.055 | 0.0001 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |
| 129.09 | 3.20E+07 | 500 | 1875 | 637.5 | 0.197 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.052 | 0.0001 | 0.0036 | 1144.2 | 3 D- 25 | 1471.9 | 572.1 |

| Mu (Nm) | Mu (Nmm) | b (mm) | be (mm) | d (mm) | Rn | ρ perlu | ρ pakai | a (mm) | Rn | ρ perlu | ρ pakai | As bawah (mm ²) | Dipasang As | As pakai | As atas (mm ²) |
|------------|-------------|-----------|------------|-----------|-------|--------------|--------------|-----------|-------|--------------|--------------|--------------------------------|----------------|-------------|-------------------------------|
| 1941.38 | 1.65E+08 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 1.268 | 0.0033 | 0.0036 | 35.0 | 0.318 | 0.0008 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 5769.02 | 1.82E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.140 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.031 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 5617.3 | 1.82E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.140 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.035 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 1619.37 | 1.48E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.114 | 0.0003 | 0.0036 | 35.0 | 0.028 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 4880.3 | 1.22E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.111 | 0.0003 | 0.0036 | 32.3 | 0.026 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 5050.22 | 1.73E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.133 | 0.0003 | 0.0036 | 35.0 | 0.033 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 5603.37 | 1.83E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.141 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.031 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 5798.76 | 1.82E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.140 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.035 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 9334.56 | 1.66E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.128 | 0.0003 | 0.0036 | 35.0 | 0.032 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 8438.09 | 1.45E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.132 | 0.0003 | 0.0036 | 32.3 | 0.031 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 4115.9 | 2.39E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.184 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.046 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 2268.36 | 2.96E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.228 | 0.0006 | 0.0036 | 35.0 | 0.051 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 1110.24 | 2.94E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.226 | 0.0006 | 0.0036 | 35.0 | 0.057 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 3379.88 | 2.29E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.176 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.044 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 7994.25 | 1.74E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.158 | 0.0004 | 0.0036 | 32.3 | 0.037 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 5526.19 | 3.88E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.298 | 0.0008 | 0.0036 | 35.0 | 0.075 | 0.0002 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 2988.26 | 4.44E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.341 | 0.0009 | 0.0036 | 35.0 | 0.076 | 0.0002 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 9821.79 | 4.42E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.340 | 0.0009 | 0.0036 | 35.0 | 0.085 | 0.0002 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 9884.45 | 3.33E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.256 | 0.0007 | 0.0036 | 35.0 | 0.064 | 0.0002 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 5462.82 | 2.11E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.191 | 0.0005 | 0.0036 | 32.3 | 0.044 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 7898.55 | 3.02E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.232 | 0.0006 | 0.0036 | 35.0 | 0.058 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 6129.47 | 3.73E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.286 | 0.0007 | 0.0036 | 35.0 | 0.064 | 0.0002 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|-----|--------|-------|-------|--------|--------|------|-------|--------|--------|-------|---------|--------|-------|
| 4016.76 | 3.68E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.283 | 0.0007 | 0.0036 | 35.0 | 0.071 | 0.0002 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 9264.43 | 2.74E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.210 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.053 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 8929.96 | 1.85E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.168 | 0.0004 | 0.0036 | 32.3 | 0.039 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 8301.23 | 1.94E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.149 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.037 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 3850.79 | 2.29E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.176 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.039 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 9891.98 | 2.25E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.173 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.043 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 5504.32 | 1.92E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.147 | 0.0004 | 0.0036 | 35.0 | 0.037 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 51941.3 | 1.49E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.135 | 0.0003 | 0.0036 | 32.3 | 0.031 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 4079.88 | 1.71E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.131 | 0.0003 | 0.0036 | 35.0 | 0.033 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 8475.27 | 1.55E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.119 | 0.0003 | 0.0036 | 35.0 | 0.027 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 7683.85 | 1.55E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.119 | 0.0003 | 0.0036 | 35.0 | 0.030 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 7162.54 | 1.64E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.126 | 0.0003 | 0.0036 | 35.0 | 0.032 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 3368.95 | 1.50E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.136 | 0.0003 | 0.0036 | 32.3 | 0.032 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 85546.43 | 1.03E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.080 | 0.0002 | 0.0036 | 35.0 | 0.020 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 3323.45 | 8.17E+06 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.063 | 0.0002 | 0.0036 | 35.0 | 0.014 | 0.0000 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 9818.54 | 7.82E+06 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.060 | 0.0002 | 0.0036 | 35.0 | 0.015 | 0.0000 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 8235.56 | 9.63E+06 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.074 | 0.0002 | 0.0036 | 35.0 | 0.019 | 0.0000 | 0.0036 | 915.4 | 3 D- 25 | 1471.9 | 457.7 |
| 3371.84 | 7.19E+06 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.065 | 0.0002 | 0.0036 | 32.3 | 0.015 | 0.0000 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |

| Mu (N m) | Mu (Nmm) | b (mm) | be (mm) | d (mm) | Rn | ρ perlu | ρ pakai | a (mm) | Rn | ρ perlu | ρ pakai | As bawah (mm ²) | Dipasang As | As pakai | As atas (mm ²) |
|-------------|-------------|-----------|------------|-----------|-------|--------------|--------------|-----------|-------|--------------|--------------|--------------------------------|----------------|-------------|-------------------------------|
| 71218.04 | 2.71E+08 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 2.085 | 0.0056 | 0.0056 | 54.5 | 0.522 | 0.0014 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 17939.06 | 2.33E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.179 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.040 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 11497.92 | 2.37E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.182 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.046 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 80548.19 | 2.36E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.181 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.045 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 80777.68 | 2.36E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.214 | 0.0006 | 0.0036 | 32.3 | 0.050 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 80427.89 | 2.36E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.181 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.045 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 49170.3 | 2.44E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.188 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.042 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 23184.93 | 2.87E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.221 | 0.0006 | 0.0036 | 35.0 | 0.055 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 70408.73 | 2.65E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.204 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.051 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 36260.59 | 2.32E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.210 | 0.0005 | 0.0036 | 32.3 | 0.049 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 11400.81 | 2.37E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.182 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.046 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 40116.69 | 2.35E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.181 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.040 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 43195.03 | 2.38E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.183 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.046 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 41099.47 | 2.36E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.182 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.045 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 89459.71 | 2.84E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.257 | 0.0007 | 0.0036 | 32.3 | 0.060 | 0.0002 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 36291.13 | 2.32E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.178 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.045 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 41833.21 | 2.37E+07 | 400 | 1800 | 637.5 | 0.182 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.040 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 40374.2 | 2.36E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.181 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.045 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 40778.77 | 2.36E+07 | 400 | 1597.5 | 637.5 | 0.181 | 0.0005 | 0.0036 | 35.0 | 0.045 | 0.0001 | 0.0036 | 915.4 | 2 D- 25 | 981.3 | 457.7 |
| 39638.42 | 2.35E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.213 | 0.0005 | 0.0036 | 32.3 | 0.049 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |
| 64169.16 | 2.59E+07 | 400 | 1725 | 587.5 | 0.234 | 0.0006 | 0.0036 | 32.3 | 0.054 | 0.0001 | 0.0036 | 843.6 | 2 D- 25 | 981.3 | 421.8 |

$\rho_{min} = 0.0036$
 $\rho_{maks} = 0.0179$

r balance 0.0337
 r maks 0.0253

| No emen | Mu' (Nm) | Mu' (Nmm) | b (mm) | d (mm) | d' (mm) | Rn | ρ_{δ} | ρ' | ρ | ρ pakai | As atas (mm ²) | Dipasang As | As |
|------------|-------------|--------------|-----------|-----------|------------|-------|-----------------|---------|--------|-----------------|-------------------------------|----------------|------|
| 130 | -605424.04 | 6.05E+08 | 500 | 687.5 | 62.5 | 1.601 | 0.0042 | 0.0045 | 0.0088 | 0.0088 | 3010.9 | 6 D- 25 | 2944 |
| 131 | -324012.17 | 3.24E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.467 | 0.0039 | 0.0042 | 0.0081 | 0.0081 | 1899.9 | 4 D- 25 | 1963 |
| 132 | -333621.39 | 3.34E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.510 | 0.0040 | 0.0043 | 0.0083 | 0.0083 | 1957.1 | 4 D- 25 | 1963 |
| 133 | -311152.88 | 3.11E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.409 | 0.0037 | 0.0040 | 0.0078 | 0.0078 | 1823.4 | 4 D- 25 | 1963 |
| 134 | -384620.1 | 3.85E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.741 | 0.0046 | 0.0050 | 0.0096 | 0.0096 | 2261.7 | 5 D- 25 | 2453 |
| 135 | -387384.31 | 3.87E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.489 | 0.0039 | 0.0042 | 0.0082 | 0.0082 | 2083.7 | 5 D- 25 | 2453 |
| 136 | -387433.24 | 3.87E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.490 | 0.0039 | 0.0042 | 0.0082 | 0.0082 | 2084.0 | 5 D- 25 | 2453 |
| 137 | -412050.87 | 4.12E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.584 | 0.0042 | 0.0045 | 0.0087 | 0.0087 | 2218.6 | 5 D- 25 | 2453 |
| 320 | -564598.16 | 5.65E+08 | 500 | 687.5 | 62.5 | 1.493 | 0.0039 | 0.0042 | 0.0082 | 0.0082 | 2804.7 | 6 D- 25 | 2944 |
| 321 | -340375.91 | 3.40E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.541 | 0.0041 | 0.0044 | 0.0085 | 0.0085 | 1997.4 | 5 D- 25 | 2453 |
| 322 | -342973.69 | 3.43E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.553 | 0.0041 | 0.0045 | 0.0086 | 0.0086 | 2012.8 | 5 D- 25 | 2453 |
| 323 | -334065.22 | 3.34E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.512 | 0.0040 | 0.0043 | 0.0083 | 0.0083 | 1959.7 | 5 D- 25 | 2453 |
| 324 | -426582.53 | 4.27E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.931 | 0.0052 | 0.0055 | 0.0107 | 0.0107 | 2513.5 | 5 D- 25 | 2453 |
| 325 | -414990.44 | 4.15E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.596 | 0.0042 | 0.0045 | 0.0088 | 0.0088 | 2234.7 | 5 D- 25 | 2453 |
| 326 | -393881.21 | 3.94E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.514 | 0.0040 | 0.0043 | 0.0083 | 0.0083 | 2119.2 | 5 D- 25 | 2453 |
| 327 | -408428.33 | 4.08E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.570 | 0.0042 | 0.0045 | 0.0086 | 0.0086 | 2198.8 | 5 D- 25 | 2453 |
| 510 | -660345.95 | 6.60E+08 | 500 | 687.5 | 62.5 | 1.746 | 0.0046 | 0.0049 | 0.0096 | 0.0096 | 3289.1 | 6 D- 25 | 2944 |
| 511 | -313643.54 | 3.14E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.420 | 0.0037 | 0.0041 | 0.0078 | 0.0078 | 1838.2 | 4 D- 25 | 1963 |
| 512 | -287832.01 | 2.88E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.303 | 0.0034 | 0.0037 | 0.0072 | 0.0072 | 1684.9 | 4 D- 25 | 1963 |
| 513 | -317953.73 | 3.18E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.439 | 0.0038 | 0.0041 | 0.0079 | 0.0079 | 1863.8 | 4 D- 25 | 1963 |
| 514 | -393102.38 | 3.93E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.780 | 0.0047 | 0.0051 | 0.0098 | 0.0098 | 2312.5 | 4 D- 25 | 1963 |
| 515 | -342314.28 | 3.42E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.316 | 0.0035 | 0.0037 | 0.0072 | 0.0072 | 1838.0 | 4 D- 25 | 1963 |
| 516 | -358218.38 | 3.58E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.377 | 0.0036 | 0.0039 | 0.0075 | 0.0075 | 1924.6 | 4 D- 25 | 1963 |
| 517 | -366735.38 | 3.67E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.410 | 0.0037 | 0.0040 | 0.0077 | 0.0077 | 1971.0 | 4 D- 25 | 1963 |

| No emen | Mu (kg cm) | Mu' (Nmm) | b (mm) | d (mm) | d' (mm) | Rn | $\rho\delta$ | ρ' | ρ | ρ pakai | As atas (mm ²) | Dipasang As | As |
|------------|---------------|----------------|-------------|-------------|--------------|-------|--------------|---------|--------|-----------------|--------------------------------|----------------|------|
| 104 | -420265.23 | 4.20E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.903 | 0.0051 | 0.0055 | 0.0105 | 0.0105 | 2475.5 | 6 D- 25 | 2944 |
| 121 | -433578.9 | 4.34E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.667 | 0.0044 | 0.0047 | 0.0092 | 0.0092 | 2336.5 | 5 D- 25 | 2453 |
| 138 | -434854.67 | 4.35E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.672 | 0.0044 | 0.0048 | 0.0092 | 0.0092 | 2343.5 | 5 D- 25 | 2453 |
| 155 | -407118.92 | 4.07E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.565 | 0.0041 | 0.0044 | 0.0086 | 0.0086 | 2191.6 | 5 D- 25 | 2453 |
| 173 | -319636.45 | 3.20E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.229 | 0.0032 | 0.0035 | 0.0067 | 0.0067 | 1714.7 | 4 D- 25 | 1963 |
| 294 | -496142.42 | 4.96E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 2.246 | 0.0060 | 0.0064 | 0.0125 | 0.0125 | 2933.3 | 6 D- 25 | 2944 |
| 311 | -517575.94 | 5.18E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.990 | 0.0053 | 0.0057 | 0.0110 | 0.0110 | 2798.8 | 6 D- 25 | 2944 |
| 328 | -518288.34 | 5.18E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.993 | 0.0053 | 0.0057 | 0.0110 | 0.0110 | 2802.7 | 6 D- 25 | 2944 |
| 345 | -496633.97 | 4.97E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.909 | 0.0051 | 0.0054 | 0.0105 | 0.0105 | 2683.2 | 6 D- 25 | 2944 |
| 363 | -398412.65 | 3.98E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.532 | 0.0041 | 0.0044 | 0.0084 | 0.0084 | 2144.0 | 5 D- 25 | 2453 |
| 484 | -619676.03 | 6.20E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 2.805 | 0.0076 | 0.0080 | 0.0157 | 0.0157 | 3686.8 | 8 D- 25 | 3925 |
| 501 | -665870.86 | 6.66E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.560 | 0.0069 | 0.0073 | 0.0142 | 0.0142 | 3623.4 | 8 D- 25 | 3925 |
| 518 | -666210.2 | 6.66E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.561 | 0.0069 | 0.0073 | 0.0142 | 0.0142 | 3625.3 | 8 D- 25 | 3925 |
| 535 | -616373.42 | 6.16E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.370 | 0.0064 | 0.0067 | 0.0131 | 0.0131 | 3346.9 | 7 D- 25 | 3434 |
| 553 | -501694.31 | 5.02E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.929 | 0.0051 | 0.0055 | 0.0106 | 0.0106 | 2711.1 | 6 D- 25 | 2944 |
| 596 | -762506.59 | 7.63E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 3.452 | 0.0095 | 0.0099 | 0.0195 | 0.0195 | 4571.3 | 10 D- 25 | 4906 |
| 502 | -816096.82 | 8.16E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 3.138 | 0.0086 | 0.0089 | 0.0175 | 0.0175 | 4470.7 | 10 D- 25 | 4906 |
| 508 | -818596.07 | 8.19E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 3.147 | 0.0086 | 0.0089 | 0.0176 | 0.0176 | 4484.9 | 10 D- 25 | 4906 |
| 514 | -733473.27 | 7.33E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.820 | 0.0077 | 0.0080 | 0.0157 | 0.0157 | 4003.1 | 8 D- 25 | 3925 |
| 523 | -591548.44 | 5.92E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.274 | 0.0061 | 0.0065 | 0.0126 | 0.0126 | 3208.7 | 7 D- 25 | 3434 |
| 556 | -676306.03 | 6.76E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 3.062 | 0.0084 | 0.0088 | 0.0172 | 0.0172 | 4035.7 | 8 D- 25 | 3925 |
| 562 | -742857.53 | 7.43E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.856 | 0.0078 | 0.0081 | 0.0159 | 0.0159 | 4056.0 | 9 D- 25 | 4416 |
| 568 | -742970.17 | 7.43E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.856 | 0.0078 | 0.0081 | 0.0159 | 0.0159 | 4056.7 | 9 D- 25 | 4416 |
| 574 | -658687.16 | 6.59E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.532 | 0.0069 | 0.0072 | 0.0141 | 0.0141 | 3583.2 | 7 D- 25 | 3434 |
| 583 | -551754.98 | 5.52E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.121 | 0.0057 | 0.0060 | 0.0117 | 0.0117 | 2987.9 | 7 D- 25 | 3434 |
| 716 | -535595.01 | 5.36E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 2.425 | 0.0065 | 0.0070 | 0.0135 | 0.0135 | 3172.9 | 7 D- 25 | 3434 |
| 722 | -596832.06 | 5.97E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.295 | 0.0062 | 0.0065 | 0.0127 | 0.0127 | 3238.1 | 7 D- 25 | 3434 |
| 728 | -596775.18 | 5.97E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.294 | 0.0062 | 0.0065 | 0.0127 | 0.0127 | 3237.8 | 7 D- 25 | 3434 |
| 734 | -541622.54 | 5.42E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 2.082 | 0.0056 | 0.0059 | 0.0115 | 0.0115 | 2931.7 | 6 D- 25 | 2944 |
| 743 | -458121.46 | 4.58E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.761 | 0.0047 | 0.0050 | 0.0097 | 0.0097 | 2471.2 | 6 D- 25 | 2944 |
| 776 | -387196.69 | 3.87E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 1.753 | 0.0047 | 0.0050 | 0.0097 | 0.0097 | 2277.1 | 5 D- 25 | 2453 |
| 782 | -448195.42 | 4.48E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.723 | 0.0046 | 0.0049 | 0.0095 | 0.0095 | 2416.7 | 5 D- 25 | 2453 |
| 788 | -445237.96 | 4.45E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.712 | 0.0045 | 0.0049 | 0.0094 | 0.0094 | 2400.5 | 5 D- 25 | 2453 |
| 794 | -399304.19 | 3.99E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.535 | 0.0041 | 0.0044 | 0.0084 | 0.0084 | 2148.9 | 5 D- 25 | 2453 |
| 803 | -363376.74 | 3.63E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 1.397 | 0.0037 | 0.0040 | 0.0077 | 0.0077 | 1952.7 | 5 D- 25 | 2453 |
| 836 | -201952.82 | 2.02E+08 | 400 | 587.5 | 62.5 | 0.914 | 0.0024 | 0.0026 | 0.0050 | 0.0050 | 1177.6 | 2 D- 25 | 981 |
| 842 | -240897.75 | 2.41E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 0.926 | 0.0024 | 0.0026 | 0.0051 | 0.0051 | 1288.4 | 3 D- 25 | 1472 |
| 848 | -243786.51 | 2.44E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 0.937 | 0.0024 | 0.0027 | 0.0051 | 0.0051 | 1304.0 | 3 D- 25 | 1472 |
| 854 | -211246.21 | 2.11E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 0.812 | 0.0021 | 0.0023 | 0.0044 | 0.0044 | 1128.5 | 2 D- 25 | 981 |
| 863 | -181840.26 | 1.82E+08 | 400 | 637.5 | 62.5 | 0.699 | 0.0018 | 0.0020 | 0.0038 | 0.0038 | 970.4 | 2 D- 25 | 981 |

geser Balok Induk

0 MPa

90 MPa

| Tulangan geser sejarak d | | | | | | | | | | Tulangan geser sejarak l | | | |
|--------------------------|----------|---------|---------|--------------------|------------------------|------------------------------|--------|-------------|-------------|--------------------------|---------------|-------------|-------------|
| Vu (N) | L | b mm | d mm | ϕVc (N) | min ϕVs (N) | $\phi Vc +$ min ϕVs | syarat | s (mm) | s (mm) | s (mm) | Dipasang | Vu (N) | s (mm) |
| 2.52E+05 | 8.20E+03 | 500 | 687.5 | 1.88E+05 | 6.88E+04 | 2.57E+05 | kat 3 | 344 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 2.10E+05 | 367 |
| 1.99E+05 | 6.70E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.64E+05 | 459 |
| 2.00E+05 | 6.70E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.65E+05 | 459 |
| 2.43E+05 | 3.30E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.56E+05 | 459 |
| 2.08E+05 | 6.60E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.71E+05 | 459 |
| 2.27E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 3 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.88E+05 | 367 |
| 2.26E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 3 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.87E+05 | 367 |
| 2.35E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 3 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.95E+05 | 367 |
| 2.62E+05 | 8.20E+03 | 500 | 687.5 | 1.88E+05 | 6.88E+04 | 2.57E+05 | kat 4 | 344 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 2.18E+05 | 367 |
| 2.00E+05 | 6.70E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.65E+05 | 459 |
| 1.97E+05 | 6.70E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.62E+05 | 459 |
| 2.71E+05 | 3.30E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.75E+05 | 459 |
| 2.53E+05 | 6.60E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 2.08E+05 | 459 |
| 2.59E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 4 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 2.15E+05 | 367 |
| 2.26E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 3 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.87E+05 | 367 |
| 2.28E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 3 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.89E+05 | 367 |
| 2.53E+05 | 8.20E+03 | 500 | 687.5 | 1.88E+05 | 6.88E+04 | 2.57E+05 | kat 3 | 344 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 2.11E+05 | 367 |
| 2.04E+05 | 6.70E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.68E+05 | 459 |
| 2.00E+05 | 6.70E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.65E+05 | 459 |
| 3.01E+05 | 3.30E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.94E+05 | 459 |
| 2.40E+05 | 6.60E+03 | 400 | 587.5 | 1.29E+05 | 4.70E+04 | 1.76E+05 | kat 4 | 294 | 459 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.97E+05 | 459 |
| 2.28E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 3 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.89E+05 | 367 |
| 2.27E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 3 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 1.88E+05 | 367 |
| 2.41E+05 | 7.50E+03 | 500 | 637.5 | 1.75E+05 | 6.38E+04 | 2.38E+05 | kat 4 | 319 | 367 | 600 | $\phi 10-150$ | 2.00E+05 | 367 |

PROJECT : Gedung Fitness Centre Atlas 3 lantai
 ADDRESS : Jl. Darmahusada Indah, Surabaya
 COORDINATE :
 DEPTH : -35 m
 GROUND WATER LEVEL : -0.40 m
 GROUND SURFACE LEVEL : ± 0.00 m

| SOIL DESCRIPTION | STANDARD PENETRATION TEST | | | | | STRENGTH TEST | | | ATTERBERG LIMITS | | | | | γ | Gs | e ₀ | |
|---|---------------------------|----|----|----|----|---------------|------|------|------------------|----|----------------|----------------|----------------|---|----|----------------|--|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 1000 | 2000 | 4000 | LL | PL | U _c | U _u | U _v | | | | |
| Fill | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clay and silt, grey, inorganic, trace sand, soft. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clay and sand, grey, inorganic, some silt, very soft. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clay and silt, grey, inorganic, trace sand, very soft. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sand, grey, trace silt, medium. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clay and sand, light brown, inorganic, some silt, very stiff to hard. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Silt and fine sand, little clay, medium. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clay and silt, greyish brown, inorganic, little sand, very stiff to hard. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clay and silt, dark grey, inorganic, trace sand, very stiff. | | | | | | | | | | | | | | | | | |

End of Boring

Thin Walled
 SPT
 Cohesion intercept, kg/cm²
 Internal friction angle, deg

UU = Unconsolidated undrained
 CU = Consolidated undrained
 CD = Consolidated drained
 SP1 = Standard penetration test (blows / ft)
 q_u = Unconfined compression strength, kg/cm²

W_n = Moisture content, %
 W_p = Plastic limit, %
 W_L = Liquid limit, %
 γ = Bulk density, t/m³
 G_s = Specific gravity
 e₀ = Void ratio

gan Daya Dukung Tanah
 etode Luciano Decourt (1983)

| Depth (m) | N (blows) | Np (blows) | K (t/m ²) | Ap (m ²) | Qp (ton) | N' (blows) | N (blows) | Ns (blows) | As (m ²) | Qs (ton) | Qu (ton) | Qijin (ton) |
|-----------|-----------|------------|-----------------------|----------------------|----------|------------|-----------|------------|----------------------|----------|----------|-------------|
| 0.0 | 8.0 | | | 0.116 | 13.91 | 3.00 | 9.00 | | 6.28 | 25.1 | 39.0 | 13.0 |
| 0.0 | 8.0 | 8.0 | 15 | | | 3.00 | 9.00 | 9.00 | | | | |
| 0.0 | 8.0 | | | | | 3.00 | 9.00 | | | | | |
| 0.0 | 8.0 | | | 0.116 | 13.91 | 3.00 | 9.00 | | 12.56 | 50.2 | 64.2 | 21.4 |
| 0.0 | 8.0 | 8.0 | 15 | | | 3.00 | 9.00 | 9.00 | | | | |
| 0.0 | 8.0 | | | | | 3.00 | 9.00 | | | | | |
| 0.0 | 8.0 | | | 0.116 | 33.81 | 3.00 | 9.00 | | 18.84 | 90.0 | 123.8 | 41.3 |
| 0.0 | 8.0 | 11.7 | 25 | | | 3.00 | 9.00 | 11.33 | | | | |
| 3.0 | 19.0 | | | | | 17.00 | 16.00 | | | | | |
| 3.0 | 19.0 | | | 0.116 | 58.93 | 7.67 | 11.33 | | 25.12 | 158.6 | 217.6 | 72.5 |
| 0.0 | 17.5 | 20.3 | 25 | | | 23.00 | 19.00 | 15.94 | | | | |
| 4.0 | 24.5 | | | | | 20.00 | 17.50 | | | | | |
| 4.0 | 24.5 | | | 0.116 | 71.00 | 16.89 | 15.94 | | 31.40 | 265.0 | 336.0 | 112.0 |
| 8.0 | 26.5 | 24.5 | 25 | | | 34.00 | 24.50 | 22.31 | | | | |
| 0.0 | 22.5 | | | | | 38.00 | 26.50 | | | | | |
| 0.0 | 22.5 | | | 0.116 | 59.89 | 29.63 | 22.31 | | 37.68 | 309.0 | 368.9 | 123.0 |
| 5.0 | 20.0 | 20.7 | 25 | | | 25.00 | 20.00 | 21.60 | | | | |
| 4.0 | 19.5 | | | | | 30.00 | 22.50 | | | | | |
| 4.0 | 19.5 | | | 0.116 | 48.69 | 28.21 | 21.60 | | 43.96 | 344.9 | 393.6 | 131.0 |
| 6.0 | 20.5 | 21.0 | 20 | | | 26.00 | 20.50 | 20.53 | | | | |
| 1.0 | 23.0 | | | | | 24.00 | 19.50 | | | | | |

ah muka air tanah harus dikoreksi berdasarkan rumus :

$$15 + 0.5(N' - 15)$$

jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk dibawah muka air tanah

Gambar 4.8 Hubungan Kedalaman H dengan P ijin

