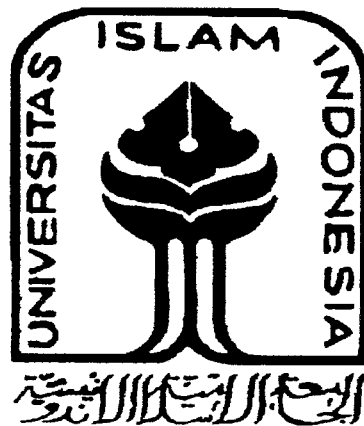
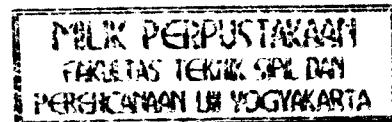


TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAN DESAIN
KOLOM SLENDER PRATEGANG
AKIBAT BEBAN UNIAKSIAL**



Disusun oleh :



Agus Sigit Setiawan

No. Mhs : 97 511 089

N.I.R.M : 970051013114120076

Heri Susanto

No. Mhs : 97 511 201

N.I.R.M : 970051013114120365

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

2002

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAN DESAIN
KOLOM SLENDER PRATEGANG
AKIBAT BEBAN UNIAKSIAL**

Disusun oleh :

Agus Sigit Setiawan
No. Mhs : 97 511 089
N.I.R.M : 970051013114120076

Heri Susanto
No. Mhs : 97511 201
N.I.R.M : 970051013114120365

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir.H.Moch.Teguh,MSCE.

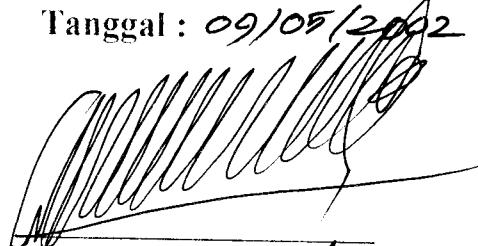
Dosen Pembimbing I

Ir.H.A.Kadir Aboe,MS.

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 09/05/2002



Tanggal : 09/05/2002

Motto dan Persembahan

*“Dan Dia mendapati kamu sebagai orang yang bingung,
lalu Dia memberikan petunjuk”*

*“...katakanlah:” Adakah orang-orang yang mengetahui
sama dengan orang-orang yang tidak mengetahui?
Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat
menerima pelajaran”(Q.S AZ-Zumar: 9)*

*“...Seseungguhnya apabila kamu bersyukur,
pasti Aku akan menambah nikmat-Ku,
dan jika kamu mengingkari,
sesungguhnya azab-Ku sangat pedih”(Q.S Ibrahim: 7)*

*Persembahan,
Dengan perasaan bahagia dan syukur kepada Allah SWT,
Kupersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada
Bapak dan Ibu tercinta,
Serta kakak dan adikku tersayang,
Yang telah memberikan dorongan semangat dan segalanya...*

Zeegate makasih boeat:

Allah SWT sang raja manusia yang telah membuat segalanya jadi mungkin dan telah memberi kemudahan kepadaku dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Segala bentuk ucapan rasa syukur dengan lisan, hati dan perbuatan saya panjatkan kehadiran **Allah Azza Wa Jalla** atas nikmat ilmu pengetahuan yang saya peroleh hingga saat ini dan masa depan yang akan datang, juga rupa-rupa nikmat lain yang begitu banyak hingga tak cukup dituliskan dengan tinta sebanyak air di lautan. "Ya **Allah** bukakanlah dadaku, mudahkanlah urusanku dan hilangkanlah kekakuan lidahku, agar mereka faham perkataanku", "Ya **Allah**, ilhamkanlah kepadaku kecerdasan dan lindungilah aku dari kejahatan nafsuku"

Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan bagi junjungan hamba, **Rosulullah Muhammad SAW** penyampai ajaran Islam yang menjadi cahaya yang slalu menembus kegelapan ummat manusia. Semoga saya selalu menjadi pengikut setia beliau dan mampu turut serta memperjuangkan dan menegakkan *Dienul Islam* sampai akhir jaman. Amien.... Penuntun hidupku **Al-Qur'an dan Al-Hadits**.

Bapak Supardi dan Ibu Sukarsi tersayang, yang telah melahirkan, merawat, mendidik, dan membesarkan serta senantiasa mendoakan aku setiap saat serta membiayai akoe sekolah slama ini.....ingkang putra ngaturaken sa' agenging sembah nuwun. Ya **Allah** semoga Engkau mengampuni keduanya dan memberikan kebaikan sebagaimana keduanya memberi kebaikan kepadaku pada waktu kecil . Ya **Allah** jadikanlah hambamu yang sholeh dan akan selalu berbakti kepada kedua orang tua. Amien....

Kakaku Mas Agus yang slalu memberikan nasehat, perhatian dan dukungan baik moril maupun materiil..... yang slalu kasih akoe pakaian dan celana baru.....thank you very much my brother. Pakdheko Padaredjana dan Budhe beserta mba' Kati' yang telah memberikan dukungan, nasehat dan pengharapan. Eyang Putri almarhumahdo'a-koe slalu untukmoe. Mba' Susi-Mas Risma terima kasih slama ini telah memberi segalanya di djogja dan support-nyananti akoe pasti makan. Elin ...thank you. Ponakankoe Philia ...rajin belajar biar jadi orang pinter dan suksesjangan lupa makan yang banyak biar cepet gemuk.

Bapak Ir. H. Moch Teguh, MSCE dan Bapak Ir. H. A. Kadir Aboe, MS, sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir. Status Pak Teguh sebagai "dosen sibuk" telah membuat aku belajar tentang sifat kesabaran, terutama dalam menunggu untuk konsultasi dan selamat-sukses menempuh S-3 nya, Pak!!!. Serta status Pak Kadir sebagai "dosen pembimbing yang paling baik di Indonesia Raya" yang telah membuka mata kami tentang ilmu-ilmu beton bertulang dan prategang yang cukup menyulitkan dan membingungkan. Terima kasih atas bimbingan ekstranya, Pak!!!. Bapak Ir. Helmi Akbar Bale, MT yang telah menjadi dosen tamu dalam menguji aku di Sidang TA dan ujian Pendadaran bersama Pak Teguh dan Pak Kadir. Pak Helmi.....mohon jadi dosen tamu yang sabar. Terima kasih atas pertanyaan dan pengertiannya, Pak!!!

Mas Naryo, sekretaris PR III yang sering meminjami koran dan slalu bilang sabar ketika menunggu Pak Teguh (walaupun sudah nggak lagi jadi PR III), 'Pak Darusdi' Laboratorium

Hidrolika dan 'Pak Santoro' Teknik Penyehatan, Mas Heri yang sabar mengurus Sidang TA, Pak Basuki yang mengurus ujian Pendadaran (walaupun pusing ngurusin kami minta cepet dan banyaklah senyum, Pak Senyum itu shodaqoh!), Ibu Sundus makasih nasehatnya, mbak Erna suwun transkripe ...gratis, petugas perpustakaan pusat UII dan perpustakaan FTSP UII, Mas Pranoto yang slalu nganter minuman N' snack waktu sidang-pendadaranmatur nuwun.

Adheekkoe Dewi tersayang makasih atas support, dukungan dan perhatianmu yang slalu bisa menghiburkoe; Mba' Wina beserta keluarga makasih tlah beri nasehat, makan-minum kala akoe di semarang; Murtie ..thank's for u'r spirit; Wardha; Bonnie; Shinta; Endang 'adhek'; lin 'Jumbo' .. matur nuwun; Shanty '99....makasih.

Heri Susanto, ST, kowe miki wis dadi tukang insinyur, yang menjadi partner dalam penulisan Tugas Akhir ini.....TA-ne digarap dab! ojo bojo wae ...ojo bal-balan wae. Terima kasih atas kerjasama yang baik selama kuliah di FTSP UII tercinta. Her.....kalo' nunggu yang sabar, jangan cepet bete dan slalu tampak stress-kusut"keep on smiling". Makasih atas kerjasamamu sing api teunan,ojo bosan karo akoe lan ojo lali karo akoe. Berusahalah jadi orang yang sabar karena orang sabar kekasih **Allah** !!!

Teman-teman seperjuangan Eko dan Sembodo'96 yang DP-nya sama, never forget Bandung.....never forget awewe bandung... thank's ITB... kita sama-sama senasib sepenanggungan dari WIKA sampai mana-mana TAPI cepetin selesaiin tuch TA, jangan maen ajaaaaa (abis CM melulu sich); Arif, Bang Helmy, Iqbal, Didit, Hasyim, Haikal, Wiwit, Dhani, Pipit, Gita, Dian yang udah selesai pendadaran duluan; Nofri, Hadi, Khalis yang udah jadi tukang insinyur duluan.....!

Team Bodoh..... halo.....Pak Ketua Panji "Si Boy", makasih loe udah bantuin bikin SAP, udah bisa hibur dikala akoe puuusiiing, udah beri akoe masukkan-nasehat-bimbingan.....jangan bete melulu loe kalo' bete jelek...ha..ha...haaa; Fajar kecret "Si Macan Tidar" makasih kamu udah banyak support akoe dengan candamoe-eyelanmoe-ajakanmoe walau sering bilang ng-Gaya tapi mbok kalo' tidur jangan mbleyeer, makasih kamu bisa bikin akoe slalu ceria; Nur "Gembux" suwun kowe wis nyupport akoe lan kowe sering ajak sharing...makasih masukkannya. *Cret-Mbuk* cepet dan urusin tuch TA kalian, good luck!!! Matur Nuwun Team Bodohkalian adalah sahabat-sahabat baikkoe..... Moga persahabatan kita tetap abadi, ampe tua.

Temen-temenku di kampus FTSP UII tercinta, special for my D'97-class.....kelas D'97..... de-klassip.....: Fajar "kecret", Nur "Gembuk", Panji yang telah bantu SAP-nya makasih banyak nji, Alif, Evi dan Yuning.... Cepet selesaiin TA kalian, Ainoen... tetaplah senyum... jalan yuuuuuukkkk, Pak Yuli, Budi, Rizal, Muklis, Didik H, Arif "Bejo", Irul, Ayoh, Idjo, Nurul, Elsa, Bayu, Johan, Bagus, Adi marwan, Mamad, Wahyu, Satriyo, Lalu, Adit, Agung 'gondrong', Thomas, Djasun selaku moderator seminar TA-koe yang sok' tinggi, Arif "TITIT", topik, Inka, Lika, Ahmad "Tante", Wawan, Amung, Yoeseff, Mario ojo ngantor terus Joko, Ayati, Imed dan semuanya komunitas kelaskoe tercinta..... kelas D'97.

Warga Kost Pinada: Bapak Sugiyono dan Ibu Eko yang telah memberikan tempat akoe istirahat, berpikir, melamun, belajar hingga selesai dan segala bantuan baik moril maupun materiil.....makasih bapak dan ibu; Pipit; Nana; Yudabelajar yaaa.. biar pinter; Yoe' yang slalu nanya kabar TA-koe.....; ReeSka yang slalu bilang udah selesai belon mas TA-moe, Darumakasih semuanya; Daus ..yang slalu bikin ketawa.... Makasih dah ngajak jalan; Ariya...thank's; Sony "Sontong"; Ayo'; Abdi; Mas Risal; Ambar; Sapto; Febri; Andi; Rini makasih semuanya...juga printermoe; Tuti' suwun sak-kabehe; Anggun; Bestin; WiwiMakasih semua love PINADA.....
Teruntuk Eks-Pinada: Om Usman 'Pepen' makasih kamoe udah memperkenalkan dunia yang penuh keanehan.....makasih; Mas Endut; Mas Noer; Mas Sugeng; Adhen; Mbak Luwes; Pak polisi Eko suwun Pak!!!!; Choli.....makasih dah kasih dukungan tuk selesaiin TA sekarang udah selesai nich, dah ngajak jalan-curhat.....suwun.....Dhin!!!!

Konco-konco Melati-Klep SOLO: Sastro; Arman; Agung; Arro; Djoyo 'kocomoto'; Daru; Poundra 'Gendut'; Didit'; Wahyu..... suwun udah bantuin di ITB; Yusuf; Kedho; Dwi 'Kebo'; Arif; Ino'-Ito'; Marsono; Bambang; Hari 'klonthong' dan semua komunitas M-klep yang tak dapat akoe sebut satu-persatu karena akoe lupa dan abis banyak sich.....makasih yaaaaaaaaaaaaaaaaa!!!

Temen-temen asisten Sipil semua.....makasih yaaaaaaaaaaaaaaaa.....

Komunitas Sipil UII'97 makasih semuanya; Affan makasih itunya;Erawan; Danang; Andre ...dah bikin akoe mengenal semua.....haa.....haaaa; Yusuf; Surya; Edi; Azis; Danang W; Agung W; Atok.

Komputer P II-266-koe beserta isinya; Samsung 14"; tape polytron-koe; tipi solytron-koe; motor bebekkoe 'Astrea Prima' tercinta yang slalu nemenin akoe sejak SMU, nganterin aku kuliah dan konsultasi serta selama akoe jalan-jalan di djogja dan luar djogja; buku-bukukoe; kamar kost-koe beserta semua barang milikkoe yang mendukungkoe.

Seluruh civitas akademika dan komunitas FTSP UII semuanya makasih.....!!!!

Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan semangat, dukungan dan do'a untuk keberhasilanku selama ini yang tidak dapat aku sebutkan satu persatu. Semoga **Allah** memberikan balasan yang berlipat ganda atas segala amal baik mereka.

"Belajarliah dari kegagalan, dan berusaha terus pasti kita bisa menyelesaikannya"

Seluruh jagad rayaakoe sudah jadi **SARJANA TEKNIK**....!!!

Heri..... **SPECIAL THANKS TO:**

Subhanallah.....!! Maha suci Allah yang telah memberi kemudahan kepadaku dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Segala bentuk ucapan rasa syukur dengan lisan, hati dan perbuatan saya panjatkan kehadirat Allah Azza Wa jalla atas nikmat ilmu pengetahuan yang saya peroleh hingga saat ini dan masa depan yang akan datang, juga rupa-rupa nikmat lain yang begitu banyak hingga tak cukup dituliskan dengan tinta sebanyak air dilautan.

Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan bagi *khatimul ambiya* Baginda Rosulullah Muhammad SAW penyampai ajaran Islam yang menjadi cahaya penerang dalam kegelapan ummat manusia. Semoga saya selalu menjadi pengikut setia beliau dan mampu turut serta memperjuangkan dan menegakkan *Dienul Islam* sampai akhir jaman. Amien....

Akhir dari selesainya penulisan Tugas akhir ini bukanlah akhir dari segalanya, masih lebih banyak lagi tantangan yang harus saya hadapi dan selesaikan diwaktu mendatang. Namun ingin saya sampaikan *jazzaakumulahu khoeron katsiro* kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung serta mendo'akan saya sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

- Bapak dan Ibu tersayang, yang telah melahirkan, merawat, mendidik, dan membesarkan serta senantiasa mendoakan aku setiap saat. Ya Allah semoga Engkau mengampuni keduanya dan memberikan kebaikan sebagaimana keduanya memberi kebaikan kepadaku pada waktu kecil. Ya Allah jadikanlah hambamu yang sholeh dan akan selalu berbakti kepada kedua orang tua. Amien....
- Mba' Supri, Mas Yanto, Mas Yadi, Mas Agus, Mba' Harti, Mas Harto sebagai kakakku dan adikku Agung yang paling bladus. Matur nuwun, selama ini sudah *mensupport* aku. Spesial buat Mba' Harti....Semoga pernikahan kalian menjadi keluarga yang sakinah dan segera mendapatkan momongan yang sholeh dan sholihah. Amien...
- Buat yang terkasih dan tersayang Ambar Setyarini!!!! makasih atas pengertian n' telponnya. Atas petuahmu yang bijak akhirnya aku capai juga gelar ST.....!!!!
- Bapak Ir. H. Moch Teguh, MSCE dan Bapak Ir. H. A. Kadir Aboe, MS, sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir. Status Pak Teguh sebagai "dosen sibuk" telah membuat aku belajar tentang sifat kesabaran, terutama dalam menunggu untuk konsultasi. Serta status Pak Kadir sebagai " dosen pembimbing yang paling baik se-Indonesia " yang telah membuka mata kami tentang ilmu-ilmu prategang yang cukup menyulitkan. Terima kasih atas bimbingannya, Pak!
- Bapak Ir. Helmi Akbar Bale, MT yang telah menjadi dosen tamu dalam menguji aku di Sidang TA dan ujian Pendadaran bersama Pak Teguh dan Pak Kadir . Pak Helmi.....mohon jadi dosen tamu ojo galak-galak terutama pada kaum lelaki. Terima kasih atas pembantaianya, Pak!

- Mas Naryo, sekretaris PR III yang sering meminjami koran ketika menunggu Pak Teguh (walaupun sudah ngga' lagi jadi PR III), Pak darusdi s'laku pengurus Laboratorium Hidrolika dan Pak Santoro s'laku pengurus Teknik Penyehatan, Mas Heri yang sabar mengurus Sidang TA, Pak Basuki yang mengurus ujian Pendadaran (walaupun pusing ngurusin kami minta cepet dan banyaklah senyum, Pak Senyum itu shodaqoh!), petugas perpustakaan pusat UII dan perpustakaan FTSP UII, Mas Pranoto yang slalu nganter minuman N' snack waktu sidang-pendadaranmatur nuwun.
- Agus Sigit Setiawan, ST (zeegate), yang menjadi pasangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas kerjasama yang baik selama kuliah di FTSP UII tercinta. Prinsip "**lembur mbengi**" ternyata cocok buat kerjasama kita dalam menyelesaikan TA. Berusahalah jadi anak yang rajin demi masa depanmu !!!
- Teman- teman seperjuangan Eko dan Sembodo'96 yang DP-nya sama, makasih kita udah ampe Bandung.....inget awewe bandung... thank's ITB... kita sama-sama senasib dari WIKA sampai mana-mana, sorry aku duluan yaaa.....cepatan selesaiin tuch TA, jangan maen ajaaaaa; Arif, Bang Helmy, Iqbal, Didit, Hasyim, Haikal, Wiwit, Dhani, Pipit, Gita, Dian yang udah selesai pendadaran duluan; Nofri, Hadi, Khalis yang udah jadi tukang insinyur duluan.....!
- Temen-temenku di kampus FTSP UII tercinta, terutama kelas D'97.....de-klaspip: Fajar "kecret", Nur "Gembuk", Panji yang telah bantu SAP-nya makasih banyak nji, Alif yang pinjemi celana item buat sidang, Evi dan Yuning.... Cepet selesaiin TA kalian, Ainoen, Pak Yuli, Budi, Rizal, Muklis, Didik H, Arif "Bejo", Irul, Ayoh, Idjo, Nurul, Djasun selaku moderator sidang yang sok' tinggi, Arif dan topik selaku masih satu rumpun "Purwokerto", Inka, Lika, Ahmad "Tante", Wawan, Amung, Yoeseff, Mario ojo ngantor terus, Elsa, Bayu, Johan, Bagus, Adi marwan, Mamad, Wahyu, Satriyo, Lalu, Adit, Agung 'gondrong', Thomas, Joko, Ayati, Imed dan semuanya komunitas kelaskoe tercinta kelas D.
- Klub maen bola kelas D: Bagus selaku kapten, Arif, Johan, Bayu, Budi, Soni, Hari, Heri, Yoga, Lalo, Si Boy ... berusahalah menjadi " The Dream Team" walaupun setiap tanding kalah terus.....good luck friends.
- Kangge ibu kost-ku yang telah banyak mendukung dan memberi do'a...matur muwun sanget bu... kangge bapak kost, matur nuwun atas segala penawaran-penawaran yang diberikannya terutama tawaran untuk makan. Kanggo fitri yang paling cakep serumah.....makasih atas secarik kertas yang berisi do'a dadi aku iso lolos soko sidang dan pendadaran, terima kasih juga uang yang telah dipinjamkan pada aku sehingga aku bisa menyambung hidup di Jogja.
- Komunitas kost-an Bu Marjono: Mas Teguh yang lulus duluan, Bang Ican yang nggarap TA kapan rampungnya bang..., Bang Boy kapan kita main bola lagi, Mas Jeje aja mbojo bae...., Yousef yang lebih dulu cabut dari kost, Mas Susilo, Sahat, Herman, Parman, Edi, Habib, Mas Sukidi ampun terlalu stress ngurusi reparasine, istirahat rumiyin mas.....
- Temen-temenku di kampung Condong-Catur, Nila"condro"+Toni"Bladus", Erna+Lehan, makasih atas kebersamaannya, Wiwin, Arum, Ratna, Popi yang hidup dalam satu atap.

- Komputer P II-300 milikku beserta isinya(walaupun sempat rusak waktu TA), GTC 14", tape polytron-koe, kaset-kaset jamrut-ku dari album pertama ampe terakhir sampe bosan ngedengerinnya, tipi polytron-koe, GL-MAX-koe yang selalu nganterin konsultasi sampe perumahan Nogo-Tirto dan konsultasi serta jalan-jalan selama akoe di djogja, BJC-265 SP, buku-bukukoe serta semua barang milikkoe yang mendukungkoe.
- Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan semangat, dukungan dan do'a untuk keberhasilanku selama ini yang tidak dapat aku sebutkan satu persatu. Semoga Allah memberikan balasan yang berlipat ganda atas segala amal baik mereka.

Wahai manusia yang ada diatas bumi... akoe sudah lulus **SARJANA TEKNIK**...!!!

Akoe yang bersyukur dan ngucapin terima kasih,

Heri Susanto

PRAKATA

Assalamu` allaikum wr.wb.

Puji dan syukur senantiasa dihaturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta salam dan shalawat kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan lancar tanpa hambatan yang cukup berarti.

Tugas Akhir ini dilaksanakan sebagai salah satu syarat dalam rangka menempuh jenjang Srata Satu (S-1) di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini telah banyak diperoleh bantuan, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak, baik moral maupun material. Untuk itu, diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. H. Moch Teguh, MSCE, selaku dosen pembimbing I dan penguji Tugas Akhir
2. Bapak Ir. H. A. Kadir Aboe, MS, selaku dosen pembimbing II dan penguji Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Phd., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. H. Munadhir. MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

DAFTAR ISI

| | |
|-----------------------------|------|
| Halaman Judul | i |
| Lembar Pengesahan | ii |
| Motto dan Persembahan | iii |
| Prakata | iv |
| Daftar Isi | vi |
| Daftar Tabel | x |
| Daftar Gambar | xi |
| Daftar Lampiran | xiii |
| Daftar Notasi | xiv |
| Intisari | xix |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|--|---|
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Batasan Masalah | 3 |
| 1.3. Rumusan Masalah | 4 |
| 1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian | 5 |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

| | |
|---|---|
| 2.1. Umum | 6 |
| 2.2. Konsep Dasar Beton Prategang | 6 |

BAB IV ANALISIS DAN DESAIN

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Umum | 38 |
| 4.2 | Gaya-gaya yang Bekerja pada Struktur | 41 |
| | 4.2.1 Perhitungan gaya geser dasar akibat gempa..... | 41 |
| | 4.2.2 Perhitungan beban akibat gaya gravitasi | 45 |
| 4.3 | Gaya Aksial dan Momen pada Kolom | 51 |
| 4.4 | Desain Kolom Prategang | 52 |
| | 4.4.1 Beban gravitasi | 53 |
| | 4.4.2 Beban gravitasi dan gempa | 58 |
| 4.5 | Gaya dan Tulangan Geser Kolom | 60 |
| 4.6 | Diagram Interaksi Kolom Prategang | 64 |
| 4.7 | Diagram Interaksi Kolom Beton Bertulang | 75 |

BAB V HASIL DESAIN DAN PEMBAHASAN

| | | |
|------|---|----|
| 6.1. | Umum | 91 |
| 6.2. | Hasil Desain | 91 |
| 6.3. | Pembahasan | 93 |
| | 6.3.1 Eksentrisitas, beban, dan momen pada kolom | 94 |
| | 6.3.2 Pengaruh kelangsingan dari kolom beton prategang..... | 96 |
| | 6.3.3 Analisis dan desain kolom prategang..... | 96 |

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

| | | |
|------|------------------|----|
| 7.1. | Kesimpulan | 98 |
|------|------------------|----|

| | |
|-----------------------------|------------|
| 7.2. Saran-saran | 99 |
| DAFTAR PUSTAKA | 100 |
| LAMPIRAN | 101 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.11. Distribusi regangan | 70 |
| Gambar 4.12. Diagram interaksi kolom beton prategang | 74 |
| Gambar 4.13. Penampang melintang kolom | 75 |
| Gambar 4.14. Diagram regangan dengan sisi terluar = 0 | 76 |
| Gambar 4.15 Distribusi regangan | 80 |
| Gambar 4.16 Diagram interaksi kolom beton bertulang biasa | 89 |
| Gambar 4.17 Perbandingan diagram interaksi kolom | 90 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Prosedur analisis dan *flow chart*.
- Lampiran 2 Tipe baja tulangan.
- Lampiran 3a Input perhitungan beban menggunakan SAP 2000.
- Lampiran 3b Output perhitungan beban yang terjadi dari SAP 2000.
- Lampiran 4 Perhitungan tegangan.

DAFTAR NOTASI

- a = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen pada tegangan tekan beton, mm.
- a_b = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen pada keadaan *balance*, mm.
- A_g = luas bruto penampang beton, mm².
- A_n = luas netto penampang beton, mm².
- A_{ps} = luas tulangan prategang pada daerah tarik, mm².
- A'_{ps} = luas tulangan prategang pada daerah tekan, mm².
- A_{st} = luas total tulangan prategang pada kolom, mm².
- A_t = luas penampang transformasi, mm².
- A_v = luas sengkang, mm².
- b = lebar kolom, mm.
- c = jarak dari serat terluar ke garis netral, mm.
- c_b = jarak dari serat terluar ke garis netral pada kondisi *balance*, mm.
- C_{cn} = Gaya desak yang ditahan beton, N.
- C_m = faktor koreksi terhadap besar momen dan macam kelengkungannya.
- d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm.
- d' = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan, mm.
- D = beban hidup, N.
- e = eksentrisitas gaya terhadap sumbu, mm.
- e_b = eksentrisitas gaya terhadap sumbu pada kondisi *balance*, mm.
- E = beban gempa, N.
- E_c = modulus elastisitas beton, Mpa.

- M_n = (momen yang terjadi) momen nominal penampang, Nmm.
- M_u = (momen ultimit) momen terfaktor pada penampang, Nmm.
- M_1 = momen primer (hasil) pada balok menerus, Nmm.
- M_2 = momen primer (hasil) pada balok menerus, Nmm.
- M_{1s} = nilai yang lebih kecil dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan yang dipengaruhi beban lateral, Nmm.
- M_{2s} = nilai yang lebih besar dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan yang dipengaruhi beban lateral, Nmm.
- M_{1ns} = nilai yang lebih kecil dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan yang tidak dipengaruhi beban lateral, Nmm.
- M_{2ns} = nilai yang lebih besar dari momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan yang tidak dipengaruhi beban lateral, Nmm.
- $N_{g,k}$ = Gaya aksial akibat beban gravitasi, N.
- $N_{i,k}$ = Gaya aksial akibat beban gempa, N.
- N_u = Beban aksial terfaktor, N.
- P = beban super posisi, N.
- P_c = beban kritis pada kolom, N.
- P_e = gaya prategang efektif sebelum kehilangan gaya tegangan, N.
- P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan, N.
- P_{nb} = kuat beban aksial nominal pada keadaan balance, N.
- P_u = beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan, $\leq \phi P_n$, N.
- P_{u7} = beban aksial terfaktor pada kolom 7, N.
- r = radius grasi penampang kolom, mm.

- s = jarak sengkang, mm.
- T_s = kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh tulangan torsi, N.
- T_{sn} = gaya tarik yang ditahan tulangan prategang, N.
- T'_{sn} = gaya tekan yang ditahan tulangan prategang, N.
- U = kuat perlu, N.
- V_c = gaya geser beton, N.
- $V_{u,k}$ = gaya geser beton terfaktor, N.
- $V_{u,k,r}$ = gaya geser rencana beton, N.
- V_s = kuat geser nominal, N.
- $\Delta\varepsilon_{ps}$ = Perubahan regangan pada daerah baja prategang A_{ps} sebagai tulangan tarik.
- $\Delta\varepsilon'_{ps}$ = Perubahan regangan pada daerah baja prategang A'_{ps} sebagai tulangan desak.
- δ = faktor pembesar momen untuk rangka.
- δ_s = faktor pembesar momen untuk rangka yang dipengaruhi goyangan kesamping,
- δ_{ns} = faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak dipengaruhi goyangan kesamping.
- β = rasio bentang bersiah arah memanjang terhadap arah melebar plat dua arah, atau rasio antara sisi terpanjang terhadap sisi pendek.
- β_1 = rasio reduksi tinggi blok tegangan tekan ekivalen beton.
- β_d = rasio beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum, dimana beban yang ditinjau hanya beban gravitasi dalam menghitung P_o atau rasio beban lateral terfaktor pada tingkat yang ditinjau dalam perhitungan P_i .
- α = perubahan sudut total dari profil tendin pascatarik dari ujung angkur ketitik x.

α, β, γ = konstanta puntir (torsion).

ψ = faktor kekangan ujung kolom.

ψ_A = faktor kekangan ujung atas kolom.

ψ_B = faktor kekangan ujung bawah kolom.

ψ_m = nilai ψ rata-rata pada kedua ujung batang tekan.

ϕ = faktor reduksi kekuatan.

ϵ_{ce} = regangan tekan merata pada beban akibat prategang efektif.

ϵ_{cu} = regangan pada serat terluar dari beton pada kekuatan nominal.

ϵ_{pe} = regangan pada baja prategang akibat tegangan efektif f_{pe} .

ϵ_{ps} = regangan pada prategang.

ϵ_s = regangan pada baja.

ϵ_y = regangan leleh pada baja.

INTISARI

Kolom menempati posisi yang penting di dalam suatu sistem struktur bangunan karena mempunyai fungsi meneruskan beban dari struktur atas ke struktur bawah. Dengan gaya aksial dan momen yang besar agar dapat ditahan oleh kolom, maka penggunaan kolom dengan beton prategang sangatlah memungkinkan.

Pada penelitian ini struktur yang dianalisis adalah kolom slender beton prategang untuk struktur 4 lantai dengan tinjauan pada potongan II tingkat 2 kolom 6 yang memikul momen uniaksial. Pada perhitungan kapasitas kolom, proses perhitungan menggunakan konsep *trial and error* dan metode pembesaran momen (*moment magnification method*). Hal ini untuk mendapatkan beban, momen, dan eksentrisitas yang sesuai dengan nilai yang diperlukan, sehingga akan diperoleh ukuran penampang kolom slender beton prategang yang mampu menahan beban kerja akibat kombinasi beban hidup, beban mati, dan beban gempa. Dalam proses perhitungan, faktor yang berpengaruh meliputi dimensi penampang, kuat tekan beton, jumlah tendon dan regangan pada kabel prategang.

Dengan efek prategang yang ditimbulkan, kolom beton prategang lebih efektif apabila menerima beban eksentris karena terdapat tegangan internal pada tendon, sehingga kapasitas momen akan bertambah. Pada kondisi inilah nilai momen untuk kolom beton prategang $M_n = 261,77$ kN-m lebih besar daripada kolom beton bertulang $M_n = 72,37$ kN-m. Sedangkan pada kolom beton bertulang lebih efektif apabila menerima beban sentris karena tulangan pada bagian desak ikut membantu beton dalam menahan desak, sehingga mengakibatkan kemampuan menahan gaya desak beton bertambah. Ini ditunjukkan bahwa untuk kolom beton prategang $P_n = 5102,22$ kN lebih kecil dibandingkan kolom beton bertulang $P_n = 5936,40$ kN. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya efek prategang menyebabkan berkurangnya kemampuan kolom dalam menahan beban aksial tetapi meningkatkan kemampuannya dalam menahan momen. Efek prategang juga akan mengurangi nilai tekuk yang terjadi, sehingga untuk kolom beton prategang nilai rasio kelangsingannya lebih tinggi daripada kolom beton bertulang.

Hasil analisis dan desain pada kolom 6 diperoleh dimensi 400mm x 400 mm dengan menggunakan lima strand tujuh kawat 270K diameter 12,7 mm pada masing masing sisi sejajar sumbu netral.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kolom merupakan salah satu bagian struktur bangunan yang menahan beban aksial dan lentur. Kolom menempati posisi yang penting di dalam suatu sistem struktur bangunan karena mempunyai fungsi meneruskan beban-beban vertikal dari struktur atas ke struktur bawah. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen lain yang berhubungan dengannya. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur kolom harus memperbutungkan kekuatan lebih tinggi daripada struktur lainnya ("*strong column - weak beam*"). Kolom itu sendiri dapat diklasifikasikan menjadi tiga berdasar panjangnya, yaitu:

1. kolom pendek (*short slender column*),
2. kolom sedang,
3. kolom panjang (*slender column*).

Kolom sebagai struktur penyangga harus menahan juga beban-beban lain seperti beban lateral dari angin dan gempa, juga gaya geser akibat pembebanan plat dan balok. Seluruh beban itu akan menimbulkan momen pada kolom. Hal ini menuntut penggunaan kolom yang mampu menahan momen yang besar. Momen pada kolom ini akan menyebabkan terjadinya lentur pada bagian-bagian dari kolom. Pada momen yang besar, gaya lentur yang terjadi juga semakin besar.

Pada dasarnya teknologi beton dapat dibedakan menjadi beton bertulang biasa, beton prekas, beton komposit, dan beton prategang. Salah satu cara untuk mengefektifkan kekuatan beton secara menyeluruh adalah dengan menggunakan

sistem prategang yaitu pemberian tegangan awal melalui tendon sehingga kelemahan beton pada tarik dapat diatasi. Keuntungan-keuntungan dari pemakaian beton prategang antara lain:

1. struktur dapat didesain tanpa mengalami lendutan atau dibatasi lendutannya pada beban kerja sehingga struktur terbebas dari retakan,
2. struktur lebih langsing jika dibandingkan dengan beton konvensional, sehingga lebih menghemat biaya terutama pada penggunaan dengan volume yang cukup besar,
3. struktur memiliki perlawanan yang meningkat terhadap gaya geser yang disebabkan oleh pengaruh penegangan, yang mengurangi tegangan tarik,
4. struktur lentur menjadi lebih kaku pada beban-beban kerja daripada struktur beton bertulang.

Komponen struktur prategang sebagian diterapkan pada struktur yang direncanakan dengan mengizinkan terjadinya tegangan tarik pada beban kerja, dan di daerah tarik yang demikian biasanya diberi tulangan tambahan dengan tulangan biasa. Sementara, prategang penuh diterapkan pada beton yang tidak ada tarikan sama sekali. Beberapa struktur dengan sistem prategang penuh telah menyebabkan lendutan keatas (*camber*) yang terlalu besar, yang tidak dikehendaki oleh para perencana bangunan. Dalam praktek, sangat sulit untuk mengklasifikasi apakah prategang penuh atau sebagian, karena tergantung pada besarnya beban kerja yang digunakan dalam perencanaan.

Pada umumnya beton prategang digunakan pada struktur balok untuk menahan momen yang besar dengan tujuan antara lain mengurangi retak akibat beban

dan momen yang bekerja. Cara inilah yang akan diterapkan pada kolom prategang dengan tujuan meningkatkan kemampuan dalam menahan momen yang terjadi dan juga mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan tekuk pada kolom.

Perencanaan kolom prategang pada dasarnya menggunakan prinsip dasar dari struktur beton bertulang biasa. Perbedaannya terletak pada pengaruh tekanan yang terjadi pada baja prategang. Penggunaan baja prategang pada kolom ini akan menyebabkan pengurangan kemampuan terhadap tekan murni dan mampu meningkatkan ketahanannya terhadap momen yang terjadi. Adanya tekuk di tengah tinggi kolom, dapat dikurangi dengan pengaruh tegangan dari untai kawat prategang pada beton.

Pada kolom slender prategang yang menerima beban uniaksial, kapasitas dukung beban yang terjadi ditentukan oleh tekuk pada tingkatan tegangan yang relatif rendah, dan sangat dipengaruhi oleh eksentrisitas dan tidak lurusnya kolom. Untuk mencegah adanya tekuk yang terjadi, diperlukan evaluasi terhadap rasio kelangsingan dan reduksi kekuatan yang harus disertakan dalam perhitungan kolom.

Dengan memperhatikan sifat-sifat kolom prategang di atas diharapkan mampu menahan tekuk yang terjadi. Oleh karena itu, kolom slender prategang merupakan satu alternatif yang menarik untuk dikaji lebih lanjut agar memberikan hasil yang bermanfaat.

1.2 Batasan Masalah

Agar penulisan tidak menyimpang dari tujuan, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. struktur berupa kolom slender beton prategang,
2. perencanaan berpedoman pada ACI 318-89,
3. kolom beton prategang dengan lentur satu arah atau *uniaxial bending* yang disesuaikan dengan SK-SNI T-15-1991-03,
4. jenis struktur prategang adalah *postensioning* dan *bonded* tendon yang *digrouting*,
5. penampang kolom berbentuk persegi,
6. kolom prategang dianggap tidak retak baik saat transfer maupun saat layan,
7. *end block* tidak dibahas dalam tugas akhir ini,
8. kolom tidak memperhitungkan analisis order kedua,
9. portal terdiri dari empat tingkat,
10. sistem prategang menggunakan prategang penuh,
11. tulangan non prategang tidak diperhitungkan,
12. kehilangan gaya prategang sebesar 15%,
13. struktur terletak di wilayah gempa 3 dan terletak di atas tanah lunak.

1.3. Rumusan Masalah

Dari permasalahan yang ada maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut ini:

1. bagaimana mendesain kolom slender beton prategang yang mampu menahan beban uniaksial (akibat beban gravitasi, akibat beban gravitasi dan beban gempa),

2. peninjauan kemampuan kolom beton prategang dan beton bertulang dengan menggunakan diagram interaksi P_n - M_n .

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui cara menganalisis dan mendesain kolom slender beton prategang akibat lentur uniaksial yang mampu menahan beban kerja dan untuk mengetahui perbedaan antara kolom beton prategang dengan kolom beton bertulang biasa. Manfaat yang hendak dicapai pada penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui keuntungan kolom beton prategang, sehingga memperluas penggunaan sistem beton prategang yang selama ini terpakai pada balok dan plat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa, sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban luar, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangnya (T.Y. Lin dan Ned H. Burns, 2000). Beton prategang memerlukan material beton dengan kekuatan tekan tinggi pada usia cukup muda, dan baja (tendon) dengan kekuatan tarik tinggi.

Komponen struktur kolom adalah komponen struktur yang berfungsi memikul beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Suatu komponen struktur prategang tidak mengalami aksi kolom akibat gaya prategangnya sendiri, tetapi ia mengalami aksi kolom akibat beban tekan eksternal sama seperti kolom dari bahan lainnya. Gaya prategang tidak akan menimbulkan tekuk jika elemen baja dan beton melendut secara bersama, sehingga tidak ada perubahan eksentrisitas gaya prategang pada beton.

2.2 Konsep Dasar Beton Prategang

Lin dan Burns (2000) mengemukakan ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang, yaitu sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis, sistem prategang untuk

kombinasi baja mutu tinggi dengan beton dan sistem prategang untuk mencapai perimbangan beban (*load balancing*). Hal ini penting bagi seorang perancang untuk mengerti ketiga konsep tersebut supaya dapat mendesain beton prategang seefisien mungkin.

2.2.1 Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.

Konsep ini dikemukakan oleh Eugene Freyssinet (1939), yang memvisualisasikan beton prategang adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan gaya desak terlebih dahulu (pratekan) pada beton. Dari konsep ini lahirlah kriteria tidak ada tegangan tarik pada beton berarti tidak akan terjadi retak, dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan berubah menjadi bahan yang elastis. Atas dasar pandangan ini, beton dianggap sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan yaitu gaya internal dan gaya eksternal. Dengan tarikan akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang, sedangkan retak pada beton akibat beban eksternal dicegah atau diperlambat dengan pratekan yang dihasilkan oleh tendon.

2.2.2 Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton.

Seperti halnya pada beton bertulang, beton prategang merupakan kombinasi dari baja-prategang (menahan tarik) dan beton (menahan tekan), kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan kopel eksternal. Jika baja mutu tinggi digunakan sebagai tulangan pada beton bertulang, maka akan terjadi retak-retak pada bagian tarik sebelum seluruh kekuatan baja dipasang. Karena itu pada beton

prategang untuk memanfaatkan seluruh kekuatan baja mutu tinggi, baja ditarik terlebih dahulu dan dijangkarkannya ke beton. Dengan demikian diperoleh tegangan dan regangan yang diinginkan untuk kedua bahan.

2.2.3 Sistem prategang untuk mencapai perimbangan beban (*load balancing*).

Konsep *load balancing* pada prinsipnya adalah gaya-gaya luar (beban mati dan sebagian beban hidup) pada struktur akan diimbangi oleh gaya-gaya dalam yang disebabkan oleh gaya prategangan. Penerapan dari konsep ini beton dianggap sebagai benda bebas (*freebody*) dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja merata pada beton sepanjang bentangan sehingga diperoleh gaya-gaya yang seimbang.

2.3 Hasil Analisis dan Penelitian Sebelumnya

Firmadi Ulfa dan Lisa Rulyanti (1997), menyimpulkan bahwa tahanan geser yang mampu disumbangkan oleh beton selain dipengaruhi oleh mutu beton dan dimensi tampang dari kolom, juga dipengaruhi oleh gaya aksial yang bekerja pada kolom tersebut.

Lin dan Burns (2000), mengungkapkan bahwa kolom disamping memikul beban tekan juga menahan beban transversal. Lenturan akibat beban transversal ini boleh jadi akan lebih besar dari tegangan tekan aksial pada titik-titik tertentu, sehingga menimbulkan tarikan pada kolom. Dengan demikian, sebaiknya kita memperkuat kolom yang demikian terhadap kemungkinan tarikan. Pemberian gaya prategang pada kolom akan berfungsi menahan sejumlah tarikan dan mengurangi

lendutan akibat beban transversal. Pemberian gaya prategang aksial pada kolom langsing tidak berpengaruh pada beban aksial tambahan yang akan mengakibatkan kolom tersebut tertekuk. Penggunaan baja mutu tinggi memberikan penampang yang lebih kecil untuk kolom beton prategang daripada beton bertulang biasa.

J.A. Rodriguez-Gutierrez dan J. Dario Aristizabal-Ochoa (2001), mengatakan bahwa kolom-kolom panjang beton bertulang (R/C), beton prategang parsial (PP/C), dan beton prategang penuh (FP/C) terdapat tiga bagian perhitungan yang harus diperhatikan: (1) untuk berbagai kondisi kolom (seperti perhitungan dan penggambaran diagram P-M), (2) pada bagian bentang kolom (sebagai contoh, perhitungan analisis orde kedua untuk mendapatkan $P-\delta$ dan $P-\Delta$), (3) untuk berbagai kondisi dukungan.

J.A. Rodriguez-Gutierrez dan J. Dario Aristizabal-Ochoa (2001), menyatakan bahwa perhitungan dan penggambaran diagram P-M untuk analisis orde kedua pada kolom-kolom panjang beton bertulang (R/C), beton prategang sebagian (PP/C), dan beton prategang penuh (FP/C) dapat menggunakan prinsip atau cara algoritma.

Nawy (1996), menyatakan bahwa prinsip perhitungan atau desain kolom beton prategang pada dasarnya hampir sama dengan kolom beton bertulang biasa.

N. Krishna Raju (1986), menyatakan bahwa kapasitas dukung beban dari kolom panjang ditentukan oleh tekuk pada tingkat-tingkat tegangan yang relatif rendah, dan sangat dipengaruhi oleh eksentrisitas dari beban kerja dan tidak lurusnya kolom.

Sudarmoko (1996) menyatakan bahwa kolom memikul beban aksial dan momen yang dapat ditimbulkan oleh kekangan ujung akibat pengecoran yang monolit dari balok-balok lantai dan kolom atau karena eksentrisitas yang terjadi akibat

ketidaktepatan letak dan ukuran kolom, beban yang tidak simetris akibat perbedaan tebal plat di sekitar kolom atau karena ketidaksempurnaan lainnya.

Zulpan Azmi N, Budi Santoso (2001), menyimpulkan bahwa semakin besar diameter rongga yang terdapat dalam kolom yang mendapat beban eksentris, semakin besar pula pengurangan kuat aksial nominal dari kolom tersebut, dan semakin besar rongga akan semakin kecil kolom akan mengalami momen dibandingkan kolom tanpa rongga.

Marin N. Simanjuntak dan Felix V Chandrasyah (2000), menyimpulkan bahwa penggunaan kolom pendek yang diberi gaya prategang sebaiknya digunakan pada kondisi-kondisi tertentu saja, misalnya digunakan pada daerah yang memerlukan kekuatan momen lentur lebih dominan dibandingkan kebutuhan akan kuat tekannya.

Dari analisis dan penelitian sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa adanya efek tegangan pada baja dapat meningkatkan kemampuan beton dalam menahan momen dan menahan sejumlah tarikan dan mengurangi lendutan akibat beban transversal. Dari kesimpulan diatas, dapat diamati dan dikaji lagi apakah pernyataan tersebut berlaku untuk kolom slender beton prategang akibat beban uniaksial.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perilaku Kolom Slender Prategang

Suatu komponen struktur prategang tidak mengalami aksi kolom akibat gaya prategangnya sendiri, tetapi ia mengalami aksi kolom akibat beban tekan eksternal sama seperti kolom dari bahan lainnya. Gaya prategang tidak akan menimbulkan tekuk jika elemen elemen baja dan beton melendut secara bersama, sehingga tidak ada perubahan eksentrisitas gaya prategang pada beton. (T.Y Lin dan Ned H. Burns, 2000)

Bila pada sebuah kolom biasa dibawah pengaruh beban eksternal melendut, maka momen tambahan akan timbul pada penampang karena beban luar tadi bekerja dengan eksentrisitas yang berbeda pada penampang tersebut. Komponen struktur yang tertekan secara internal namun tanpa beban eksternal dimana baja dan beton melendut bersama maka tidak ada perubahan eksentrisitas gaya prategang pada beton, bagaimanapun lendutan komponen struktur tersebut, sehingga tidak ada perubahan momen akibat lendutan pada komponen struktur dan tidak ada aksi kolom.

Dalam praktek, beberapa komponen-struktur tekan adalah kolom-kolom slender (panjang), yang kekuatannya diturunkan secara signifikan oleh efek kelaungingan. Kolom beton prategang yang menggunakan bahan-bahan yang memiliki kekuatan yang lebih tinggi, lebih disukai yang memiliki arah sumbu x yang lebih kecil daripada arah sumbu y pada kolom beton yang diperkuat. Kasus ideal yang

benar-benar lurus, beban konsentris, kolom slender dipecahkan oleh Euler lebih dari 200 tahun lalu. Jika suatu kolom menahan rotasi pada saat akhir, maka akan gagal karena tekuk lateral pada beban kritis. Seperti dalam persamaan Euler berikut :

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_u^2} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan EI adalah kekakuan lentur struktur, dan l_u adalah panjang ultimit. Persamaan ini menunjukkan bahwa beban tekuk kritis menurun dengan cepat sesuai dengan pertambahan panjang.

Persamaan Euler mungkin diterapkan untuk dipergunakan pada kondisi-kondisi yang berbeda dari tahanan akhir melalui pengenalan dari faktor panjang efektif k, dipergunakan untuk panjang sesungguhnya l_u , seperti :

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot l_u)^2} \dots\dots\dots (3.2)$$

Harga k tergantung pada derajat dalam menahan rotasi. (Arthur H. Nilson, 1987)

3.1.1 Persyaratan kelangsingan kolom

Kolom beton prategang merupakan komponen struktur tekan beton-prategang. Komponen struktur tekan beton prategang adalah komponen struktur yang memikul beban tekan eksternal. Suatu komponen struktur yang tertekan hanya oleh gaya prategang bukanlah komponen struktur tekan (T.Y Lin dan Ned H. Burns, 2000)

Kolom-kolom beton prategang dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) kategori (N Krishna Raju, 1986) :

1. Kolom Pendek (*non-slender column*)

Kolom-kolom pendek (*non-slender columns*) merupakan batang-batang yang mempunyai perbandingan kelangsingan (*slenderness ratio*) sebesar $l / r < 22$. Kekuatan kolom pendek terutama ditentukan oleh kerusakan material.

2. Kolom Sedang

Kolom sedang mempunyai tingkat perbandingan kelangsingan (*slenderness ratio*) $22 < l / r < 100$. Untuk kolom sedang tingkat kekuatannya ditentukan oleh ketidakstabilan dari kolom tersebut pada tingkat-tingkat tegangan yang relatif tinggi. Pada kondisi tegangan yang rendah atau sedang maka kolom sedang rata-rata dalam keadaan stabil dan relatif kuat.

3. Kolom Panjang (*slender column*)

Kolom-kolom panjang (*slender columns*) merupakan batang-batang yang mempunyai perbandingan kelangsingan (*slenderness ratio*) $l / r > 100$. Untuk kolom panjang tekuk (*buckling*) terjadi pada tingkat tegangan yang jauh lebih rendah.

Jika perbandingan kelangsingan kolom panjang melampaui batas kolom pendek, batang tekan akan mengalami tekuk lebih dulu mencapai keadaan batas pada kegagalan material. SK-SNI mensyaratkan pengaruh kelangsingan boleh diabaikan bila:

1. $\frac{k \cdot l_u}{r} < 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$ untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan ke samping atau,
2. $\frac{k \cdot l_u}{r} < 22$ untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping.

3.1.2 Cara penegangan

Metode yang paling luas dipakai untuk memberikan gaya prategang pada elemen beton struktural adalah dengan menarik tendon dengan alat mekanik. Terdapat dua prinsip yang berbeda dalam proses penegangan yaitu dengan cara pratarik / *pretensioning* dan pascatarik / *post tensioning* (Winarni Hadipratomo, 1994).

1. Pra-tarik (*pre-tensioning*)

Pada prinsip ini ditegaskan dengan alat bantu sebelum beton dicor dan gaya prategang dipertahankan sampai beton mencapai kekuatan yang diperlukan, kemudian tegangan pada jangkar dilepas perlahan-lahan dan tendon dijangkarkan pada ujung-ujung struktur. Untuk sistem pratarik, cara yang sederhana yaitu dengan menarik tendon di antara dinding penahan (*bulkhead*) kemudian diangkurkan pada ujung dinding penahan dan selanjutnya beton dicor serta dipadatkan sesuai bentuk yang diinginkan. Setelah beton mencapai kekuatan yang disyaratkan, maka tendon dipotong dan dilepas dari dinding penahan dan gaya prategang dialihkan ke beton.

2. Pasca-tarik (*post-tensioning*)

Pada prinsip ini beton dicor terlebih dahulu dan dibiarkan mengeras, kemudian tendon ditegaskan. Tendon ditempatkan dalam selubung sesuai posisi

yang telah ditentukan, kemudian dicor. Bila kekuatan beton yang diperlukan telah tercapai, maka tendon ditegangkan di ujung-ujungnya dan dijangkar. Gaya prategang ditransfer ke beton melalui jangkar pada saat tendon ditegangkan. Untuk sistem pascatarik, ada dua macam selubung (*conduit*) yang digunakan yaitu untuk sistem prategang dengan rekatan (*bonded*) dan tanpa rekatan (*unbonded*).

a. Tendon terekat (*bonded tendon*)

Jika tendon direncanakan dengan rekatan, maka setelah kabel dijangkar, pada selubung dimasukkan adukan beton disertai tekanan ke dalam ruang antara kabel dan beton (*grouting*). Pada umumnya selubung terbuat dari pipa logam besi yang digalvanis.

b. Tendon tidak terekat (*unbonded tendon*)

Jika tendon direncanakan tanpa rekatan, biasanya selubung dipakai plastik atau kertas tebal dan tendon diberi minyak untuk mempermudah penarikan dan pencegahan karat.

3.1.3 Tahapan pembebanan

Salah satu pertimbangan istimewa pada beton prategang adalah banyaknya tahapan pembebanan yang harus diperhatikan. Adapun tahap pembebanan meliputi tahap awal, tahap antara dan tahap akhir (T.Y. Lin dan Ned H. Burns, 2000). Dalam analisa ini hanya dibahas pada tahap awal yaitu saat pemberian gaya prategang dan tahap akhir pada beban batas dan pada pembebanan tetap.

1. Saat pemberian gaya prategang

Tahap awal pembebanan, saat struktur diberikan gaya prategang dan belum menerima beban eksternal, kekuatan tendon harus disesuaikan dengan tegangan ijin untuk menghindari putusnya sebagian atau seluruh tendon. Untuk beton belum cukup umur, kehancuran beton pada pengangkuran saat penarikan tendon dapat terjadi jika mutunya rendah atau jika beton keropos, untuk itu diperlukan adanya kontrol tegangan beton pada tahap ini.

2. Saat beban batas (*ultimate load*)

Kekuatan batas struktur didefinisikan sebagai beban maksimum yang dapat dipikul sebelum hancur. Struktur yang didesain berdasarkan tegangan kerja mungkin tidak mempunyai ketahanan yang cukup terhadap kelebihan beban. Karena disyaratkan bahwa struktur memiliki kapasitas minimum memikul beban yang lebih besar maka perlu ditentukan kekuatan batasnya (*ultimate strength*).

3. Saat beban bekerja tetap (*sustained load*)

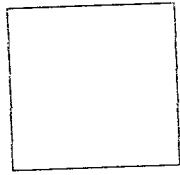
Saat beban bekerja tetap yang sesungguhnya (sering terdiri hanya dari beban mati) akan terjadi lendutan ke atas atau ke bawah yang merupakan faktor penentu dalam desain, sehingga seringkali harus membatasi besar lendutan akibat beban tetap.

3.2 Perencanaan Kolom Prategang

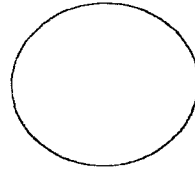
3.2.1 Analisis dan dimensi penampang

Untuk menentukan dimensi penampang suatu struktur pertama kali diperlukan data dan perhitungan mengenai beberapa hal, antara lain penentuan besar momen yang direncanakan.

Dalam hal ini, penampang yang umum digunakan dilapangan ada dua bentuk yaitu segiempat dan lingkaran disajikan dalam gambar 3.1. Sementara penampang yang ditinjau dalam tugas akhir ini adalah bentuk segiempat.



(a) Bentuk Segiempat

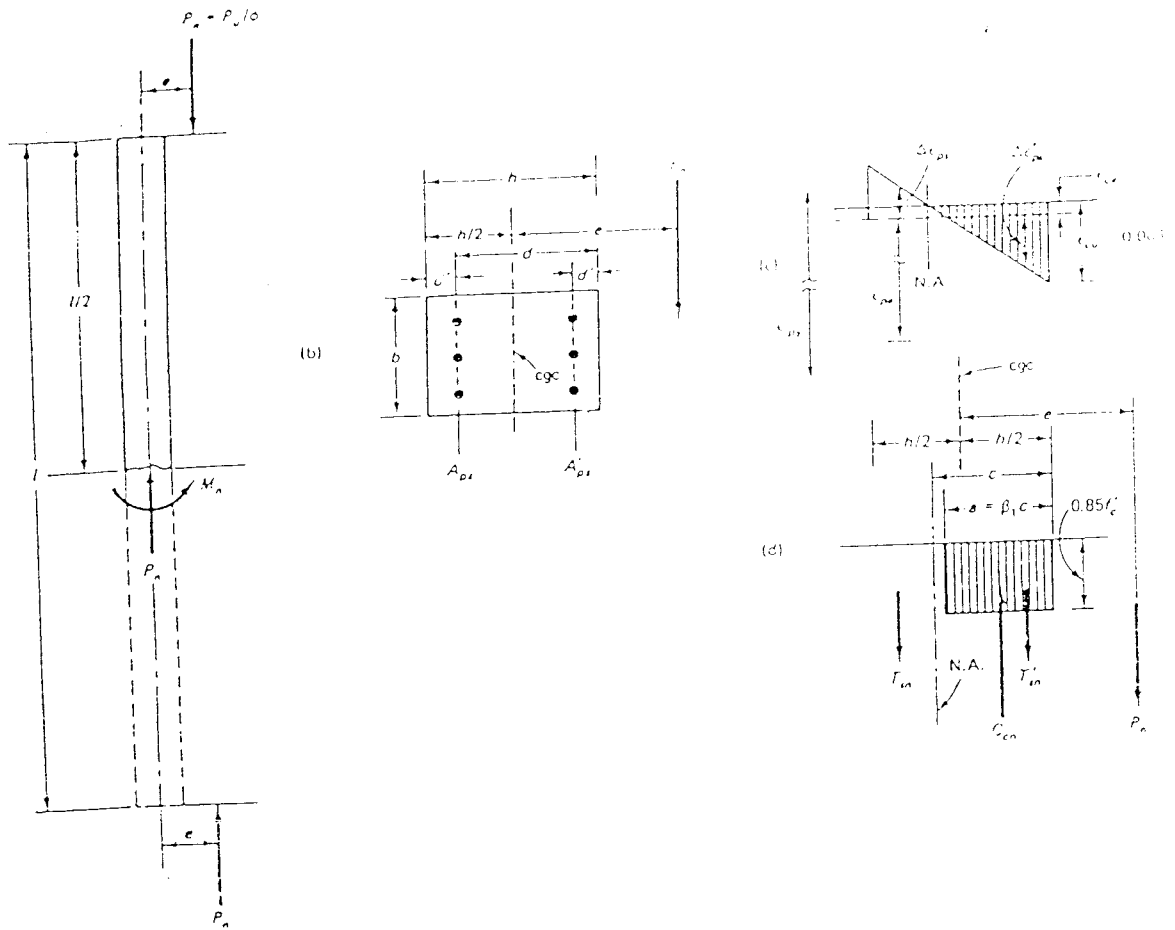


(b) Bentuk Lingkaran

Gambar 3.1 Bentuk-bentuk penampang

3.2.2 Persamaan dasar

Dasar-dasar perhitungan yang digunakan untuk menganalisis dan merencanakan kolom beton prategang dengan menggunakan rumus umum yang biasa digunakan pada perhitungan untuk kolom beton bertulang biasa. Pada potongan penampang pada tengah-tengah kolom pada gambar 3.2 ditunjukkan diagram tegangan dan regangan yang terjadi pada kolom.



Gambar 3.2 Tegangan dan gaya akibat beban eksentris pada kolom

Bagian parabola akibat tegangan tekan beton diekivalenkan dengan segi empat, sehingga tegangan desak beton dapat dicari dengan :

$$C_{cn} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan $a = \beta_1 \cdot c$

Sedangkan gaya-gaya yang terjadi pada baja prategang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Untuk bagian tulangan desak

$$T_{sd} = A'_{ps} \cdot f'_{ps} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

Untuk bagian tulangan tarik

$$T_{st} = f_{ps} \cdot A_{ps} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$P_n = C_{en} - T'_{sd} - T_{st} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

Pada kolom yang menerima momen yang besar dengan gaya aksial yang kecil, maka yang harus diwaspadai adalah kemampuan kolom dalam menahan tarikan akibat beban-momen yang terjadi. Disini tampak perbedaan yang cukup besar antara kolom beton bertulang biasa dan kolom beton prategang terletak pada gaya tekan akibat adanya efek prategang pada baja-bajanya. Efek tegangan pada baja ini menimbulkan suatu regangan merata pada beton. Regangan ini menyebabkan peningkatan kemampuan beton untuk menahan tarik akibat tegangan-tegangan pada bajanya, tapi menyebabkan pula menurunnya kemampuan menahan desak pada kolom tersebut.

Regangan desak yang ditimbulkan akibat prategang mampu meningkatkan kemampuan kolom tersebut untuk menahan tarikan yang terjadi. Jika gaya prategang efektif setelah kehilangan gaya akibat creep, rangkai dan relaksasi adalah P_e , maka regangan dalam baja prategang sebelum aplikasi akibat beban luar adalah

$$\epsilon_{pe} = \frac{f_{pe}}{E_{ps}} = \frac{P_e}{(A_{ps} + A'_{ps}) \cdot E_{ps}} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

Efek tegangan pada baja prategang juga menimbulkan suatu regangan merata pada penampang beton. Besarnya regangan merata pada penampang beton tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{ps}}{A_n \cdot E_c} \dots\dots\dots(3.8)$$

Perubahan regangan pada daerah baja prategang A'_{ps} sebagai tulangan desak dapat didefinisikan sebagai :

$$\Delta \epsilon'_{ps} = \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{c - d'}{c} \right) - \epsilon_{cc} \dots\dots\dots(3.9)$$

Sedang pada A_{ps} sebagai tulangan tarik:

$$\Delta \epsilon_{ps} = \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{d' - c}{c} \right) + \epsilon_{cc} \dots\dots\dots(3.10)$$

Dari rumus di atas, gaya tarik yang dapat ditahan oleh baja prategang pada bagian desak dapat dituliskan :

$$T'_{sn} = A'_{ps} \cdot f'_{ps} = A'_{ps} \cdot E_{ps} (\epsilon_{pc} - \Delta \epsilon'_{ps}) \dots\dots\dots(3.11)$$

Dari persamaan 3.11 diperoleh :

$$T'_{sn} = A'_{ps} \cdot E_{ps} \left\{ \epsilon_{pc} - \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{c - d'}{c} \right) + \epsilon_{cc} \right\} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dengan penurunan yang sama didapat :

$$T_{sn} = A_{ps} \cdot f_{ps} = A_{ps} \cdot E_{ps} (\epsilon_{pc} + \Delta \epsilon_{ps}) \dots\dots\dots(3.13)$$

Dari persamaan 3.13 diperoleh :

$$T_{sn} = A_{ps} \cdot E_{ps} \left\{ \epsilon_{pc} + \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{d - c}{c} \right) + \epsilon_{cc} \right\} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dengan demikian momen yang terjadi dapat dihitung sebagai :

$$M_n = C_{cn} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) - T'_{sn} \cdot \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_{sn} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (3.15)$$

Untuk desain, kekuatan harus dikalikan dengan faktor reduksi ϕ untuk mereduksi nilai kekuatan nominal sehingga :

$$P_u = \phi P_n$$

$$M_u \text{ desain} = \phi M_n$$

Tujuan penggunaan faktor reduksi ini menjaga penyimpangan-penyimpangan yang mungkin terjadi pada pelaksanaan di lapangan yang akan dijabarkan pada subbab berikut. (Edward G. Nawy, 1996)

3.2.3 Faktor reduksi kekuatan

Dalam menentukan kuat rencana suatu komponen struktur, maka kuat nominalnya harus direduksi dengan faktor reduksi kekuatan (*strength reduction factor*) yang sesuai dengan sifat beban. Hal ini diatur dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3. Penggunaan faktor reduksi ini dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan penyimpangan terhadap kekuatan bahan, pekerjaan, ketidaktepatan ukuran, pengendalian dan pengawasan pelaksanaan, yang sekalipun masing-masing faktor mungkin masih dalam toleransi persyaratan tapi kombinasinya memberikan kapasitas yang lebih rendah. Dengan demikian, apabila faktor ϕ dikalikan dengan kuat ideal teoritis berarti sudah termasuk memperhitungkan tingkat daktilitas kepentingan, serta tingkat ketepatan ukuran suatu komponen struktur sedemikian sehingga kekuatannya dapat ditentukan.

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3 ayat 2 memberikan faktor reduksi kekuatan

ϕ , antara lain:

1. Aksial tarik, dan aksial tarik dengan lentur $\phi = 0,80$
2. Aksial tekan, dan aksial tekan dengan tekan aksial lentur
 - a) Komponen struktur dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat $\phi = 0,70$
 - b) Komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa $\phi = 0,65$
3. Geser dan torsi $\phi = 0,65$
4. Tumpuan pada beton $\phi = 0,65$
5. Panjang penyaluran tidak memerlukan faktor ϕ .

Untuk elemen-elemen struktur yang mengalami lentur dan gaya aksial yang relatif kecil, keruntuhannya akan diawali dengan lelehnya tulangan tarik dan terjadinya berupa keruntuhan daktail. Dengan demikian, untuk gaya aksial yang kecil, diizinkan untuk memperbesar faktor reduksi kekuatan ϕ dari yang dipakai pada batang yang hanya mengalami gaya tekan murni. Apabila tidak ada gaya aksial sama sekali dan hanya ada momen lentur, maka faktor reduksi kekuatannya menjadi 0,8. Gambar 3.3(a) dan (b) menunjukkan daerah dimana harga ϕ dapat ditingkatkan dari 0,7 menjadi 0,8 untuk kolom bersengkang biasa dan 0,75 menjadi 0,8 untuk kolom bersengkang spiral.

Dalam gambar 3.3 a, terlihat bahwa untuk beban aksial rencana ϕP_n yang semakin kecil dan lebih kecil daripada $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$, maka faktor reduksi kekuatan ϕ

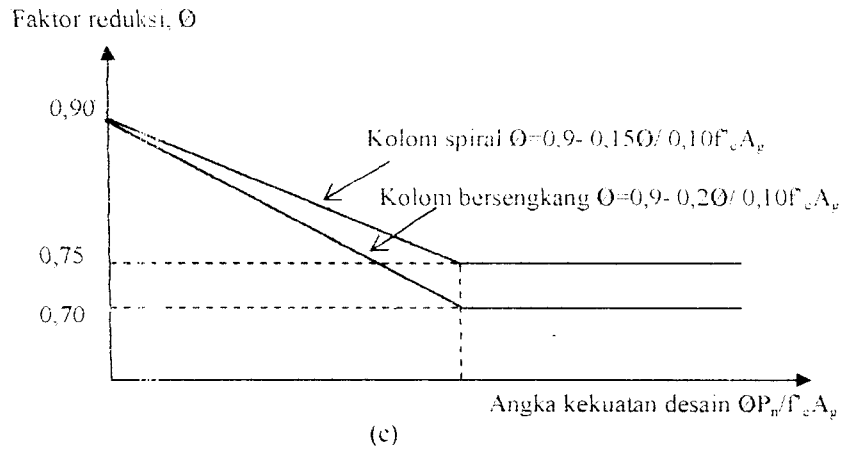
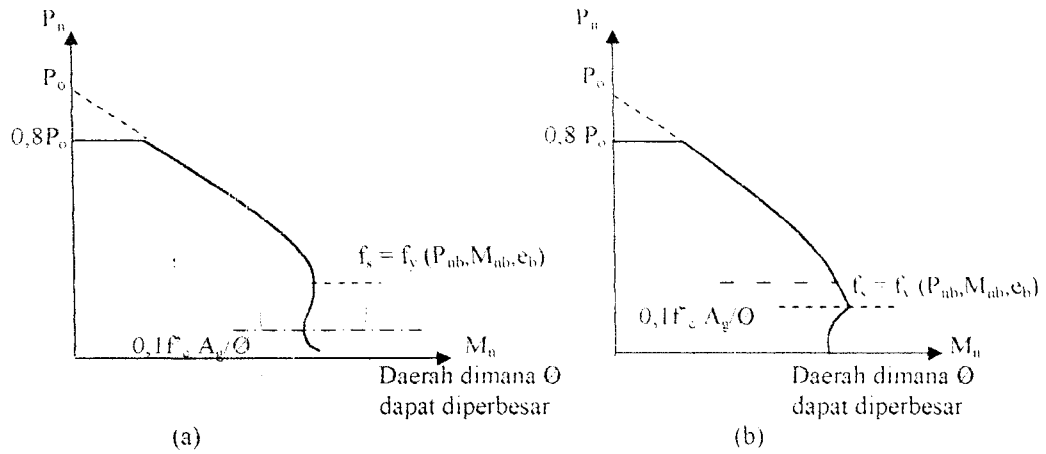
bertambah dari 0,7 ke 0,8 untuk kolom sengkang biasa dan 0,75 ke 0,8 untuk kolom bersengkang spiral. Untuk kasus-kasus dimana P_{nb} lebih kecil dari $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$, maka harga ϕ juga bertambah apabila beban $P_u < P_{ub}$ atau $\phi P_n < \phi P_{nb}$, seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.3 b.

Nilai $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ dipilih oleh peraturan ACI sebagai beban aksial rencana ϕP_n yang apabila lebih kecil daripadanya, faktor reduksi kekuatan dapat dengan aman diperbesar daripada yang digunakan untuk batang-batang tekan. Dengan perkataan lain, apabila keruntuhan awal adalah kegagalan tekan maka faktor reduksi kekuatan ϕ selalu 0,7 untuk kolom bersengkang dan 0,75 untuk kolom berspiral.

SK SNI T-15-1991-03, peningkatan faktor reduksi kekuatan ini dibatasi sesuai dalam pasal 3.2.3 ayat 2.2 yaitu:

Untuk nilai aksial tekan rendah, nilai ϕ boleh ditingkatkan berdasarkan peraturan berikut: untuk komponen struktur dengan f_y tidak melampaui 400 MPa, dengan tulangan simetris dan dengan $(h-d''-d_s) / h$ tidak kurang dari 0,65, ϕ boleh ditingkatkan secara linier menjadi 0,8 untuk nilai ϕP_n yang berkurang dari nilai $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ ke nol. Sedangkan untuk komponen struktur beton yang lain, ϕ boleh ditingkatkan secara linier menjadi 0,8 untuk keadaan dimana ϕP_n berkurang dari nilai terkecil antara $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ dan ϕP_n ke nol.

Persamaan berikut ini memberikan variasi nilai ϕ untuk batang tekan yang bertulangan terbagi merata pada semua sisinya. Kolom harus mempunyai tinggi efektif yang tidak kurang dari 0,7 tinggi totalnya, dan tulangan memanjangnya tidak boleh mempunyai kekuatan leleh yang lebih besar dari 60.000 psi = 413,7 MPa.



Gambar 3.3 Daerah yang menentukan dalam modifikasi faktor reduksi kekuatan kolom

Gambar 3.3 c memberikan variasi nilai ϕ untuk elemen tekan bertulang simetris dengan kondisi:

Untuk kolom bersengkang biasa

$$\phi = 0,9 - \frac{0,20 \cdot \phi \cdot P_n}{0,1 \cdot f'_c \cdot A_g} \geq 0,7 \quad \dots \dots \dots (3.16)$$

Untuk kolom berspiral

$$\phi = 0,9 - \frac{0,15 \cdot \phi \cdot P_u}{0,1 \cdot f_c' \cdot A_g} \geq 0,75 \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

Dengan $P_u = \phi \cdot P_n$

Pada persamaan ini, apabila $\phi \cdot P_{nb}$ lebih kecil dari $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ maka $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ pada penyebutnya harus diganti dengan $0,7 P_{nb}$ untuk kolom bersengkang biasa dan $\phi = 0,75$ untuk kolom bersengkang spiral.

Harus dicatat bahwa kondisi *balanced* pada struktur kolom prategang sangat tidak menentu. Pendekatan yang menunjukkan dapat dihitung dengan *trial and adjustment* untuk koordinat nilai momen maksimal pada diagram interaksi sebagai momen *balanced* M_{ub} atau dengan memisalkan regangan tarik pada lapisan tarik sama dengan kenaikan regangan $\Delta\epsilon_{ps} = 0,0012$ sampai $0,0020$ dan menghitung kedalaman blok tekan pada beton secara tepat. Asumsi ini harus diperiksa dan nilai M_{ub} disesuaikan setelah diagram interaksi digambar untuk menentukan ordinat momen maksimal.

3.3 Diagram Interaksi Beban (P) dan Momen (M)

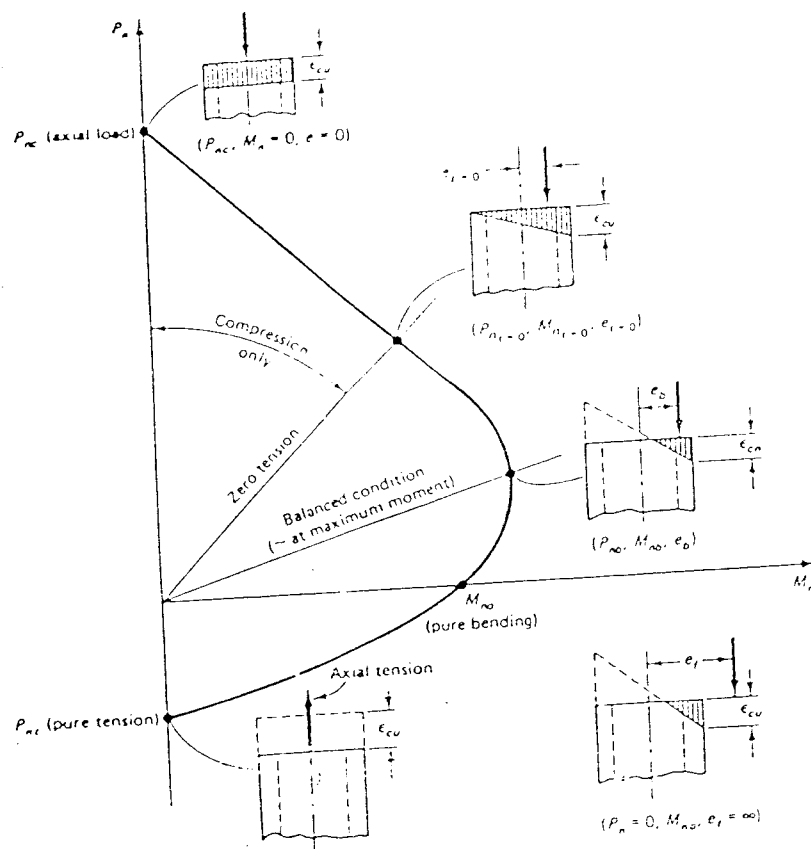
Kolom yang dibebani oleh beban dengan suatu eksentrisitas tertentu, ekuivalen dengan suatu struktur yang dibebani secara kombinasi dari beban aksial dan momen lentur. Pada suatu penampang kolom, jumlah kombinasi kekuatan dalam menerima beban aksial dan momen lentur tidak terhingga banyaknya.

Keruntuhan pada kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik atau terjadi kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu dapat pula mengalami keruntuhan apabila kehilangan stabilitas lateral yaitu terjadi tekuk. Karena

itu perlu diketahui kekuatan dari suatu kolom untuk mengantisipasi kegagalan-kegagalan tersebut. Dengan banyaknya kombinasi yang mungkin terjadi, maka diperlukan untuk mengevaluasi kemungkinan-kemungkinan yang terjadi akibat kombinasi P_n dan M_n yang dapat dinyatakan dalam hubungan :

$$M_n = P_n \cdot e_i$$

Dengan e_i adalah eksentrisitas dari variasi nilai kombinasi beban (P_n) dan momen (M_n). Semua hasil yang didapat dari kemungkinan-kemungkinan tersebut dapat digambarkan dalam suatu hubungan P_n dan M_n yang disebut Diagram interaksi kolom, seperti ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram interaksi kolom

Pada gambar 3.4 terlihat bahwa akibat kombinasi beban aksial dan momen lentur yang bekerja, pada suatu saat penampang mengalami kondisi *balanced*. Pada keadaan ini regangan tekan beton pada serat tepi terluar yang tertekan mencapai regangan batas, $\epsilon_c = 0,003$ dan secara bersamaan regangan tarik baja tulangan mencapai titik leleh $\epsilon = f_{ps} / E_{ps}$.

Dari gambar 3.4 tersebut, terlihat bahwa keadaan berimbang (kondisi *balanced*) memberikan titik pembagian daerah, yaitu antara daerah tekan dengan daerah tarik menentukan. Kondisi patah tekan yang dikenal sebagai tekan menentukan adalah keadaan dimana kekuatan tekan P_n melampaui kekuatan berimbang P_{nb} atau bila eksentrisitas e lebih kecil dari nilai eksentrisitas berimbang, sehingga regangan beton mencapai 0,003 sebelum tulangan tarik leleh, pada keadaan ini garis netral c lebih besar dari garis netral *balanced* c_b .

Kondisi patah tarik yang dikenal sebagai tarik menentukan adalah kondisi dimana kekuatan tekan P_n lebih kecil dari harga kekuatan berimbang P_{nb} atau eksentrisitas e lebih besar daripada eksentrisitas e_b , sehingga regangan tulangan tarik melampaui regangan lelehnya sebelum atau ketika regangan tekan beton mencapai 0,003, pada keadaan ini $c < c_b$.

Dalam analisis kolom beton prategang ada beberapa anggapan-anggapan dasar yang harus diketahui sebelum melangkah lebih jauh kedalam analisisnya. Anggapan-anggapan dasar yang digunakan dalam analisis kolom beton prategang ini hampir sama dengan dasar-dasar yang diterapkan dalam analisis kolom beton bertulang. Asumsi-asumsi yang perlu diperhatikan, antara lain :

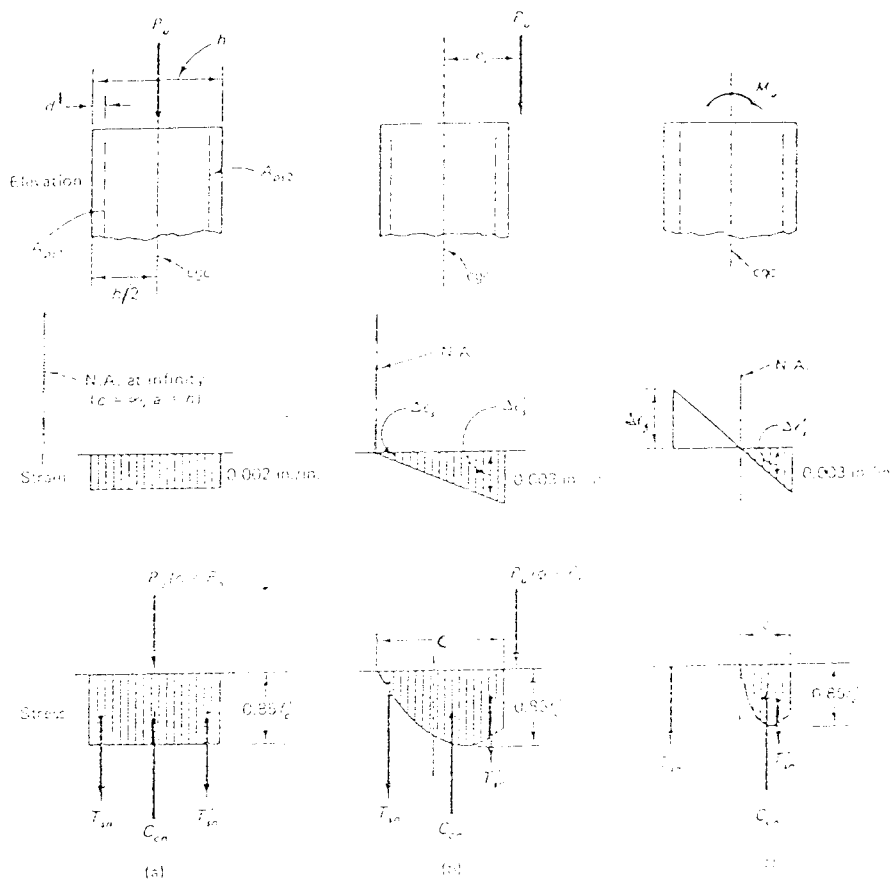
1. distribusi regangan dalam beton bervariasi dengan kedalamannya,

2. distribusi tegangan pada bagian tekan berbentuk parabolik dan digantikan dalam analisis dan desain diekuivalenkan dengan segi-empat,
3. diagram tegangan-regangan pada beton dan penegangan baja diketahui,
4. regangan luluh pada beton akibat kombinasi momen dan beban aksial adalah $\epsilon_c = 0,003$ in./in dan regangan luluh rata-rata pada tengah-tengah bagian beton akibat beban aksial saja $\epsilon_o = 0,002$ in./in.
5. beton dipertimbangkan hancur ketika regangan dalam beton pada sisi terluar mencapai $\epsilon_c = 0,003$ in./in atau $\epsilon_o = 0,002$ in./in pada pertengahan. Catatan bahwa $\epsilon_c = 0,003$ adalah harga yang dipergunakan dalam peraturan ACI Code, apabila dipergunakan peraturan lain maka dipakai harga yang lebih tinggi dari 0,0035 atau 0,0038,
6. menggabungkan regangan yang diterima antara beton dan tendon.

Pada diagram interaksi terdapat 3 (tiga) faktor utama pengontrol :

1. $M_u = 0$, berhubungan dengan $\epsilon_o = 0,002$ in./in terjadi kegagalan karena beban konsentris P_u . Posisi sumbu netral tak terbatas,
2. tidak terjadi tarik pada serat beton yang diregangkan dan $\epsilon_{cu} = 0,003$ in./in serat tekan terluar beton. Posisi sumbu netral pada sisi tekan terluar,
3. $P_u = 0$ dan $\epsilon_{cu} = 0,003$ in./in pada sisi tekan terluar. Posisi sumbu netral pada bagian serat dalam dan ditetapkan dengan peraturan dan percobaan, diasumsikan kedalaman c dan kemudian dilakukan pengujian terhadap asumsi tersebut. (Edward G. Nawy, 1996).

Gambar 3.5 menunjukkan distribusi tegangan dan regangan dari ketiga faktor diatas.



Gambar 3.5 Distribusi tegangan dan regangan

3.4 Panjang Efektif Kolom

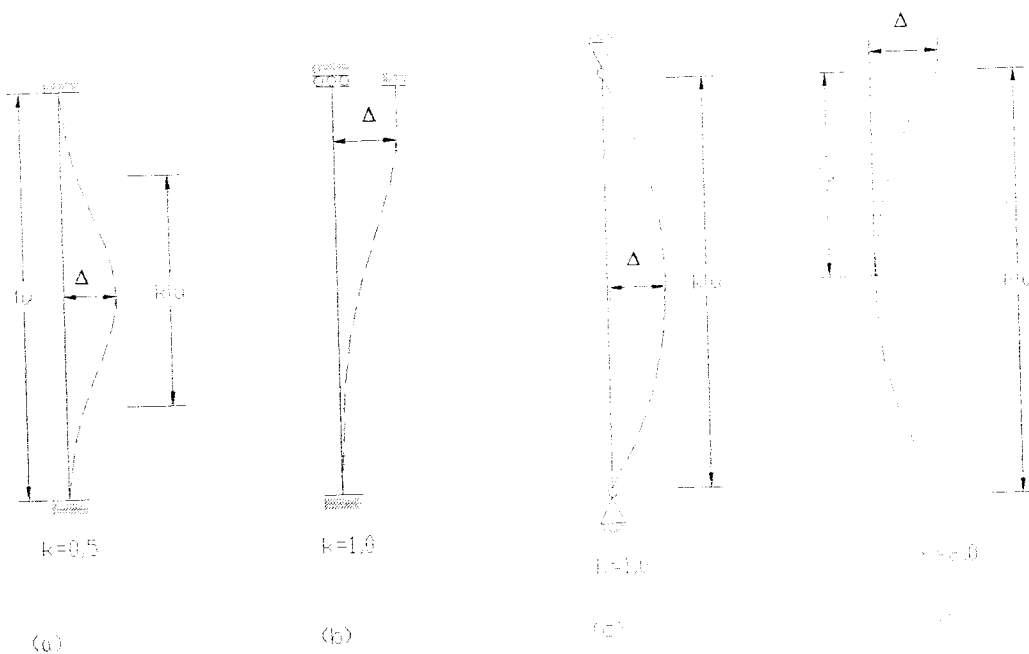
Panjang efektif kl_u digunakan sebagai panjang modifikasi kolom untuk memperhitungkan dukungan akhir yang bukan sendi. kl_u menunjukkan panjang kolom ujung sendi ekuivalen yang mempunyai beban tekuk Euler yang sama dengan kolom yang ditinjau.

Nilai faktor panjang efektif k bervariasi antara 0,5 dan 2,0 yaitu:

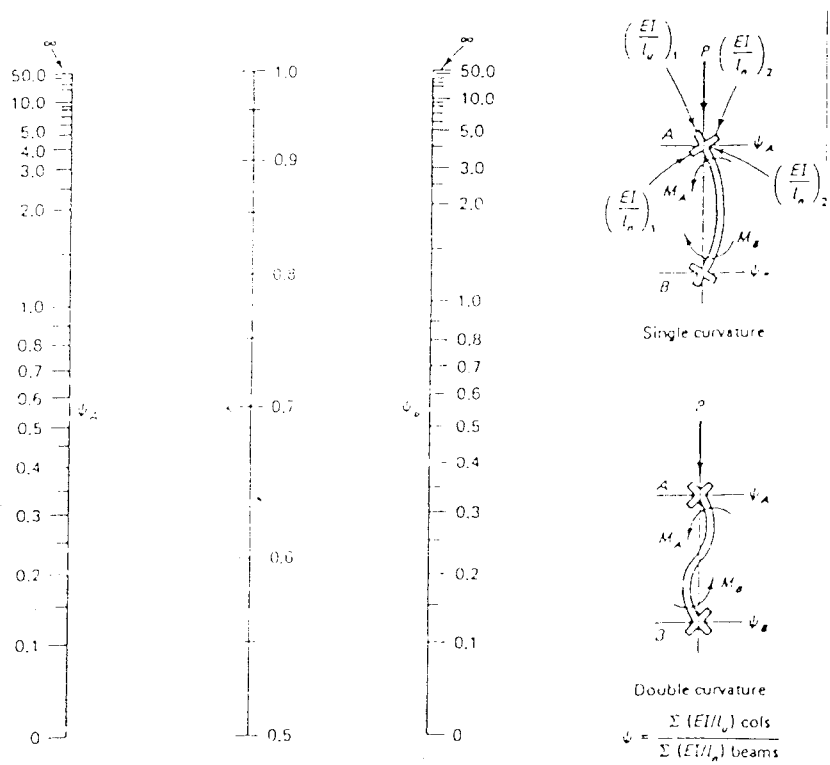
1. dukungan kolom keduanya berupa sendi dan tidak ada gaya lateral $k=1,0$;
2. dukungan kolom keduanya berupa jepit $k=0,5$;
3. dukungan yang satu jepit dan satunya bebas $k=2,0$;
4. dukungan kolom keduanya berupa jepit dan ada gaya lateral $k=1,0$.

Kasus-kasus tipikal yang mengilustrasikan bentuk tertekuk kolom untuk beberapa kondisi dukungan beserta faktor panjang k ditunjukkan pada gambar 3.6.

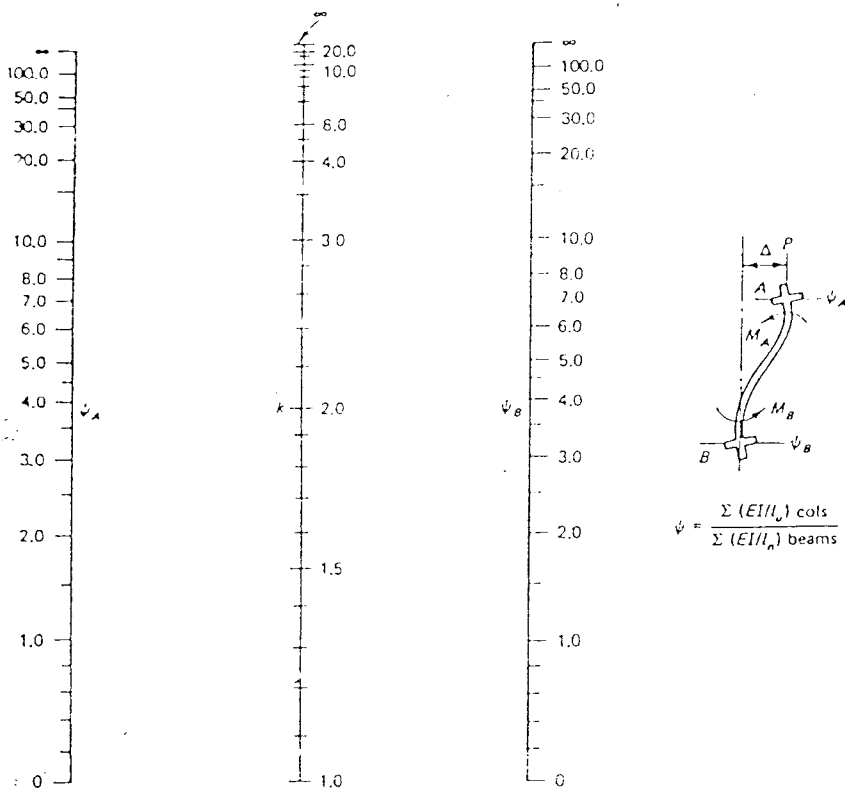
SK-SNI belum mengatur secara jelas cara menentukan nilai faktor panjang efektif sehingga meninjau ACI sebagai bahan rujukan. Untuk suatu batang yang merupakan bagian dari rangka struktur, dukungannya terletak di antara kondisi sendi dan kondisi jepit. Nilai k yang terjadi dapat ditentukan dari diagram Jackson dan Moreland seperti gambar 3.7.



Gambar 3.6 Nilai faktor panjang efektif k untuk berbagai kondisi.



(a)



(b)

Gambar 3.7 Nilai faktor panjang efektif k untuk Portal tetap dan bergoyang

Apabila tidak memakai diagram, nilai k dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan dari komentar peraturan ACI sebagai berikut:

1. Batang tekan berpengaku.

Batas atas faktor panjang efektif dapat diambil sama dengan yang terkecil dari kedua persamaan berikut:

$$k=0,7+ 0,05 \cdot (\psi_A + \psi_B) \leq 1,0 \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

dan

$$k=0,85 + 0,05 \cdot \psi_{\min} \leq 1,0 \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

dengan ψ_A dan ψ_B adalah harga-harga dari ψ pada kedua ujung kolom dan ψ_{\min} adalah yang terkecil dari kedua nilai tersebut. ψ adalah perbandingan angka kekakuan dari semua batang tekan dengan semua batang lentur dalam bidang, pada satu ujung kolom atau lebih jelasnya:

$$\psi = \frac{\sum EI / l_u \text{ kolom}}{\sum EI / l_n \text{ balok}} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

dengan l_u adalah panjang kolom tanpa dukungan dan l_n adalah jarak bersih balok.

2. Batang tekan tanpa pengaku yang tertahan pada kedua ujungnya.

Panjang efektif dapat mengikuti persamaan :

Untuk $\psi_m < 2$,

$$k = \frac{20 - \psi_m}{20} \sqrt{1 + \psi_m} \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

Untuk $\psi_m \geq 2$

$$k = 0,9 \cdot \sqrt{1 + \psi_m} \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

dengan ψ_m adalah nilai ψ rata-rata pada kedua ujung batang tertekan.

3. Batang tekan tanpa pengaku yang kedua ujungnya sendi.

Faktor panjang efektif dapat diambil:

$$k = 2,0 + 0,3 \cdot \psi \quad \dots \dots \dots (3.23)$$

dengan ψ adalah nilai pada ujung yang tertahan (Edward G. Nawy, 1996).

Kondisi ujung sendi memberikan nilai $\psi = \infty$ dan ujung jepit $\psi = 0$. Oleh karena sendi tanpa gesekan tidak ada dalam praktek, nilai ψ harus diambil sebesar 10 untuk ujung yang dalam analisis diasumsikan sendi (Wang, 1985).

$$\text{Jari-jari girasi } r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \text{ dapat diambil sebesar } r = 0,3 \cdot h \text{ untuk kolom}$$

persegi, dimana h adalah dimensi kolom tegak lurus terhadap sumbu lentur.

Untuk penampang lingkaran/bulat, jari-jari girasi diambil sebesar $r = 0,25 \cdot d$ (Edward G. Nawy, 1996).

3.5 Metode Pembesaran Momen

Suatu kolom langsing yang mengalami gaya aksial P_u dengan eksentrisitas e . Karena adanya efek tekuk pada kolom langsing, maka ada momen tambahan $P_u \Delta$. Momen ini memperkecil kapasitas gaya dari titik C menjadi titik B pada diagram interaksi gambar 3.8. Momen total ($P_u e + P_u \Delta$) dinyatakan dengan titik B pada diagram dan kolom tersebut dapat dirancang untuk momen yang lebih besar M_c dengan cara seperti pada kolom tidak langsing.

Gaya P_u dianggap bekerja dengan eksentrisitas ($e + \Delta$) sehingga menghasilkan momen M_c . Perbandingan M_c/M_2 disebut faktor pembesar δ (*magnification factor*). Faktor pembesar dikontrol oleh momen yang diperbesar δM_1 dan δM_2 yang bekerja

3.5.1 Momen pembesaran pada portal tidak bergoyang

Pengaruh kelangsingan dapat diabaikan jika:

$$\frac{k \cdot I_n}{r} \leq 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad \dots \dots \dots (3.29)$$

Apabila faktor pembesaran portal tidak bergoyang adalah δ_{ns} dan faktor yang bergoyang adalah $\delta_s = 0$, maka momen pembesaran menjadi:

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \quad \dots \dots \dots (3.30)$$

Dengan,

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \cdot P_c}} \geq 1,0 \quad \dots \dots \dots (3.31)$$

C_m = hubungan faktor diagram momen sesungguhnya dengan diagram momen ekuivalen yang seragam hanya untuk kolom berpengaku yang mengalami beban ujung.

Untuk komponen struktur yang ditahan terhadap goyangan ke samping dan tanpa beban transversal diantara dukungannya, C_m boleh diambil sebagai:

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4 \quad \dots \dots \dots (3.32)$$

dengan $M_2 \leq M_1$ dan $M_1 / M_2 > 0$ jika tidak ada titik belok diantara ujung kolom, gambar 3.7a. Untuk kondisi lainnya seperti struktur dengan beban transfer di antara dukungan, $C_m = 1,0$

Menurut SK-SNI, apabila perhitungannya menunjukkan bahwa pada kedua ujung suatu struktur tekan yang tertahan tidak terdapat momen atau bahwa eksentrisitas ujung yang diperoleh dari perhitungan, kurang dari $(15 + 0,03h)$ mm. M_{2ns} dalam persamaan 3.30 harus didasarkan pada suatu eksentrisitas minimum $(15 +$

0,03h) mm. Rasio dari M_1/M_2 dalam persamaan 3.32 harus ditentukan dari salah satu ketentuan sebagai berikut:

1. bila eksentrisitas ujung yang didapat dari perhitungan kurang dari $(15 + 0,03h)$ mm, momen ujung yang didapat dari perhitungan boleh digunakan untuk menghitung M_1/M_2 dalam persamaan 3.31,
2. bila perhitungan menunjukkan bahwa pada dasarnya di kedua ujung dari suatu komponen struktur tekan tidak terdapat momen, rasio dari M_1/M_2 harus diambil sama dengan 1,0.

3.5.2 Momen pembesaran rangka bergoyang

Pengaruh kelangsingan dapat diabaikan jika

$$\frac{kl_u}{r} < 22 \quad \dots\dots\dots (3.33)$$

Momen akhir M_1 dan M_2 seharusnya diperbesar menjadi:

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

asumsi diatas menyatakan $M_2 > M_1$, perencanaan momen seharusnya

$$M_c = M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \quad \dots\dots\dots (3.34)$$

$$\delta_s M_s = \frac{M_s}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_c}} \geq M_s \leq 2,5 \quad \dots\dots\dots (3.35)$$

keadaan batang tekan individu mempunyai:

$$\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u / f'_c \cdot A_g}} \quad \dots\dots\dots (3.36)$$

Menurut SK-SNI, apabila perhitungan menunjukkan bahwa pada kedua ujung dari suatu komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping tidak terdapat momen atau eksentrisitas ujung yang diperoleh dari perhitungan, kurang dari $(15 + 0,03h)$ mm, maka M_{2ns} dalam persamaan 3.24 harus didasarkan pada suatu eksentrisitas minimum sebesar $(15 + 0,03h)$ mm.

BAB IV

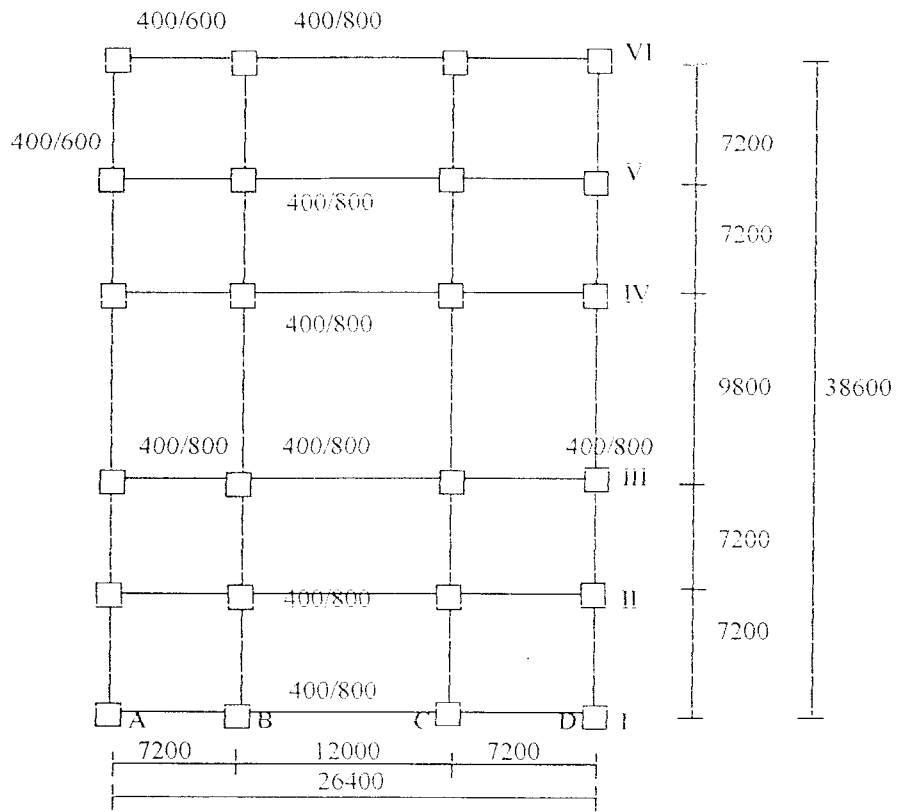
ANALISIS DAN DESAIN

4.1 Umum

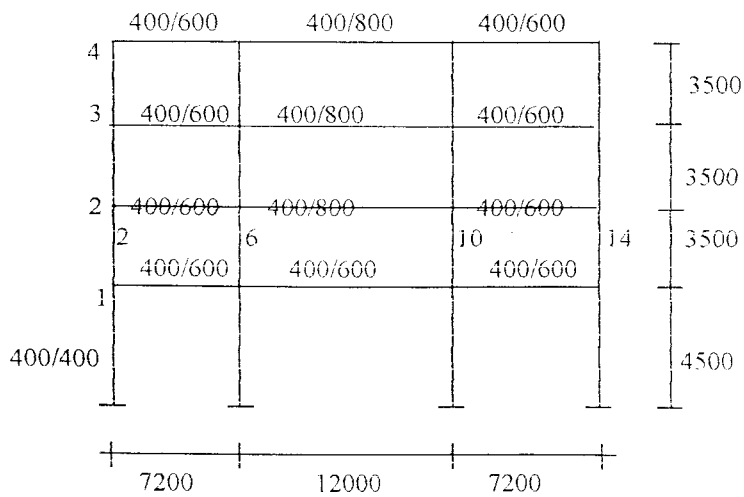
Persyaratan umum portal beton prategang yang akan dianalisis meliputi jenis dan lokasi bangunan, tipe pembebanan, mutu atau kualitas bahan struktur yang diperlukan serta denah dan dimensi elemen utama struktur portal. Jenis bangunan yang akan dianalisis adalah bangunan perkantoran (gedung registrasi terpadu UII) dengan luas $26,4 \times 38,6 \text{ m}^2$. Lokasi bangunan terletak di wilayah gempa 3 pada peta wilayah gempa untuk Indonesia dan terletak diatas tanah lunak. Dengan asumsi di atas, goyangan yang diperhitungkan adalah goyangan akibat beban lateral gempa.

Beban yang bekerja meliputi beban hidup, beban mati, dan beban gempa. Beban hidup dan beban mati struktur diambil menurut ketentuan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 sedangkan beban gempa yang bekerja diambil sesuai dengan Peraturan Tahan Gempa Untuk Gedung Indonesia dan dihitung dengan cara statis ekuivalen.

Struktur yang akan dianalisis adalah kolom beton prategang pada struktur 4 lantai dengan tinjauan pada potongan II tingkat 2 kolom 6 yang memikul momen uniaksial. Mutu bahan yang dipakai yaitu mutu beton $f'_c = 41 \text{ Mpa}$ dan mutu baja tulangan (tendon) $f_{ps} = 1655 \text{ Mpa}$. Tebal plat $0,12 \text{ m}$ dan dimensi kolom $400 \times 400 \text{ mm}$ dengan tinggi $l_u = 3500 \text{ mm}$. Untuk denah dan potongan melintang ditunjukkan gambar 4.1 dan gambar 4.2 berikut ini:



Gambar 4.1 Denah Lantai 1 sampai dengan 4 (tipikal)



Gambar 4.2 Portal arah II

Perencanaan struktur diarahkan pada dimensi kolom beton prategang untuk kondisi sebagai berikut:

1. Hanya meninjau gaya gravitasi, dengan menganggap goyangan lateral akibat angin diabaikan.
2. Andaikan ada goyangan akibat gaya gempa yang menyebabkan timbulnya gaya dan momen rencana.

Untuk prosedur analisis dapat dilihat pada lampiran 1. Perencanaan menggunakan tendon diameter 12,7 mm grade 270 K (lampiran 2) dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$f'_c = 41 \text{ Mpa}$$

$$f_{pu} = 1.862 \text{ Mpa}$$

$$f_{ps} = 1.655 \text{ Mpa}$$

$$f_{pe} = 1.034 \text{ Mpa}$$

$$E_{ps} = 200 \cdot 10^3 \text{ Mpa}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$f_y \text{ (sengkang)} = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_{py} = 1793 \text{ Mpa}$$

4.2 Gaya-gaya yang Bekerja pada Struktur

4.2.1 Perhitungan gaya geser dasar akibat gempa.

1. Berat bangunan total (W_t)

a. Berat lantai 4 (atap)

1) Beban mati:

| | | |
|--------------------|---|-------------------------|
| a) plat | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,12 \cdot 24$ | $= 2934,835 \text{ kN}$ |
| b) balok (400/600) | $= ((6 \cdot (7,2+7,2)) + (4 \cdot (7,2 \cdot 4))) \cdot 0,4 \cdot 0,48 \cdot 24$ | $= 928,973 \text{ kN}$ |
| c) balok (400/800) | $= (6 \cdot 12 + 4 \cdot 9,8) \cdot 0,4 \cdot 0,68 \cdot 24$ | $= 725,914 \text{ kN}$ |
| d) kolom | $= 24 \cdot 1,75 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 24$ | $= 161,280 \text{ kN}$ |
| e) dinding | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 1,75 \cdot 2,5$ | $= 4458,300 \text{ kN}$ |
| f) plafond | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,18$ | $= 183,427 \text{ kN}$ |

$$W_m = 9392,729 \text{ kN}$$

2) Beban hidup

a) q sendiri atap = 1 kN/m^2

Menggunakan koefisien reduksi = $0,3$

$$W_{\text{atap}} = 0,3 \cdot (26,4 \cdot 38,6 \cdot 1) = 305,712 \text{ kN}$$

b) akibat air

$$q_{\text{air}} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{air}} = 0,3 \cdot 0,2 \cdot 26,4 \cdot 38,6 = 61,142 \text{ kN}$$

$$\text{Jadi beban hidup } W_h = 305,712 + 61,142 = 366,854 \text{ kN}$$

$$\text{Beban total } W_4 = W_m + W_h = 9392,729 + 366,854 = 9759,583 \text{ kN}$$

b. Berat lantai 3

1) Beban mati:

| | | |
|--------------------|---|-------------------------|
| a) plat | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,12 \cdot 24$ | $= 2934,835 \text{ kN}$ |
| b) balok (400/600) | $= ((6 \cdot (7,2+7,2)) + (4 \cdot (7,2 \cdot 4))) \cdot 0,4 \cdot 0,48 \cdot 24$ | $= 928,973 \text{ kN}$ |
| c) balok (400/800) | $= (6 \cdot 12 + 4 \cdot 9,8) \cdot 0,4 \cdot 0,68 \cdot 24$ | $= 725,914 \text{ kN}$ |
| d) kolom | $= 24 \cdot 3,5 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 24$ | $= 322,560 \text{ kN}$ |
| e) dinding | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 3,5 \cdot 2,5$ | $= 8916,600 \text{ kN}$ |
| f) plafond | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,18$ | $= 183,427 \text{ kN}$ |
| g) spasi | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,21 \cdot 0,02$ | $= 4,280 \text{ kN}$ |
| h) tegel | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,24 \cdot 0,02$ | $= 4,891 \text{ kN}$ |
| i) pasir | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 16 \cdot 0,05$ | $= 815,232 \text{ kN}$ |

$$W_m = 14836,712 \text{ kN}$$

2) Beban hidup

$$q \text{ sendiri lantai} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Menggunakan koefisien reduksi = 0,3

$$W \text{ lantai} = 0,3 \cdot (26,4 \cdot 38,6 \cdot 2,5) = 764,280 \text{ kN}$$

Jadi beban hidup $W_h = 764,280 \text{ kN}$

$$\text{Beban total } W_3 = W_m + W_h = 14836,712 + 764,280 = 15600,992 \text{ kN}$$

c. Berat lantai 1

1). Beban mati:

| | | |
|--------------------|---|--------------------------|
| a) plat | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,12 \cdot 24$ | $= 2934,835 \text{ kN}$ |
| b) balok (400/600) | $= ((6 \cdot (7,2+7,2)) + (4 \cdot (7,2 \cdot 4))) \cdot 0,4 \cdot 0,48 \cdot 24$ | $= 928,973 \text{ kN}$ |
| c) balok (400/800) | $= (6 \cdot 12 + 4 \cdot 9,8) \cdot 0,4 \cdot 0,68 \cdot 24$ | $= 725,914 \text{ kN}$ |
| d) kolom | $= 24 \cdot 4 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 24$ | $= 368,640 \text{ kN}$ |
| e) dinding | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 4 \cdot 2,5$ | $= 10190,400 \text{ kN}$ |
| f) plafond | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,18$ | $= 183,427 \text{ kN}$ |
| g) spasi | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,21 \cdot 0,02$ | $= 4,280 \text{ kN}$ |
| h) tegel | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,24 \cdot 0,02$ | $= 4,891 \text{ kN}$ |
| i) pasir | $= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 16 \cdot 0,05$ | $= 815,232 \text{ kN}$ |

$$W_m = 16156,592 \text{ kN}$$

3) Beban hidup

$$q \text{ sendiri lantai} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Menggunakan koefisien reduksi = 0,3

$$W \text{ lantai} = 0,3 \cdot (26,4 \cdot 38,6 \cdot 2,5) = 764,280 \text{ kN}$$

Jadi beban hidup $W_h = 764,280 \text{ kN}$

$$\text{Beban total } W_l = W_m + W_h = 16156,592 + 764,280 = 16920,872 \text{ kN}$$

d. Berat lantai 2 sama dengan berat lantai 3

$$\text{Berat total} = W_1 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$= 9759,583 + 2(15600,992) + 16920,872 = 57882,439 \text{ kN}$$

2. Waktu getar bangunan (T)

Dengan rumus empiris:

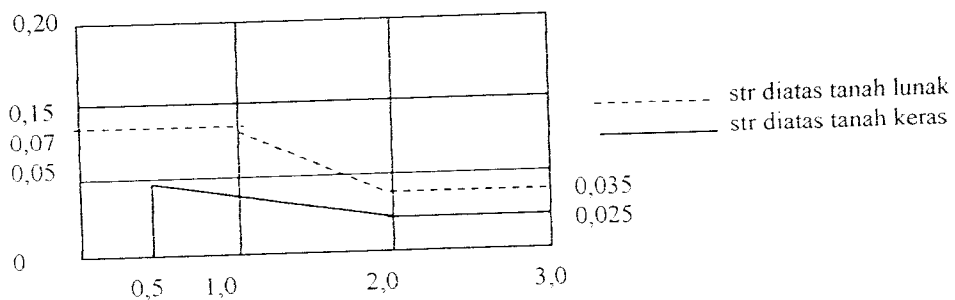
$$T = 0,06 H^{3/4}$$

$$H = \text{tinggi bangunan total} = (3 \cdot 3,5) + 4,5 = 15 \text{ m}$$

$$T = 0,06 \cdot 15^{3/4} = 0,457 \text{ detik}$$

3. Koefisien gempa dasar (C)

Dari gambar 4.3 diperoleh koefisien gempa dasar $C = 0,07$ untuk $T = 0,457$ detik, wilayah 3 dan jenis tanah lunak.



Gambar 4.3 Koefisien gempa dasar C

4. Faktor keutamaan I dan faktor jenis struktur K

Berdasarkan Pedoman Peraturan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung 1987 diperoleh faktor keutamaan $I = 1,0$ dan faktor jenis struktur $K = 1,4$ untuk bangunan kantor yang menggunakan struktur beton prategang dengan daktilitas penuh.

5. Gaya geser horisontal akibat gempa

$$V = C \cdot I \cdot K \cdot W_t$$

$$= 0,07 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 57882,439 = 5672,479 \text{ kN}$$

6. Distribusi gaya geser horisontal total akibat gempa sepanjang tinggi gedung

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V = \frac{146393,745}{526757,013} \cdot 5672,479 = 1576,468 \text{ kN}$$

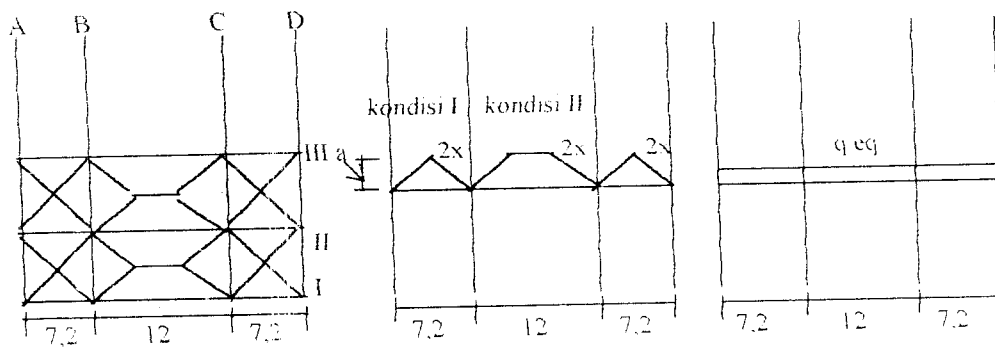
Tabel 4.1 menunjukkan gaya dasar horisontal total akibat gempa sepanjang tinggi gedung arah II tiap portal.

Tabel 4.1 Distribusi gaya geser akibat gempa dalam arah as 2

| Tingkat | h_i (m) | W_i (kN) | $W_i \cdot h_i$ (kNm) | $F_{i,y}$ Total kN | $\frac{1}{6} F_i$ |
|---------|--------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| 4 | 15 | 9759,583 | 146393,745 | 1576,468 | 262,745 |
| 3 | 11,5 | 15600,992 | 179411,408 | 1932,025 | 322,004 |
| 2 | 8 | 15600,992 | 124807,936 | 1344,017 | 244,003 |
| 1 | 4,5 | 16920,872 | 76143,924 | 819,970 | 136,662 |
| | | | $\Sigma=526757,013$ | $\Sigma=5672,480$ | $\Sigma=965,414$ |

4.2.2 Perhitungan beban akibat gaya gravitasi

Gambar 4.4 dibawah ini menunjukkan perhitungan beban gravitasi merata ekuivalen untuk portal arah As II yang digolongkan menjadi 2 jenis pembebanan yaitu pembebanan segitiga dan trapesium. Untuk jenis pembebanan trapesium secara mendetail tercantum pada gambar 4.5



Gambar:4.4 Perhitungan beban merata ekuivalen portal II

1. Kondisi I

$$q_{eq} = 2/3 \cdot 2 \cdot a$$

$$a = 1/2 \cdot q \cdot l = 1/2 \cdot q \cdot 7,2 = 3,6q$$

$$q_{eq} = 2/3 \cdot 2 \cdot 3,6q = 4,8q \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

a. Beban gravitasi pada balok lantai lantai atap

1) Beban mati untuk tiap m²

a) plat = $1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 4,8 = 13,824 \text{ kN/m}^2$

b) balok(400/600) = $0,4 \cdot 0,48 \cdot 24 = 4,608 \text{ kN/m}^2$

c) plafond = $1 \cdot 0,18 \cdot 4,8 = 0,864 \text{ kN/m}^2$

$$W_m = 19,552 \text{ kN/m}^2$$



2) Beban hidup untuk tiap m²

a) $q_h \text{ atap} = 1 \text{ kN/m}^2$

koefisien reduksi = 0,6

Beban hidup akibat atap $q = 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 4,8 = 2,880 \text{ kN/m}^2$

b) akibat air

$q \text{ air} = 0,2 \text{ kN/m}^2$

$W \text{ air} = 0,2 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 4,8 = 0,576 \text{ kN/m}^2$

Jadi beban hidup $W_h = 2,880 + 0,576 = 3,456 \text{ kN/m}^2$

b. Berat gravitasi pada balok lantai 2 s/d lantai 3

1) Beban mati untuk tiap m²

a) plat $= 1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 4,8 = 13,824 \text{ kN/m}^2$

b) balok(400/600) $= 0,4 \cdot 0,48 \cdot 24 = 4,608 \text{ kN/m}^2$

c) dinding $= 3,5 \cdot 2,5 = 8,750 \text{ kN/m}^2$

d) plafond $= 1 \cdot 0,18 \cdot 4,8 = 0,864 \text{ kN/m}^2$

e) spasi $= 1 \cdot 0,21 \cdot 4,8 \cdot 0,02 = 0,020 \text{ kN/m}^2$

f) tegel $= 1 \cdot 0,24 \cdot 4,8 \cdot 0,02 = 0,023 \text{ kN/m}^2$

g) pasir $= 1 \cdot 16 \cdot 4,8 \cdot 0,05 = 3,840 \text{ kN/m}^2$

$W_m = 31,929 \text{ kN/m}^2$

2) Beban hidup untuk tiap m²

$q_h \text{ atap} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

koefisien reduksi = 0,6

Beban hidup ekuivalen $q_{eq} = 2,5 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 4,8 = 7,20 \text{ kN/m}^2$

c. Berat gravitasi pada balok lantai I

1) Beban mati untuk tiap m'

| | | |
|-------------------|---|--------------------------|
| a) plat | $= 1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 4,8$ | $= 13,824 \text{ kN/m'}$ |
| b) balok(400/600) | $= 0,4 \cdot 0,48 \cdot 24$ | $= 4,608 \text{ kN/m'}$ |
| c) dinding | $= (\frac{1}{2} \cdot 3,5 + \frac{1}{2} \cdot 4,5) \cdot 2,5$ | $= 10,000 \text{ kN/m'}$ |
| d) plafond | $= 1 \cdot 0,18 \cdot 4,8$ | $= 0,864 \text{ kN/m'}$ |
| e) spasi | $= 1 \cdot 0,21 \cdot 4,8 \cdot 0,02$ | $= 0,020 \text{ kN/m'}$ |
| f) tegel | $= 1 \cdot 0,24 \cdot 4,8 \cdot 0,02$ | $= 0,024 \text{ kN/m'}$ |
| g) pasir | $= 1 \cdot 16 \cdot 4,8 \cdot 0,05$ | $= 3,840 \text{ kN/m'}$ |

$$W_m = 33,179 \text{ kN/m'}$$

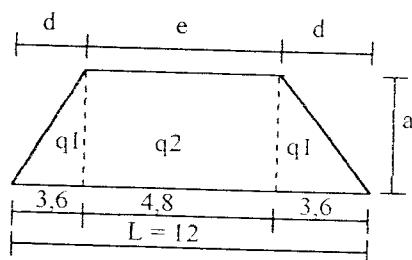
2) Beban hidup untuk tiap m'

$$q_h \text{ atap} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{koefisien reduksi} = 0,6$$

$$\text{Beban hidup ekuivalen } q_{eq} = 2,5 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 4,8 = 7,20 \text{ kN/m'}$$

2. Kondisi II



Gambar 4.5 Jenis pembebanan trapesium

$$q_1 = \frac{1}{2} \cdot 3,6 \cdot 2 \cdot 3,6 \cdot q = 12,96 q$$

$$q_2 = 4,8 \cdot 2 \cdot 3,6 \cdot q = 34,56 q$$

$$R = 12,96q + \frac{1}{2} \cdot 34,56 q = 30,24 q$$

M_{max} yang terjadi ditengah bentang

$$M = \frac{1}{2} \cdot L \cdot R - q_1 \left(\frac{1}{3} \cdot d + \frac{1}{2} \cdot e \right) - q_2 / 2 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot e \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 30,24 \cdot q - 12,96 q (1,2 + 2,4) - 17,28 \cdot q \cdot 1,2 \\
&= 181,44 q - 46,656 q - 20,736 q = 114,048 q \\
q_{eq} &= \frac{8 \cdot M}{L^2} = \frac{8 \cdot 114,048}{12^2} = 6,336 q
\end{aligned}$$

a. Beban gravitasi pada balok lantai atap

1) Beban mati untuk tiap m²

a) plat $= 1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 6,336 = 18,248 \text{ kN/m}^2$

a) balok(600/800) $= 0,4 \cdot 0,68 \cdot 24 = 6,528 \text{ kN/m}^2$

b) plafond $= 1 \cdot 0,18 \cdot 6,336 = 1,141 \text{ kN/m}^2$

$$W_m = 25,917 \text{ kN/m}^2$$

2) Beban hidup untuk tiap m²

a) q_h atap = 1 kN/m²

koefisien reduksi = 0,6

Beban hidup akibat atap q = 1 · 1 · 0,6 · 6,336 = 3,802 kN/m²

b) akibat air

q air = 0,2 kN/m²

W air = 0,2 · 1 · 0,6 · 6,336 = 0,760 kN/m²

Jadi beban hidup W_h = 3,802 + 0,760 = 4,562 kN/m²

b. Beban gravitasi pada balok lantai 2 s/d lantai 3

1) Beban mati untuk tiap m²

a) plat $= 1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 6,336 = 18,248 \text{ kN/m}^2$

b) balok(400/800) $= 0,4 \cdot 0,68 \cdot 24 = 6,528 \text{ kN/m}^2$

c) dinding $= 3,5 \cdot 2,5 = 8,750 \text{ kN/m}^2$

d) plafond $= 1 \cdot 0,18 \cdot 6,336 = 1,141 \text{ kN/m}^2$

e) spasi $= 1 \cdot 0,21 \cdot 6,336 \cdot 0,02 = 0,026 \text{ kN/m}^2$

f) tegel $= 1 \cdot 0,24 \cdot 6,336 \cdot 0,02 = 0,030 \text{ kN/m}^2$

g) pasir $= 1 \cdot 16 \cdot 6,336 \cdot 0,05 = 5,069 \text{ kN/m}^2$

$$W_m = 39,792 \text{ kN/m}^2$$

2) Beban hidup untuk tiap m²

$$q_h \text{ atap} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{koefisien reduksi} = 0,6$$

$$\text{Beban hidup ekuivalen } q_{eq} = 2,5 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 6,336 = 9,504 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban gravitasi pada balok lantai I

1) Beban mati untuk tiap m²

$$\text{a) plat} = 1 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 6,336 = 18,248 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{b) balok}(400/800) = 0,4 \cdot 0,68 \cdot 24 = 6,528 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{c) dinding} = (\frac{1}{2} \cdot 3,5 + \frac{1}{2} \cdot 4,5) \cdot 2,5 = 10,000 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{d) plafond} = 1 \cdot 0,18 \cdot 6,336 = 1,141 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{e) spasi} = 1 \cdot 0,21 \cdot 6,336 \cdot 0,02 = 0,026 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{f) tegel} = 1 \cdot 0,24 \cdot 6,336 \cdot 0,02 = 0,030 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{g) pasir} = 1 \cdot 16 \cdot 6,336 \cdot 0,05 = 5,069 \text{ kN/m}^2$$

$$W_m = 41,042 \text{ kN/m}^2$$

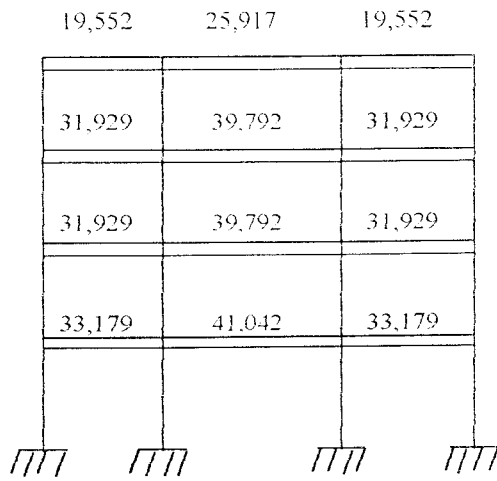
3) Beban hidup untuk tiap m²

$$q_h \text{ atap} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

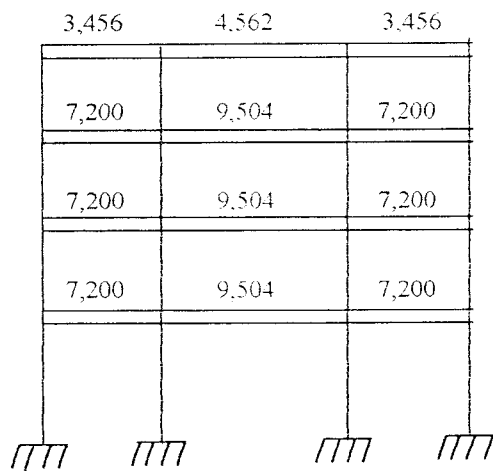
$$\text{koefisien reduksi} = 0,6$$

$$\text{Beban hidup ekuivalen } q_{eq} = 2,5 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 6,336 = 9,504 \text{ kN/m}^2$$

Setelah melalui proses hitungan diatas, maka didapatkan beban gravitasi berupa beban merata yang diakibatkan beban mati dan hidup ekuivalen yang terletak pada portal II dan ditunjukkan oleh Gambar 4.6 dan gambar 4.7 berikut ini:



Gambar 4.6 Beban mati ekuivalen portal II (kN/m')



Gambar 4.7 Beban hidup ekuivalen portal II (kN/m')

4.3 Gaya Aksial dan Momen pada Kolom

Dengan diketahuinya beban hidup, mati, dan gempa pada perhitungan sebelumnya, maka gaya aksial dan momen dapat dihitung dengan menggunakan Sap 2000 sesuai yang tertera pada lampiran 3 serta hasilnya disajikan pada tabel 4.2 sampai dengan tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4.2 Gaya aksial dan momen pada kolom 2

| | Beban Gravitasi | | Beban Gempa (E) |
|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | Beban Mati (D) | Beban Hidup (L) | |
| Gaya Aksial (kN) | 249,391 | 53,2042 | 201,688 |
| Momen (kNm) | | | |
| - Ujung Atas Kolom | 42,037 | 9,095 | 280,40 |
| - Ujung Bawah Kolom | 43,337 | 9,143 | 219,646 |

Tabel 4.3 Gaya aksial dan momen pada kolom 6

| | Beban Gravitasi | | Beban Gempa (E) | 1,2D+1,6L | 1,05 (D+L+E) |
|-------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------------|
| | Beban Mati (D) | Beban Hidup (L) | | | |
| Gaya Aksial (kN) | 984,167 | 216,779 | 68,755 | 1527,85 | 1333,19 |
| Momen (kNm) | | | | | |
| -Ujung Atas Kolom | 101,006 | 24,435 | 486,39 | 160,302 | 379 |
| -UjungBawahKolom | 107,14 | 25,707 | 467,716 | 169.70 | 351,610 |

Tabel 4.4 Gaya aksial dan momen pada kolom 10

| | Beban Gravitasi | | Beban Gempa (E) |
|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | Beban Mati (D) | Beban Hidup (L) | |
| Gaya Aksial (kN) | 984,167 | 216,779 | 68,250 |
| Momen (kNm) | | | |
| - Ujung Atas Kolom | 101,01 | 24,434 | 484,67 |
| - Ujung Bawah Kolom | 107,141 | 25,708 | 465,995 |

Tabel 4.5 Gaya aksial dan momen pada kolom 14

| | Beban Gravitasi | | Beban Gempa (E) |
|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | Beban Mati (D) | Beban Hidup (L) | |
| Gaya Aksial (kN) | 249,391 | 53,204 | 201,183 |
| Momen (kNm) | | | |
| - Ujung Atas Kolom | 42,037 | 9,095 | 278,17 |
| - Ujung Bawah Kolom | 43,337 | 9,143 | 217,646 |

4.4 Desain Kolom Prategang

Dari gambar 4.10 tegangan-regangan baja prategang diameter 12,7 mm strand

kawat prategang 270 K pada nilai $f_{py} = 1793 \text{ MPa}$ didapat $\epsilon_{py} = 0,0012$, $\epsilon_{pe} = \frac{f_{pe}}{E_{ps}} =$

$$\frac{1034}{200.000} = 0,0052.$$

4.4.1. Beban gravitasi

Langkah 1: Cek goyangan dan eksentrisitas minimum

Karena rangka tersebut dianggap tidak mempunyai goyangan, maka seluruh momen M_2 diambil sebagai M_{2ns} dan faktor pembesar δ_s sama dengan nol. Dengan mengambil dimensi penampang kolom 400 mm x 400 mm

$$e = \frac{M_{2ns}}{P_u} = \frac{169,70}{1527,85} = 111 \text{ mm}$$

$$e \text{ min yang diizinkan} = 15 + 0,03 h = 15 + 0,03 \times 400 \\ = 27 \text{ mm} < 111 \text{ mm}$$

Digunakan $M_{2ns} = 169,70$ KN-m yang terbesar dari momen M_1 dan M_2 pada kolom.

Langkah 2: Nilai eksentrisitas yang digunakan untuk kolom pendek ekuivalen

Dihitung kekakuan kolom

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{41} = 30095 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} bh^3 = \frac{400^4}{12} = 2.133.333.333 \text{ mm}^4$$

$$\beta_d = \frac{1,2 \cdot M_D}{1,2 \cdot M_D + 1,6 \cdot M_L} = \frac{1,2 \cdot 107,14}{1,2 \cdot 107,14 + 1,6 \cdot 25,707} = 0,758$$

$$EI = \frac{E_c I_g / 2,5}{1 + \beta_d} = \frac{30095 \cdot 2.133.333.333}{2,5} \cdot \frac{1}{1 + 0,758}$$

$$= 1,461 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 = 1,461 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2$$

Dihitung momen inersia di kanan kiri kolom. Dengan menganggap momen inersia penampang retak balok sebesar setengah dari momen inersia penampang bruto, maka:

1. Momen inersia balok dikanan kiri ujung atas kolom yaitu:

$$I_{cr} \approx \frac{I_{gb}}{2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \left[\frac{400 \cdot 600^3}{12} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{400 \cdot 800^3}{12} \right] \right] = 6.066.666.667 \text{ mm}^4$$

2. Momen inersia balok dikanan kiri ujung bawah kolom yaitu:

$$I_{cr} \approx \frac{I_{gb}}{2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \left[\frac{400 \cdot 600^3}{12} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{400 \cdot 800^3}{12} \right] \right] = 6.066.666.667 \text{ mm}^4$$

Sehingga faktor faktor kekangan ujung ψ yang terjadi pada kolom adalah:

$$\begin{aligned} \psi_A \text{ (ujung atas kolom)} &= \frac{\sum EI / I_u \text{ kolom-kolom}}{\sum E_c I_{cr} / I_n \text{ balok-balok}} \\ &= \frac{2 (1,461 \cdot 10^{13} / 3500)}{(30.095 \cdot 6066666667 / 7200) + (30.095 \cdot 6066666667 / 12000)} \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_B \text{ (ujung bawah kolom)} &= \frac{\sum EI / I_u \text{ kolom-kolom}}{\sum E_c I_{cr} / I_n \text{ balok-balok}} \\ &= \frac{2 (1,461 \cdot 10^{13} / 3500)}{(30.095 \cdot 6066666667 / 7200) + (30.095 \cdot 6066666667 / 12000)} \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

Dari grafik Jackson dan Moreland (gambar 3.8b) untuk $\psi_A = 0,2$ dan $\psi_B = 0,2$, maka diperoleh $k=1,05$ sehingga:

$$\text{Angka kelangsingan } \frac{kl_u}{r} = \frac{1,05 \cdot 3500}{0,3 \cdot 400} = 31 > 22.$$

Karena $22 < 31 < 100$, maka digunakan metode pembesaran momen

$$(kl_u)^2 = (1,05 \cdot 3500)^2 = 13.505.625 \text{ mm}^2$$

Dengan demikian,

$$P_c = \text{beban tekuk Euler} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot l_u)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 1,461 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}}{13.505,625 \text{ mm}^2}$$
$$= 10677 \text{ kN}$$

$C_m = 1,0$ untuk kolom tanpa pengaku lateral

$$\text{Faktor pembesar momen } \delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - P_u / 0,75 P_c} = \frac{1}{1 - \frac{1527,85608}{0,75 \cdot 10677}} = 1,24$$

$$\text{Momen desain } M_c = \delta_{ns} \cdot M_{2ns} = 1,24 \cdot 167,70$$
$$= 210,428 \text{ kN-m}$$

Karena struktur menahan aksial tekan dengan sengkang ikat maka faktor reduksi $\phi = 0,7$ sehingga

$$P_n \text{ yang diperlukan} = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1527,85}{0,7} = 2182,643 \text{ kN}$$

$$M_n \text{ yang diperlukan} = \frac{210,428}{0,7} = 300,611 \text{ kN-m}$$

$$\text{Eksentrisitas} = \frac{300,611 \text{ kN} \cdot \text{m}}{2182,643 \text{ kN}} = 138 \text{ mm}$$

Langkah 3: Desain kolom pendek ekuivalen

Dengan demikian beban aksial nominal minimum dan momen uniaksial nominal minimum adalah $P_n = 2182,643 \text{ kN}$ dan $M_n = 300,611 \text{ kN-m}$.

Analisis kolom bujur sangkar 400mm x 400mm menggunakan lima strand tujuh kawat diameter 12,7 mm pada masing-masing sisi sejajar sumbu netral. Untuk pemilihan diameter tendon dan luasan yang terjadi dapat dilihat pada lampiran 2.

$$A_{ps} = A'_{ps} = 5 \cdot 98,7 = 493,5 \text{ mm}^2$$

Kondisi seimbang

$$d = h - 50 = 400 - 50 = 350 \text{ mm}$$

Untuk kondisi *balance*, nilai c diambil = 220 mm yang didapat pada perhitungan grafik P_n - M_n

$$\begin{aligned} \beta &= 0,85 - 0,008(f'_c - 30) \\ &= 0,85 - 0,008(41 - 30) = 0,762 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 \cdot c_b \\ &= 0,762 \cdot 220 = 167,64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{cn} &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 167,64 \\ &= 2335902 \text{ N} = 2336,902 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T'_{sn} &= A'_{ps} \cdot E_{ps} \cdot \left[\epsilon_{pe} - \epsilon_{cu} \left(\frac{c - d'}{c} \right) + \epsilon_{ce} \right] \\ &= 493,5 \cdot 200.000 \cdot \left[0,0052 - 0,003 \left(\frac{220 - 2 \cdot 25}{220} \right) + 0,0002 \right] \\ &= 304176 \text{ N} = 304,176 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{sn} &= A_{ps} \cdot E_{ps} \cdot \left[\epsilon_{pe} + \epsilon_{cu} \left(\frac{d - c}{c} \right) + \epsilon_{ce} \right] \\ &= 493,5 \cdot 200.000 \cdot \left[0,0052 + 0,003 \left(\frac{350 - 220}{220} \right) + 0,0002 \right] \\ &= 707948 \text{ N} = 707,948 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= C_{cn} - T'_{sn} - T_{sn} \\ &= 2336,902 - 304,176 - 707,948 \\ &= 1324,778 \text{ kN} < P_n \text{ yang diperlukan} = 2182,643 \text{ kN} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ub} &= C_{cn} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 2336902 \left(\frac{400}{2} - \frac{167,64}{2} \right) \\
 &= 271501274,4 \text{ N-mm} = 271,501 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_{ub}}{P_{ub}} = \frac{332,067 \text{ KN-m}}{1324,778 \text{ KN}} = 251 \text{ mm} > e_{nyata} = 138 \text{ mm}, \text{ tidak OK}$$

Beban kolom prategang mempunyai eksentrisitas kecil dan awal dari kegagalan harus ditekan.

Setelah melalui proses *trial and error* maka didapat kedalaman sumbu netral

$$c = 291 \text{ mm.}$$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,762 \cdot 291 = 221,742 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 C_{cn} &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \\
 &= 0,85 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 221,742 \\
 &= 3091084 \text{ N} = 3091,084 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T'_{sn} &= A'_{ps} \cdot E_{ps} \left[\varepsilon_{pe} - \varepsilon_{cu} \left(\frac{c - d'}{c} \right) + \varepsilon_{ce} \right] \\
 &= 493,5 \cdot 200.000 \left[0,0052 - 0,003 \left(\frac{291 - 50}{291} \right) + 0,0002 \right] \\
 &= 287756 \text{ N} = 287,756 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{sn} &= A_{ps} \cdot E_{ps} \left[\varepsilon_{pe} + \varepsilon_{cu} \left(\frac{d - c}{c} \right) + \varepsilon_{ce} \right] \\
 &= 493,5 \cdot 200.000 \left[0,0052 + 0,003 \left(\frac{350 - 291}{291} \right) + 0,0002 \right] \\
 &= 593014 \text{ N} = 593,014 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_{cn} - T'_{sn} - T_{sn} \\
 &= 3091,084 - 287,756 - 593,014 \\
 &= 2210,314 \text{ kN} \approx P_n \text{ yang diperlukan} = 2182,643 \text{ KN} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_{cn} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) - T'_{sn} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_{sn} \left(d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 3091084 \left(\frac{400}{2} - \frac{221,742}{2} \right) - 287756 \left(\frac{400}{2} - 50 \right) + 593014 \left(350 - \frac{400}{2} \right) \\
 &= 321293926 \text{ N-mm} = 321,294 \text{ kN-m} > 300,611 \text{ kN-m, O.K}
 \end{aligned}$$

$$e = \frac{321,294 \text{ KN-m}}{2182,643 \text{ KN}} = 145 \text{ mm} \approx e \text{ nyata} = 138 \text{ mm OK}$$

Jadi digunakan ukuran penampang 400 mm x 400 mm dengan lima strand tujuh kawat 270K diameter 12,7 mm pada masing-masing sisi sejajar sumbu netral.

4.4.2. Beban gravitasi dan gempa

$$U = 1,05 (D+L+E)$$

$$P_u = 1,05 (984,167 + 216,779 + 68,755) = 1333,186 \text{ KN}$$

$$M_{2ns} = 351,610 \text{ kN-m}$$

$$M_{2s} = 379 \text{ kN-m}$$

$$P_{u1} = 1,05 (PD+PL+PE)$$

$$P_{u2} = 1,05 (249,391 + 53,2042 + 201,688) = 529,497 \text{ kN}$$

$$P_{u6} = 1,05 (984,167 + 216,779 + 68,755) = 1333,186 \text{ kN}$$

$$P_{u10} = 1,05 (984,167 + 216,779 + 68,250) = 1332,656 \text{ kN}$$

$$P_{u14} = 1,05 (249,391 + 53,204 + 201,183) = 528,967 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= P_{u2} + P_{u6} + P_{u10} + P_{u14} \\ &= 529,497 \text{ kN} + 1333,186 \text{ kN} - 1332,656 \text{ kN} + 528,967 \text{ kN} \\ &= 3724,306 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari bagian 1 diperoleh, $P_c = 10677 \text{ kN}$

Dengan demikian,

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{0,75 \cdot P_c}} = \frac{1}{1 - \frac{1333,186}{0,75 \cdot 10677}} = 1,20$$

Faktor-faktor kekangan ujung pada kolom luar 2 yaitu untuk mendapatkan nilai faktor pembesaran momen δ_s . Apabila dianggap dimensi kolom luar 2 sama dengan kolom dalam 6 maka :

$$\begin{aligned} \psi_A \text{ (ujung atas kolom)} &= \frac{\sum EI / I_u \text{ kolom-kolom}}{\sum E_c J_{cr} / I_u \text{ balok-balok}} \\ &= \frac{2 (1,461 \cdot 10^{13} / 3500)}{(30.095 \cdot 6066.666.667 / 7200)} = 0,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_B \text{ (ujung bawah kolom)} &= \frac{\sum EI / I_u \text{ kolom-kolom}}{\sum E_c J_{cr} / I_u \text{ balok-balok}} \\ &= \frac{2 (1,461 \cdot 10^{13} / 3500)}{(30.095 \cdot 6.066666667 / 7200)} = 0,33 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.8.b untuk $\psi_A = 0,33$ dan $\psi_B = 0,33$ diperoleh $k = 1,1$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k l_u)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 1,461 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}}{(1,1 \cdot 3500)^2 \text{ mm}^2}$$

$$= 9728 \text{ kN}$$

$$\Sigma P_c = 2 (10677 + 9728) = 40810 \text{ kN}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \Sigma P_c}} = \frac{1}{1 - \frac{3724,306}{0,75 \cdot 40810}} \quad 1,14$$

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

$$= (1,2 \cdot 351,61) + (1,14 \cdot 379) = 853,992 \text{ kN-m}$$

$$P_n \text{ yang diperlukan} = \frac{1333,186}{0,7} = 1904,551 \text{ kN}$$

$$M_n \text{ yang diperlukan} = \frac{853,992}{0,7} = 1219,989 \text{ kN-m}$$

$$\text{Eksentrisitas} = \frac{1219,989 \text{ kN-m}}{1904,551 \text{ kN}} = 640 \text{ mm} > e_b = 251 \text{ mm}$$

Dengan demikian untuk kondisi ini nilai $P_n = 1904,551 \text{ kN} < P_n = 2182,643 \text{ kN}$ pada kondisi pertama maka tetap digunakan ukuran penampang $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ dengan lima strand tujuh kawat 270 K diameter $12,7 \text{ mm}$.

4.5 Gaya dan Tulangan Geser Kolom

Menurut SK-SNI besarnya tulangan geser kolom harus dipasang pada seluruh tinggi kolom dengan jarak maksimum sebagai berikut:

1. $1/4$ dimensi komponen struktur terkecil $= 1/4 \cdot 400 = 100 \text{ mm}$

2. 8 kali diameter tulangan longitudinal, diambil ukuran tulangan terkecil

$$= 8 \cdot 12,7 = 101,6 \text{ mm}$$

3. $\leq 100 \text{ mm}$

Gaya aksial kolom:

Dari analisis perhitungan SAP 2000 diperoleh:

$$\begin{aligned} - \text{ gaya aksial akibat beban gravitasi} &= N_{g,k} = 984,167 + 216,779 \\ &= 1200,946 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$- \text{ gaya aksial akibat beban gempa} = N_{E,k} = 68,7548 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} N_{u,k} \text{ atas} &= 1,05 (N_{g,k} + 4/K \cdot N_{E,k}) \\ &= 1,05 (1200,946 + (4/1,4 \cdot 68,7548)) \\ &= 1467,2577 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{u,k} \text{ bawah} &= 1,05 (N_{g,k} - 4/K \cdot N_{E,k}) \\ &= 1,05 (1200,946 - (4/1,4 \cdot 68,7548)) \\ &= 1054,729 \text{ kN} \end{aligned}$$

Besarnya gaya geser yang mampu disumbangkan oleh beton dapat dihitung dengan persamaan di bawah yang menunjukkan bahwa kemampuan beton dalam menahan geser sangat dipengaruhi oleh dimensi tampang dari kolom dan mutu beton itu sendiri.

Gaya geser beton untuk komponen tekan aksial:

$$V_c = \left[1 + \left(\frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \right] \cdot \left[\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] \cdot b \cdot d$$

Gaya aksial (N_u) yang digunakan diambil nilai terkecil $N_u = 1054,729 \text{ kN}$

$$V_c = \left[1 + \left(\frac{1054729}{14 \cdot 400^2} \right) \right] \cdot \left[\frac{\sqrt{41}}{6} \right] \cdot 400 \cdot 350$$

$$= 149477 \text{ N} = 149,477 \text{ kN}$$

Gaya geser rencana:

Dari analisis perhitungan SAP 2000 diperoleh:

- gaya geser akibat beban mati = 59,4705 kN
- gaya geser akibat beban hidup = 14,3263 kN
- gaya geser akibat beban gempa = 272,6022 kN

$$V_{u,k} = 1,05 (V_{d,k} + V_{L,k} + 4/K \cdot V_{E,k})$$

$$= 1,05 (59,4705 + 14,3263 + 4/1,4 \cdot 272,6022)$$

$$= 895,293 \text{ kN}$$

Gaya geser yang digunakan dalam perhitungan adalah gaya geser yang didapat dari pengurangan gaya geser rencana ($V_{u,k}$) dengan gaya geser yang mampu disumbangkan oleh beton (V_c) sehingga:

$$V_{u,k,r} = (V_{u,k} / \phi) - V_c$$

$$= (895,293 / 0,6) - 149,477$$

$$= 1342,678 \text{ kN}$$

Digunakan sengkang *deform* D-10 dengan mutu baja $f_y = 400 \text{ Mpa}$ dengan luas 1 sengkang (A_v) menurut SK-SNI T-15-1991-03 adalah dua kali luas diameter tulangan sengkang yang digunakan;

$$A_v = 2 (0,25 \cdot \pi \cdot d^2)$$

$$= 2 (0,25 \cdot \pi \cdot 100)$$

$$= 157,10 \text{ mm}^2$$

maka jarak sengkang perlu:

$$\begin{aligned} s &= \left[\frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{I_{n.k.r}} \right] \\ &= \left[\frac{157,1 \cdot 400 \cdot 350}{1342,678 \cdot 10^3} \right] \\ &= 16,38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak sengkang perlu yang diperoleh ternyata terlalu rapat untuk digunakan sehingga luas tulangan sengkang yang digunakan ditingkatkan dengan menggunakan 1 sengkang *cross tie* sehingga luas sengkang,

$$\begin{aligned} A_v &= 157,10 + (0,25 \cdot \pi \cdot 100) \\ &= 235,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak sengkang menjadi

$$s = \left[\frac{235,64 \cdot 400 \cdot 350}{1342,678 \cdot 10^3} \right] = 24,57 \text{ mm} \approx 24 \text{ mm}$$

Digunakan jarak spasi antar sengkang $s = 24 \text{ mm}$ sehingga gaya geser yang mampu ditahan oleh 1 sengkang segi – 4 dan 1 sengkang pengikat tambahan adalah

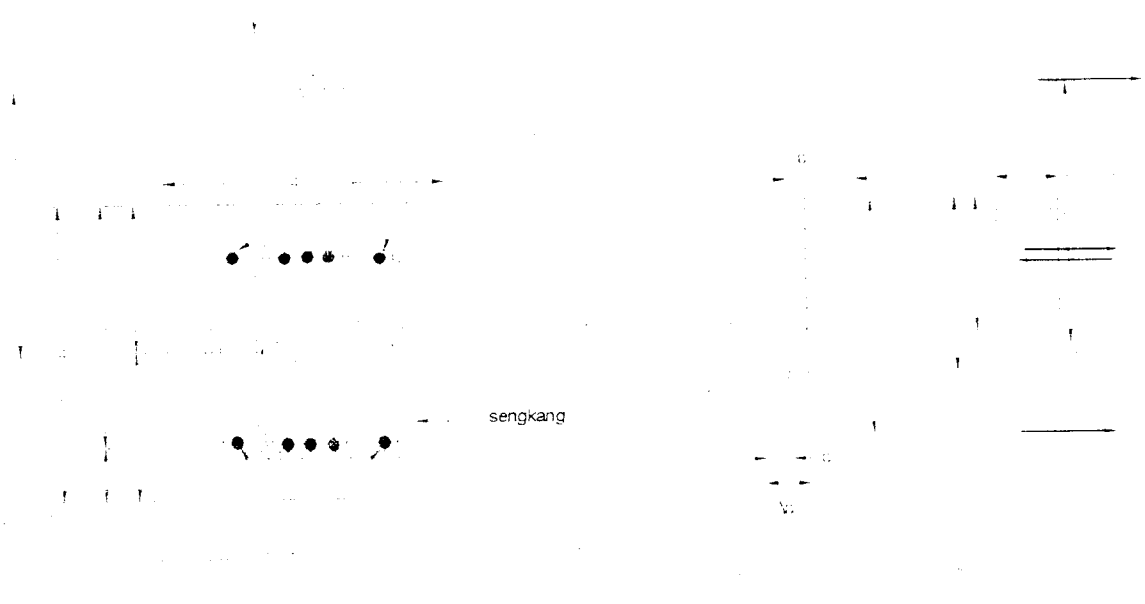
$$\begin{aligned} V_s &= \left[\frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right] \\ &= \left[\frac{235,64 \cdot 400 \cdot 350}{24} \right] \\ &= 1374,567 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser aktual yang mampu ditahan oleh sengkang dan beton adalah

$$V_{u,k/o} < V_c + V_s$$

$$895,293 / 0,6 < 149,477 + 1374,567$$

$$1492,155 \text{ kN} < 1524,044 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{O.K}$$



Gambar 4.8 Penampang kolom, diagram regangan dan tegangan beton prategang

4.6 Diagram Interaksi Kolom Beton Prategang

Diagram interaksi beban-momen untuk sebuah elemen tekan beton prategang berukuran 400 x 400 mm dengan tulangan 10D 1/2" seven wire stress relieved 270 K strand. Pada masing-masing sisi terdapat setengah jumlah tulangan terhadap garis netral seperti gambar 4.9. Untuk diagram tegangan-regangan seperti gambar 4.10.

Gaya prategang efektif setelah kehilangan gaya prategang $f_{pe} = 1034$ Mpa. Sebagai tambahan, gambar diagram interaksi Pn-Mn dapat dilihat pada gambar 4.11 dengan nilai faktor reduksi yang tepat. Data-data lain sebagai berikut:

$$f'_c = 41 \text{ Mpa}$$

$$E_{ps} = 200\,000 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 30095 \text{ Mpa}$$

$$f_{ps} = 1.655 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003 \text{ diambil pada keadaan luluh}$$

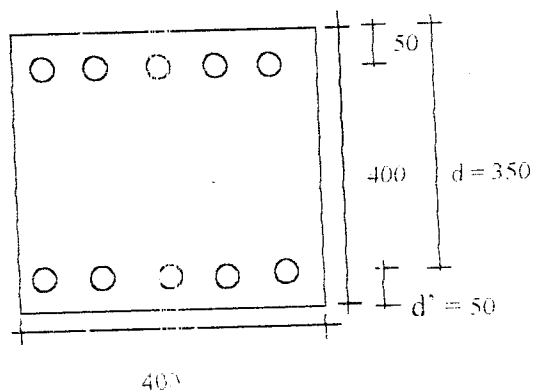
$$\epsilon_{ce} = 0,0002$$

$$\epsilon_{py} = 0,012$$

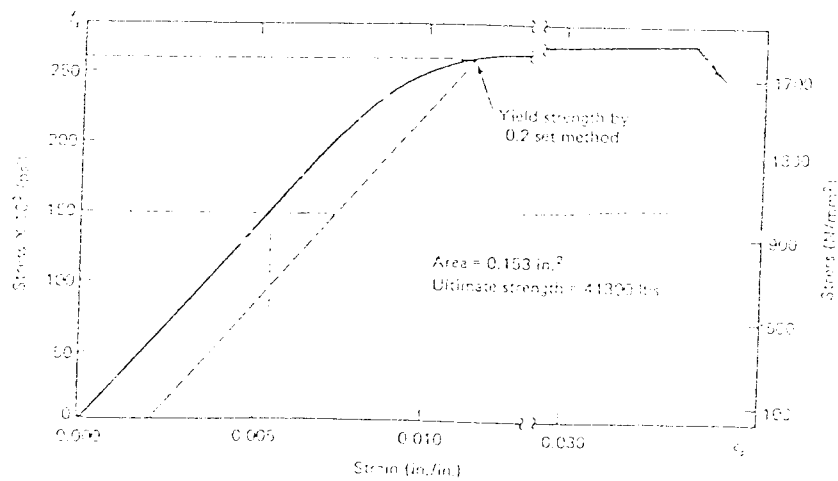
1. Tekan aksial murni (*pure compression*). $M_u=0$, $C = \infty$

Kedalaman blok tekan beton $a = 400$ mm, $d' = 50$ mm

diameter tulangan $\frac{1}{2}'' = 12,7$ mm



Gambar 4.9. Penampang melintang kolom



Gambar 4.10. Diagram tegangan regangan untuk tendon D $\frac{1}{2}$ '' grade 270 K

Tinggi efektif = $400 - 50 = 350$ mm

Luas D $\frac{1}{2}$ '' = $98,7$ mm²

$A_{ps} = 5D \frac{1}{2}'' = 493,9$ mm²

Dari gambar 4.9, untuk $f_{pe} = 1034$ didapat $\epsilon_{pe} = 0,0052$

Regangan merata pada beton akibat prategangan pada baja

$$\epsilon_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{pe}}{A_n \cdot E_c} = \frac{987 \cdot 1034}{(400^2 - 987) \cdot 30654} = 0,0002$$

Gaya desak beton

$$\begin{aligned} C_{cn} &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 400 = 5576000 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya pada kabel prategang sisi tekan

$$\begin{aligned} T'_{sn} &= A'_{ps} \cdot E_{ps} \left(\epsilon_{pe} - \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{c-d}{c} \right) + \epsilon_{cc} \right) \\ &= 493,5 \cdot 200000 \cdot \left(0,0052 - 0,003 \left(\frac{\infty - 50}{\infty} \right) + 0,0002 \right) \\ &= 493,5 \cdot 200000 \cdot (0,0052 - 0,003 + 0,0002) \\ &= 236880 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya pada kabel prategang sisi tarik

$$\begin{aligned} T_{sn} &= A'_{ps} \cdot E_{ps} \left(\epsilon_{pe} + \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{d-c}{c} \right) + \epsilon_{cc} \right) \\ &= 493,5 \cdot 200000 \cdot \left(0,0052 + 0,0003 \left(\frac{350 - \infty}{\infty} \right) + 0,0002 \right) \\ &= 236880 \text{ N} \end{aligned}$$

Dengan demikian gaya pada kolom dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned} P_n &= C_{cn} - T'_{sr} - T_{sn} \\ &= 5576000 - 236880 - 236880 \\ &= 5102240 \text{ N} \end{aligned}$$

Harga momen berdasarkan persamaan

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_{cn} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) - T_{sn} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_{sn} \left(d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 5576000 \left(\frac{400}{2} - \frac{400}{2} \right) - 236800 \left(\frac{400}{2} - 50 \right) + 236880 \left(350 - \frac{400}{2} \right) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{M_n}{P_u} \\
 &= \frac{0}{5102240} = 0
 \end{aligned}$$

2. Tegangan tarik pada sisi tarik terluar = 0

$$\begin{aligned}
 \beta &= 0,85 - 0,008(f'_c - 30) \\
 &= 0,85 - 0,008(41 - 30) \\
 &= 0,762
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \beta \cdot c \\
 &= 0,762 \cdot 400 = 304,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Gaya desak beton

$$\begin{aligned}
 C_{cn} &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \\
 &= 0,85 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 304,8 = 4248912 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya pada kabel prategang sisi tekan

$$\begin{aligned}
 T'_{sn} &= A'_{ps} \cdot E_{ps} \left(\epsilon_{pe} - \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{c-d}{c} \right) + \epsilon_{ce} \right) \\
 &= 493,5 \cdot 200000 \cdot \left(0,0052 - 0,003 \left(\frac{400-50}{400} \right) + 0,0002 \right) \\
 &= 273892 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya pada kabel prategang sisi tarik

$$\begin{aligned}
 T_{sn} &= A_{ps} \cdot E_{ps} \left(\varepsilon_{pe} + \varepsilon_{cu} \cdot \left(\frac{d-c}{c} \right) + \varepsilon_{ce} \right) \\
 &= 493,5 \cdot 200000 \cdot \left(0,0052 + 0,003 \left(\frac{350-400}{400} \right) + 0,0002 \right) \\
 &= 495967 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian gaya pada kolom dapat dihitung dengan persamaan

$$\begin{aligned}
 P_n &= C_{cn} - T'_{sn} - T_{sn} \\
 &= 4248912 - 273892 - 495967 = 3479053 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Nilai momen:

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_{cn} \left(\frac{h-a}{2} \right) - T'_{sn} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_{sn} \left(d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 4248912 \left(\frac{400}{2} - \frac{304,8}{2} \right) - 273892 \left(\frac{400}{2} - 50 \right) + 495967 \left(350 - \frac{400}{2} \right) \\
 &= 235559461 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{235559461}{3479053} = 68 \text{ mm}$$

3. Momen murni, $P_n = 0$

Abaikan pengaruh tulangan tekan A'_{ps} dalam perhitungan kekuatan momen lentur

karena untuk $P_n = 0$ luas tulangan ini tidak menentukan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{493,5 \cdot 1655}{0,85 \cdot 41 \cdot 400} = 59 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

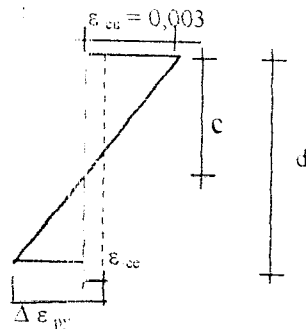
$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{59}{0,762} = 77 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{tt} &= A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 493,5 \cdot 1655 \cdot \left(350 - \frac{59}{2} \right) \\ &= 261765971 \text{ N}\cdot\text{mm} \end{aligned}$$

$$e = \frac{M_{tt}}{P_n} = \frac{261765971}{0} = \infty$$

4. Kondisi *balanced*, P_{nb} , M_{nb} , e_b

Sesuai gambar 4.11 dibawah, dengan melalui tahapan *trial and error* maka didapat $\Delta \varepsilon_{py} = 0,00177$ untuk momen maksimal.



Gambar 4.11. Distribusi regangan

$$\frac{c}{(d-c)} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\Delta \varepsilon_{py}} = \frac{0,003}{0,00177}$$

$$0,00177 c = 0,003d - 0,003 c$$

$$c = \frac{0,003 \cdot 350}{0,00177 + 0,003} = 220 \text{ mm}$$

$$\text{Maka } a_b = c_b \cdot B = 0,762 \cdot 220 = 167,64 \text{ mm}$$

Gaya-gaya yang terjadi

Gaya desak pada penampang beton

$$C_{cn} = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 167,64 = 2336902 \text{ N}$$

Gaya pada kabel prategang sisi tekan

$$\begin{aligned} T_{sn} &= A'_{ps} \cdot E_{ps} \left(\epsilon_{pe} - \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{c-d'}{c} \right) + \epsilon_{cc} \right) \\ &= 493,5 \cdot 200000 \cdot \left(0,0052 - 0,003 \left(\frac{220-50}{220} \right) + 0,0002 \right) \\ &= 304176 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya pada kabel prategang sisi tarik

$$\begin{aligned} T_{sn} &= A'_{ps} \cdot E_{ps} \left(\epsilon_{pe} + \epsilon_{cu} \cdot \left(\frac{d-c}{c} \right) + \epsilon_{cc} \right) \\ &= 493,5 \cdot 200000 \cdot \left(0,0052 + 0,003 \left(\frac{350-220}{220} \right) + 0,0002 \right) \\ &= 707948 \text{ N} \end{aligned}$$

Dengan demikian gaya pada kolom dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} P_n &= C_{cn} - T'_{sn} - T_{sn} \\ &= 2336902 - 304176 - 707948 \\ &= 1324778 \text{ N} \end{aligned}$$

Harga momen berdasarkan persamaan

$$\begin{aligned} M_u &= C_{cn} \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) - T'_{sn} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_{sn} \left(d - \frac{h}{2} \right) \\ &= 2336902 \left(\frac{400}{2} - \frac{167,64}{2} \right) - 304176 \left(\frac{400}{2} - 50 \right) + 707948 \left(350 - \frac{400}{2} \right) \end{aligned}$$

$$= 332067074 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{332067074}{1324778} = 251 \text{ mm}$$

Koordinat dari keempat kasus diatas adalah titik kontrol dari diagram interaksi $P_n - M_n$. Titik-titik lain perlu dihitung untuk dapat menggambar diagram interaksi kolom secara akurat yang meliputi semua tingkat pembebanan. Sebagai contoh, titik-titik tambahan antara koordinat dari kasus 2-4 harus ditentukan. Diambil nilai tambahan dengan kedalaman garis netral e yang berbeda, dan menghitung nilai $P_u - M_u$ dan e dari pemisalan nilai e semula. Tabel 4.6 mencantumkan nilai-nilai dari koordinat yang digunakan untuk menggambar diagram interaksi $P_n - M_n$. Dari diagram terlihat bahwa ordinat momen maksimum adalah $M_n = 332,067 \text{ kN}\cdot\text{m}$ terletak pada kondisi balance maka asumsi dari $e_b = 220$ adalah benar.

Pada diagram desain beban-momen ($P_u - M_u$), daerah batas dimana nilai faktor reduksi kekuatan ϕ dapat ditingkatkan yaitu $0,1 \cdot f'_c \cdot A_g$. Pada soal diatas harga batas tersebut adalah $0,1 \cdot f'_c \cdot A_g = 0,1 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 400 = 656000 \text{ N}$, dimana $P_{nb} = 332,067 \text{ kN} < 656 \text{ kN}$. Maka untuk daerah dibawah $0,1 \cdot f'_c \cdot A_g$, nilai faktor reduksi kekuatan dapat ditingkatkan antara 0,7 dan 0,9 untuk kolom bersengkang. Untuk mendapatkan nilai ϕ diambil dengan persamaan:

$$\phi = 0,9 - \frac{0,20 \cdot \phi \cdot P_n}{0,1 \cdot f'_c \cdot A_g} \geq 0,70$$

$$\text{Dimisalkan } \phi = 0,82$$

$$\phi = 0,9 - \frac{0,20 \cdot 0,82 \cdot 329980}{0,1 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 400}$$

$$0,82 = 0,82$$

Sehingga harga $P_{u6} = \phi P_{n6} = 0,82 \cdot 329,98 = 270,58 \text{ kN}$

$$M_{u6} = \phi M_{n6} = 0,82 \cdot 316,44 = 259,48 \text{ kN-m}$$

Sedang harga ϕ untuk titik 3 dimana terjadi *pure bending*, harga ϕ ditingkatkan dari 0,7 menjadi 0,9 sesuai dengan persyaratan diatas sehingga:

$$M_{u3} = \phi M_n = 0,90 \cdot 261,77 = 235,59 \text{ kN-m}$$

Penggunaan kuat tekan rencana ϕP_n dengan eksentrisitas nol harus direduksi dengan faktor tertentu seperti tertulis dalam SK-SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3 butir 5 yaitu:

Untuk komponen struktur pratekan, kuat tekan rencana ϕP_n tidak boleh diambil lebih besar 0,85 (untuk komponen struktur dengan tulangan spiral) atau 0,80 (untuk komponen struktur dengan sengkang pengikat) dari kuat tekan rencana dengan eksentrisitas nol ϕP_n , sehingga didapat:

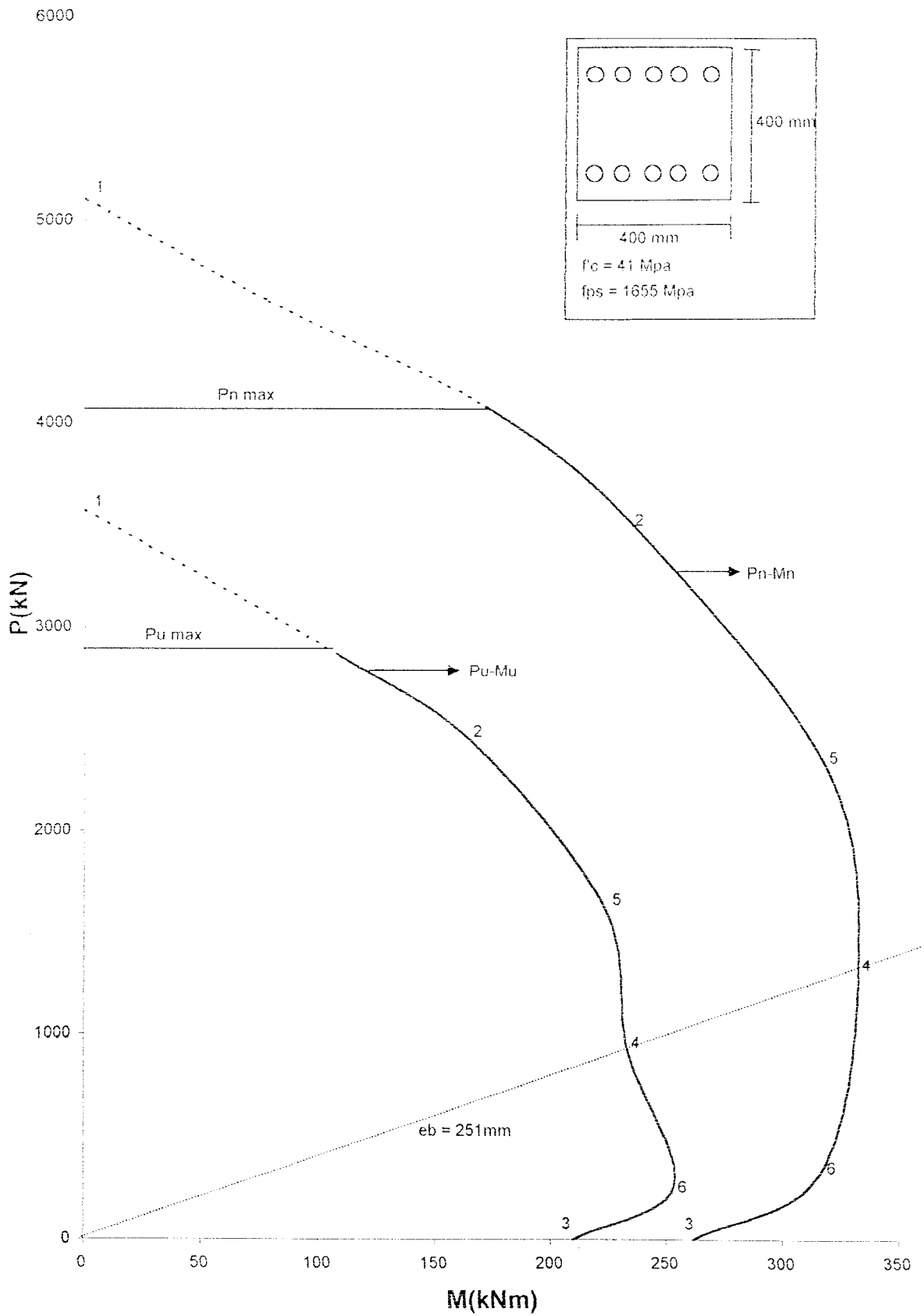
$$P_{u6} = \phi P_{n6} = 0,80 \cdot 329,98 = 263,98 \text{ kN}$$

$$M_{u6} = \phi M_{n6} = 0,8 \cdot 316,44 = 253,15 \text{ kN-m}$$

$$\text{Max } P_u = 0,8 \phi P_n = 0,8 \cdot 3571,55 = 2857,24 \text{ kN}$$

Tabel 4.6 Koordinat dari diagram interaksi P-M kolom prategang

| Titik | c mm | a mm | P_n kN | M_n kN-m | ϕ | P_u kN | M_u kN-m | e mm |
|-------|----------|---------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|----------|
| 1 | ∞ | 400 | 5102,22 | 0 | 0,7 | 3571,55 | 0 | 0 |
| 2 | 400 | 304,80 | 3479,05 | 235,56 | 0,7 | 2435,34 | 164,89 | 68 |
| 5 | 300 | 228,60 | 2318,12 | 317,51 | 0,7 | 1622,68 | 222,26 | 137 |
| 4 | 220 | 167,64 | 1324,78 | 332,07 | 0,7 | 927,35 | 232,45 | 251 |
| 6 | 150 | 114,30 | 329,98 | 316,44 | 0,8 | 263,98 | 253,15 | 959 |
| 3 | 77 | 59 | 0 | 261,77 | 0,8 | 0 | 209,42 | ∞ |



Gambar 4.12 Diagram interaksi kolom beton prategang

4.7 Diagram Interaksi Kolom Beton Bertulang

Diagram interaksi beban-momen untuk sebuah elemen tekan beton bertulang biasa. Analisis kolom bujur sangkar 400mm x 400mm. Untuk pemilihan diameter baja diasumsikan sama dengan diameter tendon yaitu 5D12,7mm pada masing-masing sisi sejajar sumbu netral.

Data-data lain sebagai berikut:

$$f'_c = 41 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{41} = 30.095 \text{ Mpa}$$

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

$$\epsilon_y = 0,002$$

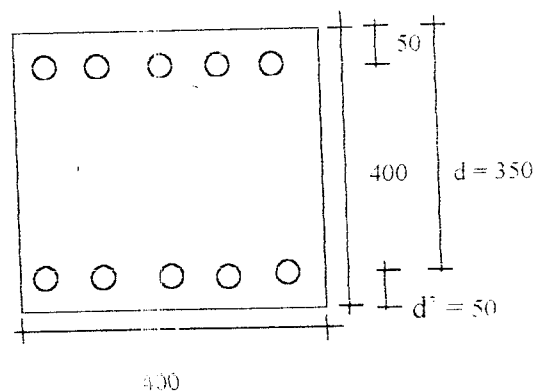
$$\epsilon_c = 0,003$$

$$A'_s = A_s = 493,5 \text{ mm}^2$$

1. Tekan aksial murni (*pure compression*). $M_u=0$, $C = \infty$

Kedalaman blok tekan beton $a = 400 \text{ mm}$, $d' = 50 \text{ mm}$

Tinggi efektif $= 400 - 50 = 350 \text{ mm}$

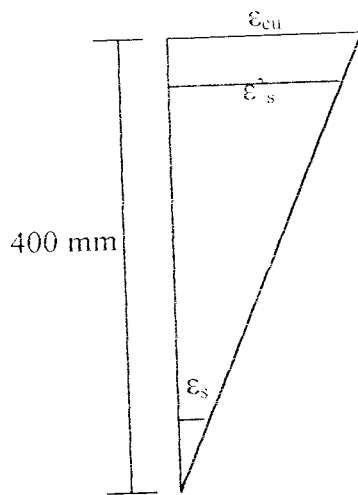


Gambar 4.13 Penampang melintang kolom

Gaya desak yang ditahan:

$$\begin{aligned}
 P_u &= 0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \\
 &= 0,85 \cdot 41 \cdot (400^2 - 987) + 400 \cdot 987 \\
 &= 5936403 \text{ N} = 5936,403 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Tegangan tarik pada sisi tarik terluar = 0. $c = 400 \text{ mm}$



Gambar 4.14 Diagram regangan dengan sisi terluar = 0

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,008(f'_c - 30) \\
 &= 0,85 - 0,008(41 - 30) = 0,762
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \beta_1 \cdot c \\
 &= 0,762 \cdot 400 = 304,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

• Cek regangan yang terjadi:

$$\varepsilon_s = \frac{0,003 \cdot d'}{c} = \frac{0,003 \cdot 50}{304,8}$$

$$= 0,0005 < \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja tarik belum leleh}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{0,003 \cdot d}{c} = \frac{0,003 \cdot 350}{304,8}$$

$$= 0,0034 > \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja desak leleh}$$

$$f'_s = E_s \cdot \varepsilon_s$$

$$= 200000 \cdot 0,0005 = 100 \text{ Mpa}$$

A'_s telah leleh, sehingga $f'_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$

Gaya-gaya yang terjadi:

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

$$= 0,85 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 304,8$$

$$= 4248912 \text{ N} = 4248,912 \text{ kN}$$

$$C_s = A'_s \cdot f'_s$$

$$= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N} = 197,400 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$= 493,5 \cdot 100 = 49350 \text{ N} = 49,350 \text{ kN}$$

Dengan demikian gaya pada kolom dapat dihitung dengan persamaan

$$P_n = C_c + C_s + T_s$$

$$= 4248912 + 197400 + 49350$$

$$= 4495662 \text{ N} = 4495,662 \text{ kN}$$

Momen yang dapat ditahan:

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) - T_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$= 4248912 \left(\frac{400}{2} - \frac{304,8}{2} \right) + 197400 \left(\frac{400}{2} - 50 \right) - 49350 \left(350 - \frac{400}{2} \right)$$

$$= 224455711 \text{ N-mm} = 224,456 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{224455711}{4495662} = 50 \text{ mm}$$

3. Kondisi momen murni, $P_n = 0$

Dimisalkan A'_s belum leleh, maka:

$$\epsilon'_s = \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (c - 50)}{c}$$

karena $f'_s = E_s \cdot \epsilon'_s$

$$f'_s = \frac{200000 \cdot 0,003 \cdot (c - 50)}{c} = \frac{600 \cdot (c - 50)}{c}$$

Gaya-gaya yang terjadi:

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 41 \cdot 0,762 \cdot c \cdot 400 = 10622,28 \cdot c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A'_s \cdot f'_s - 0,85 \cdot f_c \cdot A_s \\ &= 493,5 \cdot \frac{600 \cdot (c - 50)}{c} - 0,85 \cdot 41 \cdot 493,5 \\ &= \frac{296100 \cdot (c - 50)}{c} - 17198475 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_y \\ &= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N} \end{aligned}$$

Dengan persamaan keseimbangan:

$$T_s = C_c + C_s$$

$$197400 = 10622,28 \cdot c + \left(\left(\frac{296100 \cdot (c - 50)}{c} \right) - 1798475 \right)$$

Dengan persamaan kuadrat didapatkan nilai $c = 33,69$ mm. Berarti $c < d'$, sehingga A'_s yang dimisalkan semula sebagai tulangan desak ternyata mengalami tarik.

Dimisalkan $A'_s = A_s$ belum leleh, maka:

$$e'_s = \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (50 - c)}{c}$$

$$f'_s = \frac{600 \cdot (d - c)}{c} = \frac{600 \cdot (50 - c)}{c}$$

Gaya-gaya yang terjadi:

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 41 \cdot 0,762 \cdot c \cdot 400 = 10622,28 \cdot c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A'_s \cdot f'_s \\ &= 493,5 \cdot \frac{600 \cdot (50 - c)}{c} \\ &= \frac{14805000 - 296100 \cdot c}{c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_y \\ &= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N} \end{aligned}$$

Dengan persamaan keseimbangan:

$$\begin{aligned} C_c &= C_s + T_s \\ 10622,28 \cdot c &= 197400 + \left(\frac{14805000 - 296100 \cdot c}{c} \right) \end{aligned}$$

Diperoleh, $c = 32,98$ mm

Maka:

$$f_s = 309,64 \text{ MPa}$$

$$C_c = 350322 \text{ N}$$

$$T_s = 197400 \text{ N}$$

$$C_s = 152808 \text{ N}$$

Gaya yang dapat ditahan:

$$P_n = C_c - C_s - T_s$$

$$\approx 0$$

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) - C_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

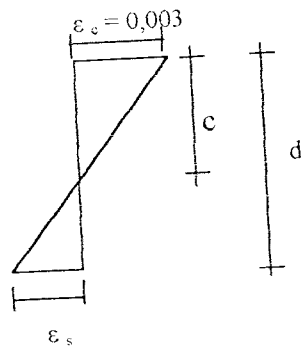
$$= 350322 \left(\frac{400}{2} - \frac{25}{2} \right) - 152808 \left(\frac{400}{2} - 50 \right) + 197400 \left(350 - \frac{400}{2} \right)$$

$$= 72.374175 \text{ N-mm} = 72,374 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{72374175}{0} = \infty \text{ mm}$$

4. Kondisi *balance*, P_{nb} , M_{nb} , e_b

Dengan menggunakan persamaan keseimbangan regangan maka nilai e_b dapat dihitung sesuai gambar 4.15 di bawah ini, dengan penyelesaian persamaan segitiga.



Gambar 4.15 Distribusi regangan

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{cr} + \varepsilon_s} = \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{cr} + \left(\frac{f_y}{E_s} \right)} = \frac{0,003}{0,003 + \left(\frac{f_y}{200.000} \right)}$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{600}{600 + f_y}, \text{ maka } c_b = d \cdot \frac{600}{600 + f_y} = 350 \cdot \frac{600}{600 + 400} = 210 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,008(f_c' - 30) \\ &= 0,85 - 0,008(41 - 30) = 0,762 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } a_b = \beta_1 \cdot c_b = 0,762 \cdot 210 = 160 \text{ mm}$$

Cek regangan yang terjadi:

$$\varepsilon_s = \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (350 - 210)}{210}$$

$$= 0,002 = \varepsilon_y = 0,002$$

$$\varepsilon_s' = \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (210 - 50)}{210}$$

$$= 0,0023 > \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja desak leleh}$$

A_s' telah leleh, sehingga $f_s' = f_y = 400 \text{ Mpa}$

Gaya-gaya yang terjadi:

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 41 \cdot 160 \cdot 400 = 2230400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot f_s' - 0,85 \cdot f_c' \cdot A_s \\ &= 493,5 \cdot 400 - 0,85 \cdot 41 \cdot 493,5 \\ &= 180201,525 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_y \\ &= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya yang dapat ditahan:

$$\begin{aligned}P_{nb} &= C_c + C_s - T_s \\ &= 2230400 + 180201,525 - 197400 \\ &= 2213201,525 \text{ N} = 2213,202 \text{ kN}\end{aligned}$$

Momen yang dapat ditahan:

$$\begin{aligned}M_{nb} &= C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(d - \frac{h}{2} \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \\ &= 2230400 \left(\frac{400}{2} - \frac{160}{2} \right) + 180201,525 \left(350 - \frac{400}{2} \right) + 197400 \left(\frac{400}{2} - 50 \right) \\ &= 324288228,8 \text{ N-mm} = 324,288 \text{ kNm} \\ e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{324288228,8}{2213201,525} = 146 \text{ mm}\end{aligned}$$

5. Kondisi patah tarik (keruntuhan tarik)

Syarat keruntuhan tarik, $e > e_b$ atau $P_n < P_{nb}$

a. Diambil nilai $c = 150 \text{ mm} < c_b = 210 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}a &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0,762 \cdot 150 = 114,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek regangan yang terjadi:

$$\begin{aligned}\varepsilon'_s &= \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (150 - 50)}{150} = 0,002 = \varepsilon_y = 0,002 \\ \varepsilon_s &= \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (350 - 150)}{150} = 0,004 > \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja tarik leleh}\end{aligned}$$

Gaya-gaya yang terjadi

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 41 \cdot 114,3 \cdot 400 = 1593342 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s &= A_s' \cdot f_y \\ &= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \cdot f_y \\ &= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya yang dapat ditahan:

$$\begin{aligned}P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 1593342 + 197400 - 197400 \\ &= 1593342 \text{ N} = 1593,342 \text{ kN} < P_{nb} = 2213,202 \text{ kN}\end{aligned}$$

Momen yang dapat ditahan:

$$\begin{aligned}M_n &= C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(d - \frac{h}{2} \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) \\ &= 1593342 \left(\frac{400}{2} - \frac{114,3}{2} \right) + 197400 \left(350 - \frac{400}{2} \right) + 197400 \left(\frac{400}{2} - 50 \right) \\ &= 286828904,7 \text{ N-mm} = 286,829 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$c = \frac{M_n}{P_n} = \frac{286828904}{1593342} = 180 \text{ mm} > c_b = 146 \text{ mm}$$

b. Diambil nilai $c = 77 \text{ mm} < c_b = 210 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}a &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0,762 \cdot 77 = 58,674 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek regangan yang terjadi:

$$\begin{aligned}\varepsilon'_s &= \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (77 - 50)}{77} \\ &= 0,0011 < \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja desak belum leleh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (350 - 77)}{77} \\ &= 0,0106 > \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja tarik leleh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f'_s &= E_s \cdot \varepsilon'_s \\ &= 200000 \cdot 0,0011 = 220 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Gaya-gaya yang terjadi

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 41 \cdot 58,674 \cdot 400 = 817915,56 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s &= A_s' \cdot f'_s \\ &= 493,5 \cdot 220 = 108570 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \cdot f_y \\ &= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya yang dapat ditahan:

$$\begin{aligned}P_{11} &= C_c + C_s - T_s \\ &= 1593342 + 108570 - 197400 \\ &= 729085,56 \text{ N} = 729,085 \text{ kN} < P_{nb} = 2213,202 \text{ kN}\end{aligned}$$

Momen yang dapat ditahan:

$$M_{11} = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(d - \frac{h}{2} \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$= 817915,56 \left(\frac{400}{2} - \frac{58,674}{2} \right) + 108570 \left(350 - \frac{400}{2} \right) + 197400 \left(\frac{400}{2} - 50 \right)$$

$$= 185483423,2 \text{ N-mm} = 185,483 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{185483423,2}{729085,56} = 254 \text{ mm} > e_b = 146 \text{ mm}$$

6. Kondisi patah tekan (keruntuhan tekan)

Syarat keruntuhan tekan $e < e_b$ atau $P_n > P_{nb}$

a. Diambil nilai $e = 300 \text{ mm} > e_b = 210 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0,762 \cdot 300 = 228,6 \text{ mm}$$

Cek regangan yang terjadi:

$$\epsilon'_s = \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (300 - 50)}{300}$$

$$= 0,0025 > \epsilon_y = 0,002, \text{ baja desak leleh}$$

$$\epsilon_s = \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (350 - 300)}{300}$$

$$= 0,0005 < \epsilon_y = 0,002, \text{ baja tarik belum leleh}$$

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s$$

$$= 200000 \cdot 0,0005 = 100 \text{ Mpa}$$

Gaya-gaya yang terjadi

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

$$= 0,85 \cdot 41 \cdot 228,6 \cdot 400 = 3186684 \text{ N}$$

$$C_s = A_s \cdot f_y$$

$$= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$= 493,5 \cdot 100 = 49350 \text{ N}$$

Gaya yang dapat ditahan:

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$= 3186684 + 197400 - 49350$$

$$= 3334734 \text{ N} = 3334,734 \text{ kN} > P_{nb} = 2213,202 \text{ kN}$$

Momen yang dapat ditahan:

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(d - \frac{h}{2} \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$= 3186684 \left(\frac{400}{2} - \frac{228,6}{2} \right) + 197400 \left(350 - \frac{400}{2} \right) + 49350 \left(\frac{400}{2} - 50 \right)$$

$$= 310111318,8 \text{ N-mm} = 310,111 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{310111318,8}{3334734} = 93 \text{ mm} < e_b = 146 \text{ mm}$$

b. Diambil nilai $c = 330 \text{ mm} > c_b = 210 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0,762 \cdot 330 = 251,46 \text{ mm}$$

Cek regangan yang terjadi:

$$\epsilon'_s = \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (330 - 50)}{330}$$

$$= 0,0025 > \epsilon_y = 0,002, \text{ baja desak leleh}$$

$$\epsilon_s = \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (350 - 330)}{330}$$

$$= 0,00018 < \epsilon_s = 0,002. \text{ baja tarik belum leleh}$$

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s$$

$$= 200000 \cdot 0,00018 = 35 \text{ Mpa}$$

Gaya-gaya yang terjadi

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

$$= 0,85 \cdot 41 \cdot 251,46 \cdot 400 = 3505352,4 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y$$

$$= 493,5 \cdot 400 = 197400 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$= 493,5 \cdot 36 = 17766 \text{ N}$$

Gaya yang dapat ditahan:

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$= 3505352,4 + 197400 - 17766$$

$$= 3684986,4 \text{ N} = 3684,986 \text{ kN} > P_{nb} = 2213,202 \text{ kN}$$

Momen yang dapat ditahan:

$$M_n = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(d - \frac{h}{2} \right) + T_s \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$= 3505352,4 \left(\frac{400}{2} - \frac{251,46}{2} \right) + 197400 \left(350 - \frac{400}{2} \right) + 17766 \left(\frac{400}{2} - 50 \right)$$

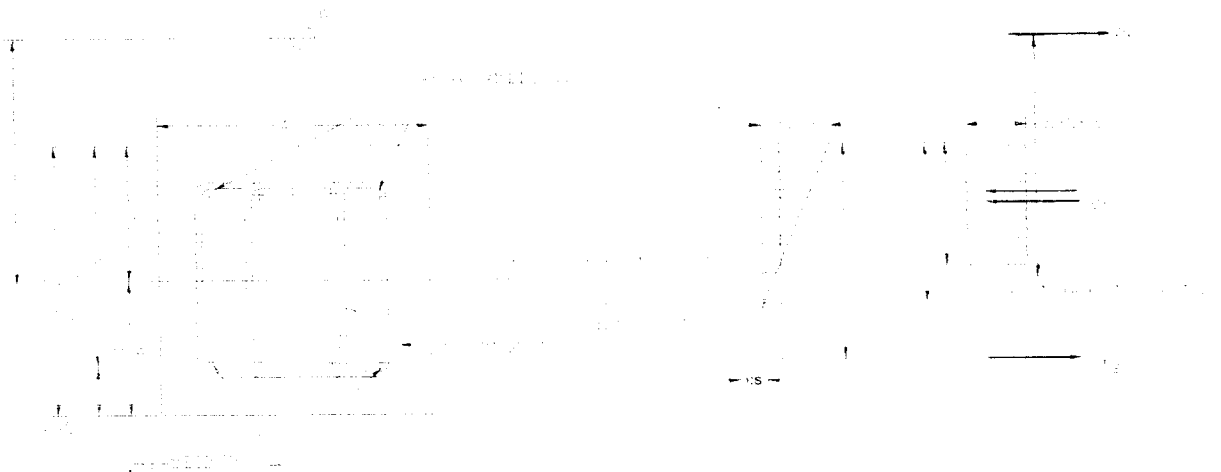
$$= 292617422,7 \text{ N-mm} = 292,617 \text{ kNm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{292617422,7}{3684986,4} = 79 \text{ mm} < e_b = 146 \text{ mm}$$

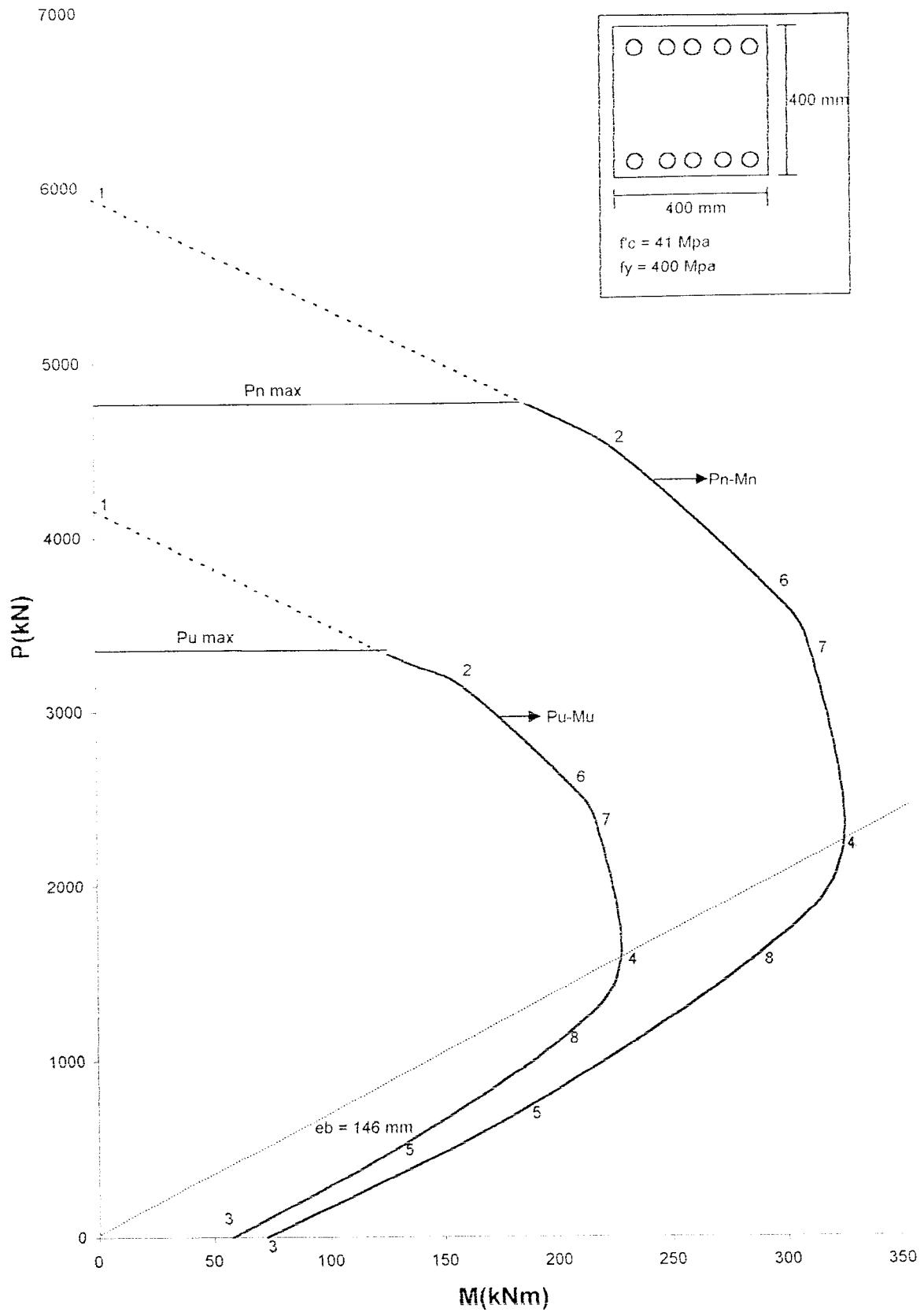
Tabel 4.7 mencantumkan nilai-nilai dari koordinat yang digunakan untuk menggambar diagram interaksi $P_n - M_n$ kolom beton bertulang biasa. Dari diagram terlihat bahwa ordinat momen maksimum adalah $M_n = 324,288 \text{ kN-m}$ terletak pada kondisi *balance*, maka asumsi dari $c_b = 210 \text{ mm}$ adalah benar.

Tabel 4.7 Koordinat dari diagram interaksi P-M kolom beton bertulang biasa

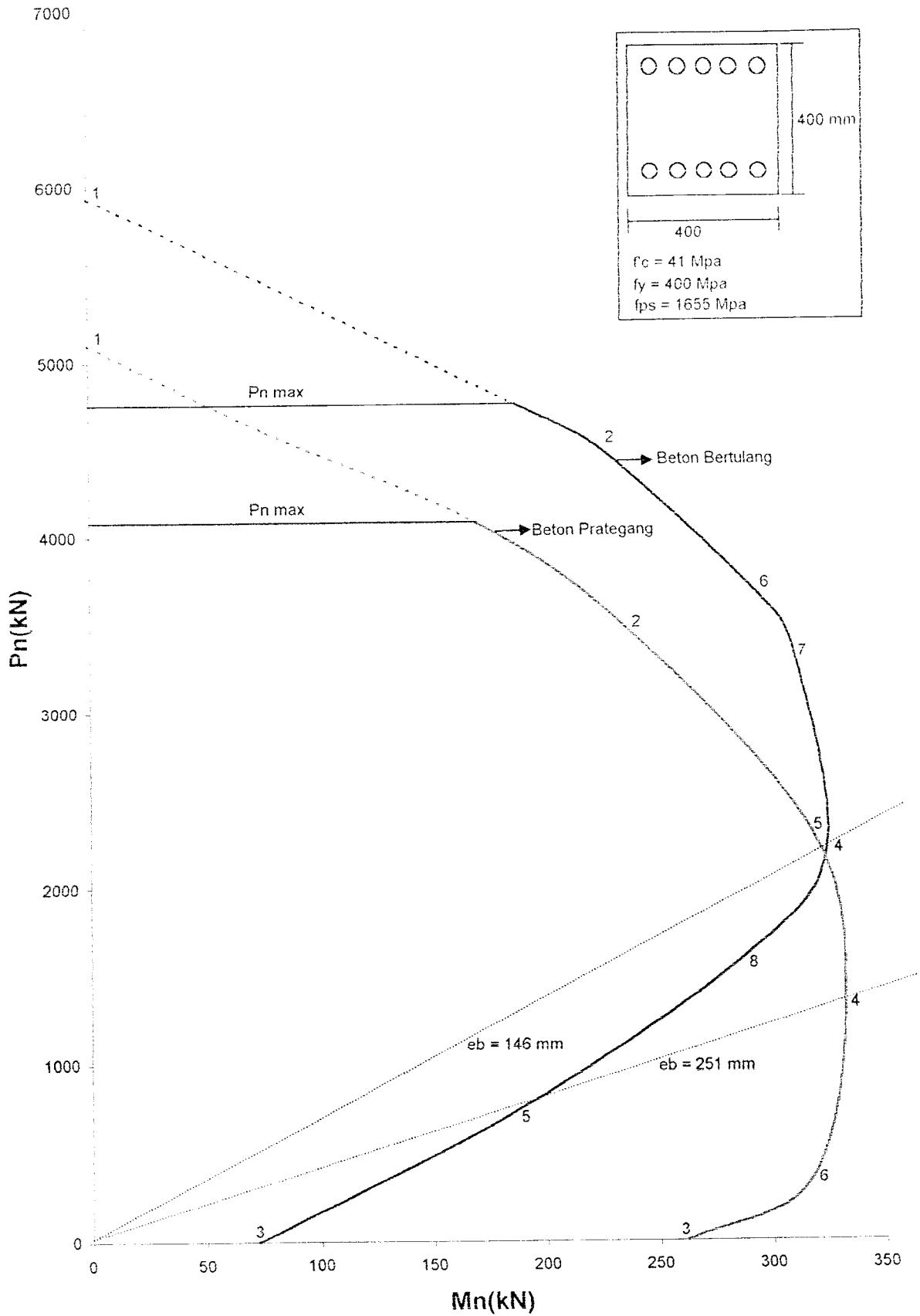
| Titik | c mm | a mm | P_n kN | M_n kN-m | ϕ | P_u kN | M_u kN-m | e mm |
|-------|----------|---------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|----------|
| 1 | ∞ | 400 | 5936,40 | 0 | 0,7 | 4155,48 | 0 | 0 |
| 2 | 400 | 304,8 | 4495,66 | 224,46 | 0,7 | 3146,96 | 157,12 | 50 |
| 6 | 330 | 251,46 | 3684,99 | 292,62 | 0,7 | 2579,49 | 204,83 | 79 |
| 7 | 300 | 228,6 | 3334,73 | 310,11 | 0,7 | 2334,31 | 217,08 | 93 |
| 4 | 210 | 160 | 2213,20 | 324,29 | 0,7 | 1549,24 | 227,0 | 146 |
| 8 | 150 | 114,3 | 1593,34 | 286,83 | 0,7 | 1115,34 | 200,78 | 180 |
| 5 | 77 | 58,67 | 729,08 | 185,48 | 0,7 | 510,36 | 129,84 | 254 |
| 3 | 32,9 | 25 | 0 | 72,37 | 0,8 | 0 | 57,90 | ∞ |



Gambar 4.16 Penampang kolom, diagram regangan dan tegangan beton bertulang



Gambar 4.16 Diagram interaksi kolom beton bertulang



Gambar 4.17 Perbandingan diagram interaksi kolom

BAB V

HASIL DESAIN DAN PEMBAHASAN

6.1 Umum

Dalam penulisan tugas akhir ini dilakukan analisis linear atau analisis orde pertama. Analisis dilakukan pada kolom slender prategang dengan dimensi 400 mm x 400 mm yang dianggap langsing dengan nilai kelangsingan $kl_u/r = 31$. Dengan metode pembesaran momen pada analisis orde pertama diperoleh nilai faktor pembesar baik untuk portal yang dipengaruhi gaya lateral δ_s maupun portal yang tidak dipengaruhi gaya lateral δ_{ns} . Nilai tersebut digunakan sebagai faktor pengali pada momen sehingga diperoleh momen yang diperbesar M_e . Dari nilai ini akan diperoleh momen yang diperlukan setelah dibagi dengan faktor reduksi.

6.2 Hasil Desain

Dari analisis dan desain perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan metode-metode di atas terhadap konfigurasi material, dimensi dan beban-beban yang bekerja pada struktur portal yang ditinjau serta dengan langkah dan teknik perhitungan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, dapat diketahui hasil akhir yang tertera pada tabel berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil analisis untuk kolom 2 slender prategang

| No | | Beban Gravitasi | Beban Gravitasi + Gempa |
|----|-----------------------|---|---|
| 1 | e_{min} | 27mm | 27mm |
| 2 | E_c | 30095 Mpa | 30095 MPa |
| 3 | I_z | 2.133.333.333 mm ⁴ | 2.133.333.333 mm ⁴ |
| 4 | β_d | 0,758 | 0,758 |
| 5 | EI | 1,461x10 ¹³ Nmm ² | 1,461x10 ¹³ Nmm ² |
| 6 | I_{cr} | 6.066.666.667 mm ⁴ | 6.066.666.667 mm ⁴ |
| 7 | ψ_A | 0,2 | 0,33 |
| 8 | ψ_B | 0,2 | 0,33 |
| 9 | K | 1,05 | 1,1 |
| 10 | kl_u/r | 31 | 31 |
| 11 | P_c | 10.677 kN | 40.810 kN |
| 12 | δ_{ns} | 1,24 | 1,20 |
| 13 | δ_s | - | 1,14 |
| 14 | M_c | 210,428 kNm | 386,384 kNm |
| 15 | P_n yang diperlukan | 2182,643 kN | 1904,551 kN |
| 16 | M_n yang diperlukan | 300,611 kNm | 551,977 kNm |
| 17 | e yang diperlukan | 138 mm | 290 mm |
| 18 | $A'_{ps} = A_{ps}$ | 493,5 mm ² | 493,5 mm ² |
| 19 | c_b | 220 mm | 220 mm |
| 20 | β | 0,762 | 0,762 |
| 21 | a_b | 167,64 mm | 167,64 mm |
| 22 | C_{cnb} | 2336,902 kN | 2336,902 kN |
| 23 | T'_{snb} | 304,176 kN | 304,176 kN |
| 24 | T_{snb} | 707,948 kN | 707,948 kN |
| 25 | P_{nb} | 1324,778 kN | 1324,778 kN |
| 26 | M_{nb} | 271,501 kN | 271,501 kN |
| 27 | e_b | 251 mm | 251 mm |
| 28 | C | 291 | - |
| 29 | β | 0,762 | - |
| 30 | C_{cn} | 3091,084 kN | - |
| 31 | T'_{sn} | 287,756 kN | - |
| 32 | T_{sn} | 593,014 kN | - |
| 33 | P_n | 2210,314 kN | - |

| | | | |
|----|-------|-------------|---|
| 34 | M_u | 321,294 kNm | - |
| 35 | e | 145 mm | - |

Tabel 5.2 Hasil analisis diagram interaksi P-M kolom beton prategang

| Titik | C mm | a mm | P_n kN | M_n kN-m | ϕ | P_u kN | M_u kN-m | e mm |
|-------|----------|---------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|----------|
| 1 | ∞ | 400 | 5102,22 | 0 | 0,7 | 3571,55 | 0 | 0 |
| 2 | 400 | 304,80 | 3479,05 | 235,56 | 0,7 | 2435,34 | 164,89 | 68 |
| 5 | 300 | 228,60 | 2318,12 | 317,51 | 0,7 | 1622,68 | 222,26 | 137 |
| 4 | 220 | 167,64 | 1324,78 | 332,07 | 0,7 | 927,35 | 232,45 | 251 |
| 6 | 150 | 114,30 | 329,98 | 316,44 | 0,8 | 263,98 | 253,15 | 959 |
| 3 | 77 | 59 | 0 | 261,77 | 0,8 | 0 | 209,42 | ∞ |

Tabel 5.3 Hasil analisis diagram interaksi P-M kolom beton bertulang biasa

| Titik | c mm | a mm | P_n kN | M_n kN-m | ϕ | P_u kN | M_u kN-m | e mm |
|-------|----------|---------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|----------|
| 1 | ∞ | 400 | 5936,40 | 0 | 0,7 | 4155,48 | 0 | 0 |
| 2 | 400 | 304,8 | 4495,66 | 224,46 | 0,7 | 3146,96 | 157,12 | 50 |
| 6 | 330 | 251,46 | 3684,99 | 292,62 | 0,7 | 2579,49 | 204,83 | 79 |
| 7 | 300 | 228,6 | 3334,73 | 310,11 | 0,7 | 2334,31 | 217,08 | 93 |
| 4 | 210 | 160 | 2213,20 | 324,29 | 0,7 | 1549,24 | 227,0 | 146 |
| 8 | 150 | 114,3 | 1593,34 | 286,83 | 0,7 | 1115,34 | 200,78 | 180 |
| 5 | 77 | 58,67 | 729,08 | 185,48 | 0,7 | 510,36 | 129,84 | 254 |
| 3 | 32,9 | 25 | 0 | 72,37 | 0,8 | 0 | 57,90 | ∞ |

6.3 Pembahasan

Pembahasan ini didasarkan pada hasil yang didapat dari perencanaan kolom 6 akibat adanya beban uniaksial serta perilaku kolom terhadap momen yang terjadi.

6.3.1 Eksentrisitas, beban dan momen pada kolom

Sistem prategang penuh diterapkan pada perencanaan struktur kolom yang diinginkan tidak terjadi tegangan tarik pada beton. Adanya kemungkinan terjadi gaya bolak-balik pada struktur dan mencegah kekeliruan penempatan tendon, maka penempatan tendon terletak di dua sisi yaitu tarik dan tekan dengan jumlah, mutu dan diameter yang sama.

Pada prinsipnya, pemberian prategang pada penampang dari suatu kolom ditujukan untuk meningkatkan tampang efektif dari beton tersebut, sehingga luasan beton yang aktif dalam menahan gaya aksial tekan menjadi lebih besar. Dengan luasan efektif yang besar tetapi hasil akhir gaya aksial tekan yang dapat ditahan (P_n) kecil karena adanya pengurangan gaya akibat tendon bagian tekan.

Dalam contoh perbandingan diagram interaksi kolom, terlihat bahwa kolom dengan ukuran 400 x 400 mm, untuk kolom beton bertulang pada kondisi *balance* garis netral $c_b = 210$ mm tetapi dengan sistem prategang dapat menaikkan garis netral c_b menjadi 220 mm. Hal ini disebabkan karena pada beton bertulang untuk menentukan garis netral c_b tanpa memperhitungkan gaya internal pada baja tetapi hanya didasarkan terhadap keadaan beton pada saat hancur dan baja saat luluh, sementara pada beton prategang untuk menentukan garis netral c_b dipengaruhi adanya penambahan nilai regangan pada tendon akibat adanya efek prategang, sehingga digunakan sistem *trial and error* sampai mendapatkan momen maksimal. Nilai c ini mengakibatkan kemampuan desak beton (C_c) pada kolom beton prategang menjadi lebih besar.

Pada kolom beton bertulang lebih efektif apabila menerima beban sentris karena tulangan pada bagian desak ikut membantu beton dalam menahan desak, sehingga mengakibatkan kemampuan menahan gaya desak beton bertambah. Sementara kolom beton prategang yang menerima beban sentris tidak efektif karena adanya tegangan pada tendon bagian desak yang justru akan menjadi seperti beban aksial pada bagian desak beton yang berarti mengurangi kemampuan beton dalam menahan desak. Oleh sebab itu, untuk kolom beton prategang beban aksial tekan yang dapat ditahan $P_n = 5102,22$ kN lebih kecil dibandingkan kolom beton bertulang $P_n = 5936,40$ kN.

Kolom beton prategang lebih efektif apabila menerima beban eksentris karena adanya tegangan internal pada tendon sehingga kapasitas momen akan bertambah. Sementara untuk kolom beton bertulang tidak efektif karena tegangan pada tulangan bagian desak justru akan mengurangi kapasitas momen. Oleh sebab itu, pada kondisi beban eksentris, nilai momen untuk kolom beton prategang $M_n = 261,77$ kN-m lebih besar daripada kolom beton bertulang $M_n = 72,37$ kN-m.

Efek tegangan pada tendon seperti terlihat dalam persamaan 3.12 yang mengandung dua faktor yang lain dari beton bertulang yaitu faktor ϵ_{pe} dan ϵ_{ce} . Nilai regangan desak beton ϵ_{cu} yang dirumuskan pada persamaan tersebut justru mempunyai tanda negatif untuk bagian desak. Dengan nilai ϵ_{pe} dan ϵ_{ce} akan menaikkan regangan pada tendon dibandingkan beton bertulang.

Diagram interaksi kolom (gambar 4.12), terlihat nilai M_u max tidak terjadi pada keadaan *balance*, tetapi M_u max terjadi pada titik koordinat 6 yang terletak di bawah $0,1 \cdot \bar{f}_c \cdot A_g$. Ini menunjukkan nilai momen yang lebih besar dari M_u max, karena adanya pengali dengan nilai faktor reduksi kekuatan ϕ yang nilainya ditingkatkan menjadi 0,8 untuk sengkang ikat pada komponen struktur prategang. Ini berbeda ketika diletakkan pada beton bertulang yang nilainya 0,8 dan M_u max tetap terjadi pada keadaan *balance*.

6.3.2 Pengaruh kelangsingan dari kolom beton prategang

Secara umum, penggunaan sistem beton prategang pada kolom akan membantu kolom dalam menahan gaya lateral akibat angin maupun gempa dan defleksi akibat beban yang terjadi. Dengan gaya prategang (tegangan internal), maka tekuk yang terjadi dapat berkurang dibandingkan kolom beton bertulang. Nilai tekuk ini, berpengaruh terhadap rasio kelangsingan kolom yang terjadi. Semakin besar nilai tekuk, rasio kelangsingan juga akan semakin besar. Pada beton prategang, kolom akan memungkinkan untuk membentuk kolom yang lebih langsing, yang berarti rasio kelangsingannya mampu lebih tinggi dari kolom beton bertulang.

6.3.3 Analisis dan desain kolom prategang

Dari analisis dan desain pada kolom slender prategang ini, persyaratan yang harus dipenuhi adalah kapasitas kolom P_n dan eksentrisitas e harus bernilai mendekati dengan P_n dan eksentrisitas e yang diperlukan. Sementara persyaratan yang dipakai

untuk momen adalah kapasitas momen M_n harus lebih besar dari momen M_u yang diperlukan.

Pada kolom eksterior dan interior selain kolom 6 dan 10, eksentrisitas dan beban aksial yang dihasilkan nilainya terlalu besar atau terlalu kecil dengan yang diperlukan, sehingga tidak sesuai dengan persyaratan yang diinginkan seperti yang tercantum pada persamaan 3.6 dan 3.15. Untuk kolom eksterior dan interior pada lantai satu meskipun rasio kelangsingannya lebih tinggi tetapi beban aksial dan eksentrisitas yang terjadi nilainya terlalu besar atau terlalu kecil dari yang diperlukan, sehingga tidak memenuhi persyaratan.

Setelah melalui proses perhitungan pada kapasitas kolom prategang, hanya kolom 6 dan 10 yang memenuhi persyaratan diatas dengan dengan nilai $P_n = 2210,314 \text{ kN} \approx P_n = 2182,643 \text{ kN}$ dan $e = 145 \text{ mm} \approx e = 138 \text{ mm}$. Pada perencanaan tersebut dihasilkan ukuran penampang kolom $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ dengan lima strand tujuh kawat 270K diameter 12,7 mm pada masing-masing sisi sejajar sumbu netral.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan desain kolom slender prategang akibat beban uniaksial dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Kolom slender beton prategang dilihat dari kemampuannya menahan kombinasi gaya P_n - M_n lebih efektif digunakan untuk kondisi pembebanan dengan eksentrisitas yang besar dan menerima momen yang besar. Sedangkan pada kolom beton bertulang akan efektif apabila menerima beban sentris.
2. Dengan adanya efek tegangan pada tendon menyebabkan berkurangnya kemampuan kolom dalam menahan beban aksial tetapi meningkatkan kemampuannya dalam menahan momen dan akibat efek tegangan tersebut akan mengurangi tekuk yang terjadi, sehingga kolom beton prategang mampu membentuk kolom yang lebih langsing daripada kolom beton bertulang.

6.2 Saran-saran

Dengan mempertimbangkan hal-hal sebelumnya dapat diberikan saran-saran sebagai berikut ini:

1. Karena pada tugas akhir ini berupa analisis dan desain perhitungan kolom slender prategang dilakukan dengan cara uniaksial momen, maka perlu analisis lebih lanjut pada kolom slender prategang yang dipengaruhi oleh biaksial momen.
2. Bentuk penampang kolom yang dipakai adalah bujur sangkar / persegi dan menggunakan sistem prategang penuh, maka perlu studi lebih lanjut untuk penampang kolom yang berbeda dengan sistem prategang sebagian.
3. Beban lateral yang digunakan berupa beban gempa, maka perlu analisis lebih lanjut dengan menambahkan beban angin.

DAFTAR PUSTAKA

1. _____ .1993, *Al Quran dan Terjemahannya*, Departemen Agama Republik Indonesia, Jakarta.
2. Lin, T.Y. ;Burns N.H, *Desain Struktur Beton Prategang*. Jilid 1 dan 2. Edisi ketiga, Interaksara, Jakarta, 2000
3. Nawy, E.G.”*Prestressed Concrete A Fundamental Approach*”,Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1996
4. Naaman, A.E,” *Prestressed Concrete Analysis and Design Fundamentals*”, Mc Graw Hill Book Company, 1982
5. ACI Comite 318,”*Building Code Requirements for Reinforced Concrete*” , ACI standart 318-95 .Detroit:American Concrete Institute,1995
6. Khacaturian. N, “*Prestressed Concrete*”, Mc Graw Hill Book Company,1969
7. Raju, N K, *Beton Prategang*, Mc Graw Hill Book Company, PT Erlangga, Jakarta, 1986
8. Yayasan LPMB, Standar SK-SNI T-15-1991-03 : Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Bandung : LPMB Departemen Pekerjaan Umum RI, 1991
9. Wang, C.K, *Desain Beton Bertulang*, Harper and Row, PT Erlangga, Jakarta,1985
10. Ferguson, P.M, *Dasar-dasar Beton Bertulang*, John Willey and Sons.Inc, PT Erlangga, Jakarta, 1981
11. Nilson, Arthur H., “*Design of Prestressed Concrete*”, John Willey and Sons, Second Edition, 1987
12. Nawy, E.G, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Englewood Cliffs, N.J : Prentice Hall, 1985
16. Sudarmoko, *Perancangan dan Analisis Kolom Beton Bertulang*, Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta, 1996
17. Yayasan Badan Penerbit PU, *Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum RI, 1987

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

NO. 1234

TANGGAL 12/12/2023

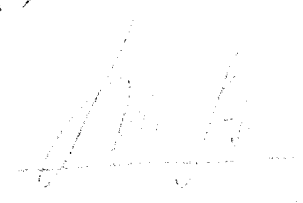
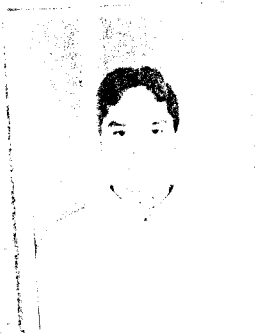
KELOMPOK 1

DAFTAR ISI

1. PENDAHULUAN

2. METODE PENELITIAN

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1.1. Diagram Geometri

Daftar Isi

Seminar
Adang
Pendaftaran

.....
.....
.....

DAFTAR KONSULTASI DAN TINDAK

| NO | TANGGAL | MATERI KONSULTASI | SIMPULAN |
|----|------------|---|----------|
| 1 | 11/9/2001 | Konsultasi dg DP II | |
| 2 | 13/10/2001 | ... | |
| 3 | 19/11/2001 | ... | |
| 3 | 26/9/2001 | Pertaha sedikit Siapkan revisi proposal | |
| 4 | 14/12/2001 | ... | |
| 5 | 17/12/2001 | ... | |
| 6 | 08/01/2002 | Dapat di lanjutkan ke Perencanaan I | |
| 7 | 10/01/2002 | Libat berunding di dlm Pertaha. | |
| 8 | 24/01/2002 | Pertaha | |
| 9 | 11/02/2002 | Sempurnakan Bab pendahuluan, Abstrak, dan kesimpulan | |
| 10 | 01/03/2002 | ... | |
| 11 | 04/03/2002 | lengkapi & sempurnakan | |
| 12 | 08/03/2002 | Siapkan sedang ke | |

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Prosedur Analisis Metode Penelitian

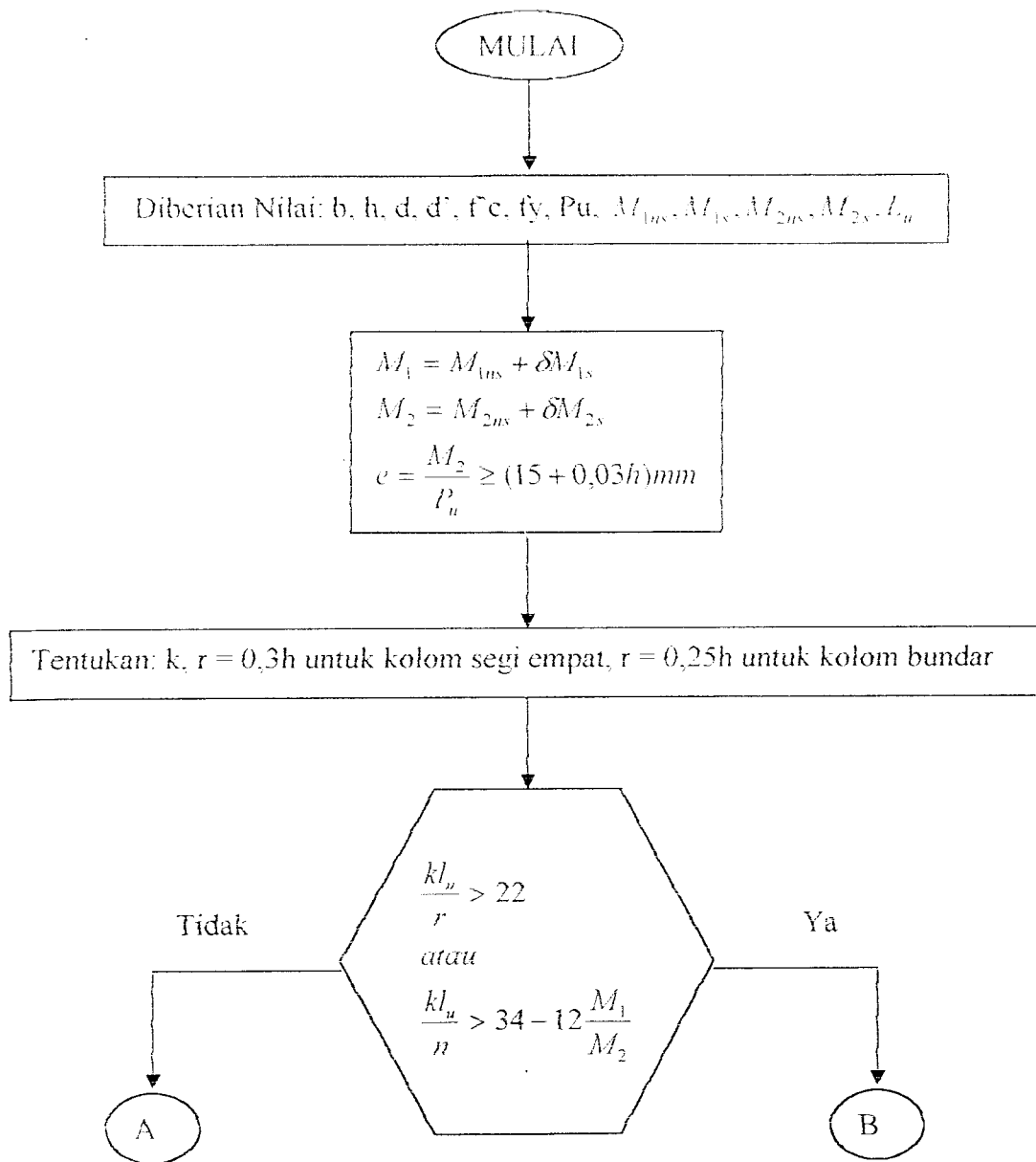
Metode operational dan diagram alur perencanaan untuk desain kolom panjang

1. Tentukan apakah rangka (frame) yang dianalisis (desain) mempunyai goyangan yang cukup besar. Apabila demikian, gunakan faktor pembesar (*magnification factor*) δ_{ns} dan δ_s . Apabila goyangannya dapat diabaikan, anggap $\delta_s = 0$. Dengan ukuran penampangnya yang ada, hitung eksentrisitasnya dengan menggunakan yang terbesar dari momen ujung, dan cek apakah sudah lebih besar dari batas eksentrisitas minimumnya.

$$\frac{M_2}{P_u} \geq (15 + 0,03h) \text{ mm}$$

Jika dihasilkan eksentrisitas lebih kecil dari nilai minimum, gunakan nilai yang minimum

2. Hitung ψ_A dan ψ_B dengan menggunakan persamaan 3.20. Hitung k dengan menggunakan grafik Jackson dan Moreland, hitung kl/r dan tentukan apakah termasuk kolom langsing ataukah kolom pendek. Apabila berupa kolom langsing dan kl_u/r tidak melebihi 100, hitunglah momen yang diperbesar M_c . Dengan menggunakan momen ini, hitunglah eksentrisitas ekivalen yang dapat digunakan untuk merancang kolom langsing ini seperti pada kolom pendek. Apabila kl_u/r lebih besar dari 100, lakukan analisis orde kedua.



LAMPIRAN 2

366 Desain Struktur Beton Prategang • Jilid 1

Sifat-sifat Baja Prategang

| Tipe | Lazim A.S. | | | Metrik | | |
|---------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|
| | Diameter Nominal (in.) | Luas Nominal (in. ²) | Berat Nominal (lb/ft) | Diameter Nominal (mm) | Luas Nominal (mm ²) | Massa Nominal (kg/m) |
| Strand 7-kawat (Derajat 250) | $\frac{1}{4}$ (0,250) | 0,036 | 0,12 | 6,350 | 23,2 | 0,179 |
| | $\frac{5}{16}$ (0,313) | 0,058 | 0,20 | 7,950 | 37,4 | 0,298 |
| | $\frac{3}{8}$ (0,375) | 0,080 | 0,27 | 9,525 | 51,6 | 0,402 |
| | $\frac{7}{16}$ (0,438) | 0,108 | 0,37 | 11,125 | 69,7 | 0,551 |
| | $\frac{1}{2}$ (0,500) | 0,144 | 0,49 | 12,700 | 92,9 | 0,729 |
| | (0,600) | 0,216 | 0,74 | 15,240 | 139,4 | 1,101 |
| Strand 7-kawat (Derajat 270) | $\frac{3}{8}$ (0,375) | 0,085 | 0,29 | 9,525 | 54,8 | 0,432 |
| | $\frac{7}{16}$ (0,438) | 0,115 | 0,40 | 11,125 | 74,2 | 0,595 |
| | $\frac{1}{2}$ (0,500) | 0,153 | 0,53 | 12,700 | 98,7 | 0,789 |
| | (0,600) | 0,215 | 0,74 | 15,240 | 138,7 | 1,101 |
| Kawat prategang | 0,192 | 0,029 | 0,098 | 4,877 | 18,7 | 0,146 |
| | 0,196 | 0,030 | 0,10 | 4,978 | 19,4 | 0,149 |
| | 0,250 | 0,049 | 0,17 | 6,350 | 31,6 | 0,253 |
| | 0,276 | 0,060 | 0,20 | 7,010 | 38,7 | 0,298 |

| Tipe | Lazim A.S. | | | Metrik | | |
|---------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|
| | Diameter Nominal (in.) | Luas Nominal (in. ²) | Berat Nominal (lb/ft) | Diameter Nominal (mm) | Luas Nominal (mm ²) | Massa Nominal (kg/m) |
| Batang prategang (mulus) | $\frac{3}{4}$ | 0,44 | 1,50 | 19,050 | 283,9 | 2,232 |
| | $\frac{7}{8}$ | 0,60 | 2,04 | 22,225 | 387,1 | 3,036 |
| | 1 | 0,78 | 2,67 | 25,400 | 503,2 | 3,973 |
| | $1\frac{1}{8}$ | 0,99 | 3,38 | 28,575 | 638,7 | 5,030 |
| | $1\frac{1}{4}$ | 1,23 | 4,17 | 31,750 | 793,5 | 6,206 |
| | $1\frac{3}{8}$ | 1,48 | 5,05 | 34,925 | 954,8 | 7,515 |
| Batang prategang (terdeformasi) | $\frac{5}{16}$ | 0,28 | 0,98 | 15,875 | 180,6 | 1,458 |
| | $\frac{3}{8}$ | 0,42 | 1,49 | 19,050 | 271,0 | 2,217 |
| | 1 | 0,85 | 3,01 | 25,400 | 548,4 | 4,480 |
| | $1\frac{1}{4}$ | 1,25 | 4,39 | 31,750 | 806,5 | 6,535 |
| | $1\frac{3}{8}$ | 1,58 | 5,56 | 34,925 | 1006,5 | 8,274 |

LAMPIRAN 3a

; File C:\My Documents\SAP\TA HEZEE2.\$2K saved 1/1/02 16:23:28 in
KN-m

SYSTEM

DOF=UX,UZ,RY LENGTH=m FORCE=KN LINES=59

JOINT

1 X=-13.2 Y=0 Z=-1
2 X=-13.2 Y=0 Z=3.5
3 X=-13.2 Y=0 Z=7
4 X=-13.2 Y=0 Z=10.5
5 X=-13.2 Y=0 Z=14
6 X=-6 Y=0 Z=-1
7 X=-6 Y=0 Z=3.5
8 X=-6 Y=0 Z=7
9 X=-6 Y=0 Z=10.5
10 X=-6 Y=0 Z=14
11 X=6 Y=0 Z=-1
12 X=6 Y=0 Z=3.5
13 X=6 Y=0 Z=7
14 X=6 Y=0 Z=10.5
15 X=6 Y=0 Z=14
16 X=13.2 Y=0 Z=-1
17 X=13.2 Y=0 Z=3.5
18 X=13.2 Y=0 Z=7
19 X=13.2 Y=0 Z=10.5
20 X=13.2 Y=0 Z=14
21 X=-9.6 Y=0 Z=3.5
22 X=-9.6 Y=0 Z=7
23 X=-9.6 Y=0 Z=10.5
24 X=-9.6 Y=0 Z=14
25 X=0 Y=0 Z=3.5
26 X=0 Y=0 Z=7
27 X=0 Y=0 Z=10.5
28 X=0 Y=0 Z=14
29 X=9.6 Y=0 Z=3.5
30 X=9.6 Y=0 Z=7
31 X=9.6 Y=0 Z=10.5
32 X=9.6 Y=0 Z=14

RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=6 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=11 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3
ADD=16 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3

PATTERN

NAME=DEFAULT

MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.827 W=76.82
T=0 E=2E+08 U=.3 A=.0000117 FY=400000
NAME=CONC IDES=C M=2.4 W=24
T=0 E=2.229458E+07 U=.2 A=.0000099
NAME=OTHER IDES=N M=2.401 W=23.56
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099
NAME=CONC1 IDES=C M=2.4 W=24
T=0 E=3.0095E+07 U=.2 A=.0000117

FRAME SECTION

NAME=FSEC1 MAT=STEEL SH=R T=.5,.3 A=.15 J=2.817371E-03
I=.003125,.001125 AS=.125,.125
NAME=B40X60 MAT=CONC SH=R T=.6,.4 A=.24 J=7.512494E-03

I=.0072,.0032 AS=.2,.2

NAME=B40X80 MAT=CONC SH=R T=.8,.4 A=.32 J=1.171867E-02 I=
1.706667E-02,4.266667E-03 AS=.266667,.266667
NAME=K40X40 MAT=CONC1 SH=R T=.4,.4 A=.16 J=3.605333E-03 I=
2.133333E-03,2.133333E-03 AS=.133333,.133333

FRAME

1 J=1,2 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
2 J=2,3 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
3 J=3,4 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
4 J=4,5 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
5 J=6,7 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
6 J=7,8 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
7 J=8,9 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
8 J=9,10 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
9 J=11,12 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
10 J=12,13 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
11 J=13,14 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
12 J=14,15 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
13 J=16,17 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
14 J=17,18 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
15 J=18,19 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
16 J=19,20 SEC=K40X40 NSEG=2 ANG=0
29 J=2,21 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
30 J=21,7 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
31 J=3,22 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
32 J=22,8 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
33 J=4,23 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
34 J=23,9 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
35 J=5,24 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
36 J=24,10 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
37 J=7,25 SEC=B40X80 NSEG=4 ANG=0
38 J=25,12 SEC=B40X80 NSEG=4 ANG=0
39 J=8,26 SEC=B40X80 NSEG=4 ANG=0
40 J=26,13 SEC=B40X80 NSEG=4 ANG=0
41 J=9,27 SEC=B40X80 NSEG=4 ANG=0
42 J=27,14 SEC=B40X80 NSEG=4 ANG=0
43 J=10,28 SEC=B40X80 NSEG=4 ANG=0
44 J=28,15 SEC=B40X80 NSEG=4 ANG=0
45 J=12,29 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
46 J=29,17 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
47 J=13,30 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
48 J=30,18 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
49 J=14,31 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
50 J=31,19 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
51 J=15,32 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0
52 J=32,20 SEC=B40X60 NSEG=4 ANG=0

LOAD

NAME=MAT1 CSYS=0
TYPE=DISTRIBUTED SPAN
ADD=29 RD=0,1 UZ=-33.179,-33.179
ADD=30 RD=0,1 UZ=-33.179,-33.179
ADD=31 RD=0,1 UZ=-31.929,-31.929
ADD=32 RD=0,1 UZ=-31.929,-31.929
ADD=33 RD=0,1 UZ=-31.929,-31.929
ADD=34 RD=0,1 UZ=-31.929,-31.929
ADD=35 RD=0,1 UZ=-19.552,-19.552
ADD=36 RD=0,1 UZ=-19.552,-19.552
ADD=37 RD=0,1 UZ=-41.042,-41.042
ADD=38 RD=0,1 UZ=-41.042,-41.042
ADD=39 RD=0,1 UZ=-39.792,-39.792
ADD=40 RD=0,1 UZ=-39.792,-39.792
ADD=41 RD=0,1 UZ=-39.792,-39.792
ADD=42 RD=0,1 UZ=-39.792,-39.792

ADD=43 RD=0,1 UZ=-25.917,-25.917
ADD=44 RD=0,1 UZ=-25.917,-25.917
ADD=45 RD=0,1 UZ=-33.179,-33.179
ADD=46 RD=0,1 UZ=-33.179,-33.179
ADD=47 RD=0,1 UZ=-31.929,-31.929
ADD=48 RD=0,1 UZ=-31.929,-31.929
ADD=49 RD=0,1 UZ=-31.929,-31.929
ADD=50 RD=0,1 UZ=-31.929,-31.929
ADD=51 RD=0,1 UZ=-19.552,-19.552
ADD=52 RD=0,1 UZ=-19.552,-19.552

NAME=HIDUP CSYS=0

TYPE=DISTRIBUTED SPAN

ADD=29 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=30 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=31 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=32 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=33 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=34 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=37 RD=0,1 UZ=-9.504,-9.504
ADD=38 RD=0,1 UZ=-9.504,-9.504
ADD=39 RD=0,1 UZ=-9.504,-9.504
ADD=40 RD=0,1 UZ=-9.504,-9.504
ADD=41 RD=0,1 UZ=-9.504,-9.504
ADD=42 RD=0,1 UZ=-9.504,-9.504
ADD=43 RD=0,1 UZ=-4.562,-4.562
ADD=44 RD=0,1 UZ=-4.562,-4.562
ADD=45 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=46 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=47 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=48 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=49 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=50 RD=0,1 UZ=-7.2,-7.2
ADD=35 RD=0,1 UZ=-3.456,-3.456
ADD=36 RD=0,1 UZ=-3.456,-3.456
ADD=51 RD=0,1 UZ=-3.456,-3.456
ADD=52 RD=0,1 UZ=-3.456,-3.456

NAME=GEMPA CSYS=0

TYPE=FORCE

ADD=5 UX=262.745
ADD=4 UX=322.004
ADD=3 UX=244.003
ADD=2 UX=136.662

COMBO

NAME=KOM1

LOAD=MATI SF=1.2

LOAD=HIDUP SF=1.6

NAME=KOM2

LOAD=MATI SF=1.05

LOAD=HIDUP SF=1.05

LOAD=GEMPA SF=1.05

OUTPUT

ELEM=JOINT TYPE=DISP LOAD=MATI
ELEM=JOINT TYPE=DISP LOAD=HIDUP
ELEM=JOINT TYPE=DISP LOAD=GEMPA
ELEM=JOINT TYPE=DISP COMB=KOM1
ELEM=JOINT TYPE=DISP COMB=KOM2
ELEM=FRAME TYPE=FORCE LOAD=MATI
ELEM=FRAME TYPE=FORCE LOAD=HIDUP
ELEM=FRAME TYPE=FORCE LOAD=GEMPA
ELEM=FRAME TYPE=FORCE COMB=KOM1
ELEM=FRAME TYPE=FORCE COMB=KOM2

END

; The following data is used for graphics, design and pushover analysis.

; If changes are made to the analysis data above, then the following data

; should be checked for consistency.

SAP2000 V7.42 SUPPLEMENTAL DATA

GRID GLOBAL X "1" -13.2

GRID GLOBAL X "2" -6

GRID GLOBAL X "3" 6

GRID GLOBAL X "4" 13.2

GRID GLOBAL Y "5" 0

GRID GLOBAL Z "6" -1

GRID GLOBAL Z "7" 3.5

GRID GLOBAL Z "8" 7

GRID GLOBAL Z "9" 10.5

GRID GLOBAL Z "10" 14

MATERIAL STEEL FY 400000

MATERIAL CONC FYREBAR 400000 FYSHEAR 275790.3 FC 27579 FCSHEAR 27579

MATERIAL CONC1 FYREBAR 1655000 FYSHEAR 310000 FC 31000 FCSHEAR 31000

CONCRETESECTION B40X60 BEAM COVERTOP .05 COVERBOTTOM .05

CONCRETESECTION B40X80 BEAM COVERTOP .05 COVERBOTTOM .05

CONCRETESECTION K40X40 COLUMN COVER .05 REBAR RR-6-6

STATICLOAD MAT1 TYPE DEAD

STATICLOAD HILUP TYPE LIVE

STATICLOAD GEMPA TYPE QUAKE

COMBO KOM1 DESIGN CONCRETE

COMBO KOM2 DESIGN CONCRETE

STEELDESIGN "AISC-ASD89"

CONCRETEDESIGN "ACI 318-99" PHIBENDING .9 PHICOMP(T) .7 PHICOMP(S) .75 PHISHEAR .85

END SUPPLEMENTAL DATA

LAMPIRAN 3b

FrameForces

1/1/02

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|----|----|---------|
| 1 | MATI | 0 | -343.843 | -8.64842 | 0 | 0 | -13.213 |
| 1 | MATI | 2.25 | -343.843 | -8.64842 | 0 | 0 | 6.24597 |
| 1 | MATI | 4.5 | -343.843 | -8.64842 | 0 | 0 | 25.7049 |
| 1 | HIDUP | 0 | -73.3770 | -1.80006 | 0 | 0 | -2.7583 |
| 1 | HIDUP | 2.25 | -73.3770 | -1.80006 | 0 | 0 | 1.29185 |
| 1 | HIDUP | 4.5 | -73.3770 | -1.80006 | 0 | 0 | 5.342 |
| 1 | GEMPA | 0 | 357.9875 | 216.4983 | 0 | 0 | 563.406 |
| 1 | GEMPA | 2.25 | 357.9875 | 216.4983 | 0 | 0 | 76.2844 |
| 1 | GEMPA | 4.5 | 357.9875 | 216.4983 | 0 | 0 | -410.84 |
| 1 | KOM1 | 0 | -530.015 | -13.2582 | 0 | 0 | -20.269 |
| 1 | KOM1 | 2.25 | -530.015 | -13.2582 | 0 | 0 | 9.56213 |
| 1 | KOM1 | 4.5 | -530.015 | -13.2582 | 0 | 0 | 39.3931 |
| 1 | KOM2 | 0 | -62.1945 | 216.3523 | 0 | 0 | 574.806 |
| 1 | KOM2 | 2.25 | -62.1945 | 216.3523 | 0 | 0 | 88.0133 |
| 1 | KOM2 | 4.5 | -62.1945 | 216.3523 | 0 | 0 | -398.78 |
| 2 | MATI | 0 | -249.391 | -24.3927 | 0 | 0 | -43.337 |
| 2 | MATI | 1.75 | -249.391 | -24.3927 | 0 | 0 | -0.6500 |
| 2 | MATI | 3.5 | -249.391 | -24.3927 | 0 | 0 | 42.0372 |
| 2 | HIDUP | 0 | -53.2042 | -5.21083 | 0 | 0 | -9.1430 |
| 2 | HIDUP | 1.75 | -53.2042 | -5.21083 | 0 | 0 | -0.0241 |
| 2 | HIDUP | 3.5 | -53.2042 | -5.21083 | 0 | 0 | 9.09487 |
| 2 | GEMPA | 0 | 201.6875 | 142.8708 | 0 | 0 | 219.646 |
| 2 | GEMPA | 1.75 | 201.6875 | 142.8708 | 0 | 0 | -30.378 |
| 2 | GEMPA | 3.5 | 201.6875 | 142.8708 | 0 | 0 | -280.40 |
| 2 | KOM1 | 0 | -384.397 | -37.6085 | 0 | 0 | -66.633 |
| 2 | KOM1 | 1.75 | -384.397 | -37.6085 | 0 | 0 | -0.8186 |
| 2 | KOM1 | 3.5 | -384.397 | -37.6085 | 0 | 0 | 64.9964 |
| 2 | KOM2 | 0 | -105.954 | 118.9306 | 0 | 0 | 175.524 |
| 2 | KOM2 | 1.75 | -105.954 | 118.9306 | 0 | 0 | -32.604 |
| 2 | KOM2 | 3.5 | -105.954 | 118.9306 | 0 | 0 | -240.73 |
| 3 | MATI | 0 | -152.406 | -25.3009 | 0 | 0 | -43.692 |
| 3 | MATI | 1.75 | -152.406 | -25.3009 | 0 | 0 | 0.58422 |
| 3 | MATI | 3.5 | -152.406 | -25.3009 | 0 | 0 | 44.8608 |
| 3 | HIDUP | 0 | -31.6482 | -5.51124 | 0 | 0 | -9.5512 |
| 3 | HIDUP | 1.75 | -31.6482 | -5.51124 | 0 | 0 | 0.09350 |
| 3 | HIDUP | 3.5 | -31.6482 | -5.51124 | 0 | 0 | 9.73817 |
| 3 | GEMPA | 0 | 89.86268 | 107.4666 | 0 | 0 | 161.842 |
| 3 | GEMPA | 1.75 | 89.86268 | 107.4666 | 0 | 0 | -26.224 |
| 3 | GEMPA | 3.5 | 89.86268 | 107.4666 | 0 | 0 | -214.29 |
| 3 | KOM1 | 0 | -233.525 | -39.1791 | 0 | 0 | -67.713 |
| 3 | KOM1 | 1.75 | -233.525 | -39.1791 | 0 | 0 | 0.85067 |
| 3 | KOM1 | 3.5 | -233.525 | -39.1791 | 0 | 0 | 69.4141 |
| 3 | KOM2 | 0 | -98.9014 | 80.48721 | 0 | 0 | 114.029 |
| 3 | KOM2 | 1.75 | -98.9014 | 80.48721 | 0 | 0 | -26.824 |
| 3 | KOM2 | 3.5 | -98.9014 | 80.48721 | 0 | 0 | -167.68 |
| 4 | MATI | 0 | -55.0447 | -23.9851 | 0 | 0 | -42.48 |
| 4 | MATI | 1.75 | -55.0447 | -23.9851 | 0 | 0 | -0.5056 |
| 4 | MATI | 3.5 | -55.0447 | -23.9851 | 0 | 0 | 41.4683 |
| 4 | HIDUP | 0 | -10.1458 | -5.00003 | 0 | 0 | -9.0145 |
| 4 | HIDUP | 1.75 | -10.1458 | -5.00003 | 0 | 0 | -0.2644 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|----|----|---------|
| 4 | HIDUP | 3.5 | -10.1458 | -5.00003 | 0 | 0 | 8.48561 |
| 4 | GEMPA | 0 | 23.53902 | 41.82665 | 0 | 0 | 49.1306 |
| 4 | GEMPA | 1.75 | 23.53902 | 41.82665 | 0 | 0 | -24.066 |
| 4 | GEMPA | 3.5 | 23.53902 | 41.82665 | 0 | 0 | -97.263 |
| 4 | KOM1 | 0 | -82.2869 | -36.7822 | 0 | 0 | -65.399 |
| 4 | KOM1 | 1.75 | -82.2869 | -36.7822 | 0 | 0 | -1.0298 |
| 4 | KOM1 | 3.5 | -82.2869 | -36.7822 | 0 | 0 | 63.339 |
| 4 | KOM2 | 0 | -43.7341 | 13.4836 | 0 | 0 | -2.4816 |
| 4 | KOM2 | 1.75 | -43.7341 | 13.4836 | 0 | 0 | -26.078 |
| 4 | KOM2 | 3.5 | -43.7341 | 13.4836 | 0 | 0 | -49.674 |
| 5 | MATI | 0 | -1374.86 | -20.3826 | 0 | 0 | -30.492 |
| 5 | MATI | 2.25 | -1374.86 | -20.3826 | 0 | 0 | 15.369 |
| 5 | MATI | 4.5 | -1374.86 | -20.3826 | 0 | 0 | 61.2297 |
| 5 | HIDUP | 0 | -305.470 | -4.85306 | 0 | 0 | -7.2592 |
| 5 | HIDUP | 2.25 | -305.470 | -4.85306 | 0 | 0 | 3.66016 |
| 5 | HIDUP | 4.5 | -305.470 | -4.85306 | 0 | 0 | 14.5795 |
| 5 | GEMPA | 0 | -135.533 | 267.2836 | 0 | 0 | 638.228 |
| 5 | GEMPA | 2.25 | -135.533 | 267.2836 | 0 | 0 | 36.8398 |
| 5 | GEMPA | 4.5 | -135.533 | 267.2836 | 0 | 0 | -564.55 |
| 5 | KOM1 | 0 | -2138.58 | -32.224 | 0 | 0 | -48.205 |
| 5 | KOM1 | 2.25 | -2138.58 | -32.224 | 0 | 0 | 24.299 |
| 5 | KOM1 | 4.5 | -2138.58 | -32.224 | 0 | 0 | 96.8029 |
| 5 | KOM2 | 0 | -1906.65 | 254.1504 | 0 | 0 | 630.501 |
| 5 | KOM2 | 2.25 | -1906.65 | 254.1504 | 0 | 0 | 58.6623 |
| 5 | KOM2 | 4.5 | -1906.65 | 254.1504 | 0 | 0 | -513.18 |
| 6 | MATI | 0 | -984.167 | -59.4705 | 0 | 0 | -107.14 |
| 6 | MATI | 1.75 | -984.167 | -59.4705 | 0 | 0 | -3.0676 |
| 6 | MATI | 3.5 | -984.167 | -59.4705 | 0 | 0 | 101.006 |
| 6 | HIDUP | 0 | -216.779 | -14.3263 | 0 | 0 | -25.707 |
| 6 | HIDUP | 1.75 | -216.779 | -14.3263 | 0 | 0 | -0.6365 |
| 6 | HIDUP | 3.5 | -216.779 | -14.3263 | 0 | 0 | 24.4345 |
| 6 | GEMPA | 0 | -68.7548 | 272.6022 | 0 | 0 | 467.716 |
| 6 | GEMPA | 1.75 | -68.7548 | 272.6022 | 0 | 0 | -9.3384 |
| 6 | GEMPA | 3.5 | -68.7548 | 272.6022 | 0 | 0 | -486.39 |
| 6 | KOM1 | 0 | -1527.85 | -94.2866 | 0 | 0 | -169.70 |
| 6 | KOM1 | 1.75 | -1527.85 | -94.2866 | 0 | 0 | -4.6995 |
| 6 | KOM1 | 3.5 | -1527.85 | -94.2866 | 0 | 0 | 160.302 |
| 6 | KOM2 | 0 | -1333.19 | 208.7457 | 0 | 0 | 351.610 |
| 6 | KOM2 | 1.75 | -1333.19 | 208.7457 | 0 | 0 | -13.695 |
| 6 | KOM2 | 3.5 | -1333.19 | 208.7457 | 0 | 0 | -379 |
| 7 | MATI | 0 | -612.511 | -56.4328 | 0 | 0 | -97.982 |
| 7 | MATI | 1.75 | -612.511 | -56.4328 | 0 | 0 | 0.77514 |
| 7 | MATI | 3.5 | -612.511 | -56.4328 | 0 | 0 | 99.5326 |
| 7 | HIDUP | 0 | -129.471 | -13.9371 | 0 | 0 | -24.072 |
| 7 | HIDUP | 1.75 | -129.471 | -13.9371 | 0 | 0 | 0.31802 |
| 7 | HIDUP | 3.5 | -129.471 | -13.9371 | 0 | 0 | 24.7079 |
| 7 | GEMPA | 0 | -29.2091 | 185.9518 | 0 | 0 | 310.424 |
| 7 | GEMPA | 1.75 | -29.2091 | 185.9518 | 0 | 0 | -14.992 |
| 7 | GEMPA | 3.5 | -29.2091 | 185.9518 | 0 | 0 | -340.41 |
| 7 | KOM1 | 0 | -942.167 | -90.0187 | 0 | 0 | -156.09 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|----|----|---------|
| 7 | KOM1 | 1.75 | -942.167 | -90.0187 | 0 | 0 | 1.439 |
| 7 | KOM1 | 3.5 | -942.167 | -90.0187 | 0 | 0 | 158.972 |
| 7 | KOM2 | 0 | -809.751 | 121.361 | 0 | 0 | 197.788 |
| 7 | KOM2 | 1.75 | -809.751 | 121.361 | 0 | 0 | -14.593 |
| 7 | KOM2 | 3.5 | -809.751 | 121.361 | 0 | 0 | -226.98 |
| 8 | MATI | 0 | -241.232 | -55.2870 | 0 | 0 | -97.608 |
| 8 | MATI | 1.75 | -241.232 | -55.2870 | 0 | 0 | -0.8558 |
| 8 | MATI | 3.5 | -241.232 | -55.2870 | 0 | 0 | 95.8966 |
| 8 | HIDUP | 0 | -42.1094 | -11.7346 | 0 | 0 | -22.095 |
| 8 | HIDUP | 1.75 | -42.1094 | -11.7346 | 0 | 0 | -1.5598 |
| 8 | HIDUP | 3.5 | -42.1094 | -11.7346 | 0 | 0 | 18.9757 |
| 8 | GEMPA | 0 | -7.25145 | 88.52124 | 0 | 0 | 139.922 |
| 8 | GEMPA | 1.75 | -7.25145 | 88.52124 | 0 | 0 | -14.99 |
| 8 | GEMPA | 3.5 | -7.25145 | 88.52124 | 0 | 0 | -169.90 |
| 8 | KOM1 | 0 | -356.853 | -85.1198 | 0 | 0 | -152.48 |
| 8 | KOM1 | 1.75 | -356.853 | -85.1198 | 0 | 0 | -3.5226 |
| 8 | KOM1 | 3.5 | -356.853 | -85.1198 | 0 | 0 | 145.437 |
| 8 | KOM2 | 0 | -305.122 | 22.5746 | 0 | 0 | 21.2298 |
| 8 | KOM2 | 1.75 | -305.122 | 22.5746 | 0 | 0 | -18.276 |
| 8 | KOM2 | 3.5 | -305.122 | 22.5746 | 0 | 0 | -57.781 |
| 9 | MATI | 0 | -1374.86 | 20.38255 | 0 | 0 | 30.4918 |
| 9 | MATI | 2.25 | -1374.86 | 20.38255 | 0 | 0 | -15.369 |
| 9 | MATI | 4.5 | -1374.86 | 20.38255 | 0 | 0 | -61.23 |
| 9 | HIDUP | 0 | -305.470 | 4.853058 | 0 | 0 | 7.25922 |
| 9 | HIDUP | 2.25 | -305.470 | 4.853058 | 0 | 0 | -3.6602 |
| 9 | HIDUP | 4.5 | -305.470 | 4.853058 | 0 | 0 | -14.58 |
| 9 | GEMPA | 0 | 134.0117 | 266.5546 | 0 | 0 | 636.484 |
| 9 | GEMPA | 2.25 | 134.0117 | 266.5546 | 0 | 0 | 36.7362 |
| 9 | GEMPA | 4.5 | 134.0117 | 266.5546 | 0 | 0 | -563.01 |
| 9 | KOM1 | 0 | -2138.58 | 32.22396 | 0 | 0 | 48.2049 |
| 9 | KOM1 | 2.25 | -2138.58 | 32.22396 | 0 | 0 | -24.299 |
| 9 | KOM1 | 4.5 | -2138.58 | 32.22396 | 0 | 0 | -96.803 |
| 9 | KOM2 | 0 | -1623.63 | 306.3797 | 0 | 0 | 707.947 |
| 9 | KOM2 | 2.25 | -1623.63 | 306.3797 | 0 | 0 | 18.5925 |
| 9 | KOM2 | 4.5 | -1623.63 | 306.3797 | 0 | 0 | -670.76 |
| 10 | MATI | 0 | -984.167 | 59.4705 | 0 | 0 | 107.141 |
| 10 | MATI | 1.75 | -984.167 | 59.4705 | 0 | 0 | 3.0676 |
| 10 | MATI | 3.5 | -984.167 | 59.4705 | 0 | 0 | -101.01 |
| 10 | HIDUP | 0 | -216.779 | 14.32627 | 0 | 0 | 25.7075 |
| 10 | HIDUP | 1.75 | -216.779 | 14.32627 | 0 | 0 | 0.63652 |
| 10 | HIDUP | 3.5 | -216.779 | 14.32627 | 0 | 0 | -24.434 |
| 10 | GEMPA | 0 | 68.25008 | 271.6172 | 0 | 0 | 465.995 |
| 10 | GEMPA | 1.75 | 68.25008 | 271.6172 | 0 | 0 | -9.3350 |
| 10 | GEMPA | 3.5 | 68.25008 | 271.6172 | 0 | 0 | -484.67 |
| 10 | KOM1 | 0 | -1527.85 | 94.28664 | 0 | 0 | 169.701 |
| 10 | KOM1 | 1.75 | -1527.85 | 94.28664 | 0 | 0 | 4.69955 |
| 10 | KOM1 | 3.5 | -1527.85 | 94.28664 | 0 | 0 | -160.30 |
| 10 | KOM2 | 0 | -1189.33 | 362.6847 | 0 | 0 | 628.786 |
| 10 | KOM2 | 1.75 | -1189.33 | 362.6847 | 0 | 0 | -5.9124 |
| 10 | KOM2 | 3.5 | -1189.33 | 362.6847 | 0 | 0 | -640.61 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|----|----|---------|
| 11 | MATI | 0 | -612.511 | 56.43283 | 0 | 0 | 97.9823 |
| 11 | MATI | 1.75 | -612.511 | 56.43283 | 0 | 0 | -0.7751 |
| 11 | MATI | 3.5 | -612.511 | 56.43283 | 0 | 0 | -99.533 |
| 11 | HIDUP | 0 | -129.471 | 13.93707 | 0 | 0 | 24.0719 |
| 11 | HIDUP | 1.75 | -129.471 | 13.93707 | 0 | 0 | -0.3180 |
| 11 | HIDUP | 3.5 | -129.471 | 13.93707 | 0 | 0 | -24.708 |
| 11 | GEMPA | 0 | 29.58674 | 185.2082 | 0 | 0 | 309.24 |
| 11 | GEMPA | 1.75 | 29.58674 | 185.2082 | 0 | 0 | -14.875 |
| 11 | GEMPA | 3.5 | 29.58674 | 185.2082 | 0 | 0 | -338.99 |
| 11 | KOM1 | 0 | -942.167 | 90.01871 | 0 | 0 | 156.094 |
| 11 | KOM1 | 1.75 | -942.167 | 90.01871 | 0 | 0 | -1.439 |
| 11 | KOM1 | 3.5 | -942.167 | 90.01871 | 0 | 0 | -158.97 |
| 11 | KOM2 | 0 | -748.015 | 268.357 | 0 | 0 | 452.858 |
| 11 | KOM2 | 1.75 | -748.015 | 268.357 | 0 | 0 | -16.767 |
| 11 | KOM2 | 3.5 | -748.015 | 268.357 | 0 | 0 | -486.39 |
| 12 | MATI | 0 | -241.232 | 55.28703 | 0 | 0 | 97.6081 |
| 12 | MATI | 1.75 | -241.232 | 55.28703 | 0 | 0 | 0.85576 |
| 12 | MATI | 3.5 | -241.232 | 55.28703 | 0 | 0 | -95.897 |
| 12 | HIDUP | 0 | -42.1094 | 11.73458 | 0 | 0 | 22.0953 |
| 12 | HIDUP | 1.75 | -42.1094 | 11.73458 | 0 | 0 | 1.55980 |
| 12 | HIDUP | 3.5 | -42.1094 | 11.73458 | 0 | 0 | -18.976 |
| 12 | GEMPA | 0 | 7.677282 | 89.20947 | 0 | 0 | 141.162 |
| 12 | GEMPA | 1.75 | 7.677282 | 89.20947 | 0 | 0 | -14.955 |
| 12 | GEMPA | 3.5 | 7.677282 | 89.20947 | 0 | 0 | -171.07 |
| 12 | KOM1 | 0 | -356.853 | 85.11977 | 0 | 0 | 152.482 |
| 12 | KOM1 | 1.75 | -356.853 | 85.11977 | 0 | 0 | 3.52260 |
| 12 | KOM1 | 3.5 | -356.853 | 85.11977 | 0 | 0 | -145.44 |
| 12 | KOM2 | 0 | -289.447 | 164.0426 | 0 | 0 | 273.908 |
| 12 | KOM2 | 1.75 | -289.447 | 164.0426 | 0 | 0 | -13.166 |
| 12 | KOM2 | 3.5 | -289.447 | 164.0426 | 0 | 0 | -300.24 |
| 13 | MATI | 0 | -343.843 | 8.648423 | 0 | 0 | 13.213 |
| 13 | MATI | 2.25 | -343.843 | 8.648423 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | MATI | 4.5 | -343.843 | 8.648423 | 0 | 0 | -6.246 |
| 13 | HIDUP | 0 | -73.3770 | 1.800064 | 0 | 0 | 2.75829 |
| 13 | HIDUP | 2.25 | -73.3770 | 1.800064 | 0 | 0 | -1.2919 |
| 13 | HIDUP | 4.5 | -73.3770 | 1.800064 | 0 | 0 | -5.342 |
| 13 | GEMPA | 0 | -356.467 | 215.0776 | 0 | 0 | 559.578 |
| 13 | GEMPA | 2.25 | -356.467 | 215.0776 | 0 | 0 | 75.6531 |
| 13 | GEMPA | 4.5 | -356.467 | 215.0776 | 0 | 0 | -408.27 |
| 13 | KOM1 | 0 | -530.015 | 13.25821 | 0 | 0 | 20.2689 |
| 13 | KOM1 | 2.25 | -530.015 | 13.25821 | 0 | 0 | -9.5621 |
| 13 | KOM1 | 4.5 | -530.015 | 13.25821 | 0 | 0 | -39.393 |
| 13 | KOM2 | 0 | -812.371 | 236.8024 | 0 | 0 | 604.326 |
| 13 | KOM2 | 2.25 | -812.371 | 236.8024 | 0 | 0 | 71.521 |
| 13 | KOM2 | 4.5 | -812.371 | 236.8024 | 0 | 0 | -461.28 |
| 14 | MATI | 0 | -249.391 | 24.39268 | 0 | 0 | 43.3372 |
| 14 | MATI | 1.75 | -249.391 | 24.39268 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | MATI | 3.5 | -249.391 | 24.39268 | 0 | 0 | 0.65003 |
| 14 | HIDUP | 0 | -53.2042 | 5.210825 | 0 | 0 | -42.037 |
| 14 | HIDUP | 1.75 | -53.2042 | 5.210825 | 0 | 0 | 9.14302 |
| 14 | HIDUP | 1.75 | -53.2042 | 5.210825 | 0 | 0 | 0.02407 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 14 | HIDUP | 3.5 | -53.2042 | 5.210825 | 0 | 0 | -9.0949 |
| 14 | GEMPA | 0 | -201.183 | 141.6618 | 0 | 0 | 217.646 |
| 14 | GEMPA | 1.75 | -201.183 | 141.6618 | 0 | 0 | -30.262 |
| 14 | GEMPA | 3.5 | -201.183 | 141.6618 | 0 | 0 | -278.17 |
| 14 | KOM1 | 0 | -384.397 | 37.60854 | 0 | 0 | 66.6335 |
| 14 | KOM1 | 1.75 | -384.397 | 37.60854 | 0 | 0 | 0.81855 |
| 14 | KOM1 | 3.5 | -384.397 | 37.60854 | 0 | 0 | -64.996 |
| 14 | KOM2 | 0 | -528.967 | 179.8286 | 0 | 0 | 283.632 |
| 14 | KOM2 | 1.75 | -528.967 | 179.8286 | 0 | 0 | -31.068 |
| 14 | KOM2 | 3.5 | -528.967 | 179.8286 | 0 | 0 | -345.77 |
| 15 | MATI | 0 | -152.406 | 25.30091 | 0 | 0 | 43.6924 |
| 15 | MATI | 1.75 | -152.406 | 25.30091 | 0 | 0 | -0.5842 |
| 15 | MATI | 3.5 | -152.406 | 25.30091 | 0 | 0 | -44.861 |
| 15 | HIDUP | 0 | -31.6482 | 5.511241 | 0 | 0 | 9.55117 |
| 15 | HIDUP | 1.75 | -31.6482 | 5.511241 | 0 | 0 | -0.0935 |
| 15 | HIDUP | 3.5 | -31.6482 | 5.511241 | 0 | 0 | -9.7382 |
| 15 | GEMPA | 0 | -90.2403 | 106.1223 | 0 | 0 | 160.139 |
| 15 | GEMPA | 1.75 | -90.2403 | 106.1223 | 0 | 0 | -25.575 |
| 15 | GEMPA | 3.5 | -90.2403 | 106.1223 | 0 | 0 | -211.29 |
| 15 | KOM1 | 0 | -233.525 | 39.17908 | 0 | 0 | 67.7127 |
| 15 | KOM1 | 1.75 | -233.525 | 39.17908 | 0 | 0 | -0.8507 |
| 15 | KOM1 | 3.5 | -233.525 | 39.17908 | 0 | 0 | -69.414 |
| 15 | KOM2 | 0 | -288.01 | 143.7812 | 0 | 0 | 224.052 |
| 15 | KOM2 | 1.75 | -288.01 | 143.7812 | 0 | 0 | -27.565 |
| 15 | KOM2 | 3.5 | -288.01 | 143.7812 | 0 | 0 | -279.18 |
| 16 | MATI | 0 | -55.0447 | 23.98509 | 0 | 0 | 42.4795 |
| 16 | MATI | 1.75 | -55.0447 | 23.98509 | 0 | 0 | 0.50561 |
| 16 | MATI | 3.5 | -55.0447 | 23.98509 | 0 | 0 | -41.468 |
| 16 | HIDUP | 0 | -10.1458 | 5.000034 | 0 | 0 | 9.01451 |
| 16 | HIDUP | 1.75 | -10.1458 | 5.000034 | 0 | 0 | 0.26445 |
| 16 | HIDUP | 3.5 | -10.1458 | 5.000034 | 0 | 0 | -8.4856 |
| 16 | GEMPA | 0 | -23.9649 | 43.18765 | 0 | 0 | 51.9146 |
| 16 | GEMPA | 1.75 | -23.9649 | 43.18765 | 0 | 0 | -23.664 |
| 16 | GEMPA | 3.5 | -23.9649 | 43.18765 | 0 | 0 | -99.242 |
| 16 | KOM1 | 0 | -82.2869 | 36.78217 | 0 | 0 | 65.3986 |
| 16 | KOM1 | 1.75 | -82.2869 | 36.78217 | 0 | 0 | 1.02984 |
| 16 | KOM1 | 3.5 | -82.2869 | 36.78217 | 0 | 0 | -63.339 |
| 16 | KOM2 | 0 | -93.6131 | 75.78142 | 0 | 0 | 108.579 |
| 16 | KOM2 | 1.75 | -93.6131 | 75.78142 | 0 | 0 | -24.038 |
| 16 | KOM2 | 3.5 | -93.6131 | 75.78142 | 0 | 0 | -156.66 |
| 29 | MATI | 0 | 15.74426 | -94.4519 | 9.18231E-15 | 6.271531E-15 | -69.042 |
| 29 | MATI | 0.9 | 15.74426 | -64.5908 | 5.56594E-15 | -3.65179E-16 | 2.52708 |
| 29 | MATI | 1.8 | 15.74426 | -34.7297 | 1.94956E-15 | -3.74715E-15 | 47.2213 |
| 29 | MATI | 2.7 | 15.74426 | -4.86861 | -1.6668E-15 | -3.87439E-15 | 65.0406 |
| 29 | MATI | 3.6 | 15.74426 | 24.99249 | -5.2832E-15 | -7.46885E-16 | 55.9848 |
| 29 | HIDUP | 0 | 3.410761 | -20.1728 | 1.97443E-15 | 1.33283E-15 | -14.485 |
| 29 | HIDUP | 0.9 | 3.410761 | -13.6928 | 1.18966E-15 | -9.10126E-17 | 0.7545 |
| 29 | HIDUP | 1.8 | 3.410761 | -7.21279 | 4.04892E-16 | -8.08562E-16 | 10.1620 |
| 29 | HIDUP | 2.7 | 3.410761 | -0.73279 | -3.7988E-16 | -8.19817E-16 | 13.7375 |
| 29 | HIDUP | 3.6 | 3.410761 | 5.74721 | -1.1646E-15 | -1.2478E-16 | 11.4810 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 29 | GEMPA | 0 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | -3.45858E-14 | 630.483 |
| 29 | GEMPA | 0.9 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | -2.66892E-14 | 489.813 |
| 29 | GEMPA | 1.8 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | -1.87927E-14 | 349.143 |
| 29 | GEMPA | 2.7 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | -1.08961E-14 | 208.473 |
| 29 | GEMPA | 3.6 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | -2.99958E-15 | 67.8028 |
| 29 | KOM1 | 0 | 24.35033 | -145.619 | 1.41779E-14 | 9.658364E-15 | -106.03 |
| 29 | KOM1 | 0.9 | 24.35033 | -99.4174 | 8.58258E-15 | -5.83835E-16 | 4.23969 |
| 29 | KOM1 | 1.8 | 24.35033 | -53.2161 | 2.9873E-15 | -5.79028E-15 | 72.9248 |
| 29 | KOM1 | 2.7 | 24.35033 | -7.0148 | -2.608E-15 | -5.96097E-15 | 100.029 |
| 29 | KOM1 | 3.6 | 24.35033 | 39.18652 | -8.2033E-15 | -1.09591E-15 | 85.5514 |
| 29 | KOM2 | 0 | -46.0735 | 43.7591 | 2.50194E-15 | -2.83305E-14 | 574.304 |
| 29 | KOM2 | 0.9 | -46.0735 | 81.91725 | -2.1193E-15 | -2.85027E-14 | 517.749 |
| 29 | KOM2 | 1.8 | -46.0735 | 120.0754 | -6.7405E-15 | -2.45158E-14 | 426.853 |
| 29 | KOM2 | 2.7 | -46.0735 | 158.2336 | -1.1362E-14 | -1.63698E-14 | 301.614 |
| 29 | KOM2 | 3.6 | -46.0735 | 196.3917 | -1.5983E-14 | -4.06480E-15 | 142.032 |
| 30 | MATI | 0 | 15.74426 | 24.99249 | 2.47727E-15 | -9.54731E-16 | 55.9848 |
| 30 | MATI | 0.9 | 15.74426 | 54.85359 | -1.1391E-15 | -1.55691E-15 | 20.0541 |
| 30 | MATI | 1.8 | 15.74426 | 84.71469 | -4.7555E-15 | 1.095655E-15 | -42.752 |
| 30 | MATI | 2.7 | 15.74426 | 114.5758 | -8.3719E-15 | 7.002954E-15 | -132.43 |
| 30 | MATI | 3.6 | 15.74426 | 144.4369 | -1.1988E-14 | 1.616499E-14 | -248.99 |
| 30 | HIDUP | 0 | 3.410761 | 5.74721 | 5.19407E-16 | -1.72576E-16 | 11.4810 |
| 30 | HIDUP | 0.9 | 3.410761 | 12.22721 | -2.6536E-16 | -2.86896E-16 | 3.39255 |
| 30 | HIDUP | 1.8 | 3.410761 | 18.70721 | -1.0501E-15 | 3.050778E-16 | -10.528 |
| 30 | HIDUP | 2.7 | 3.410761 | 25.18721 | -1.8349E-15 | 1.603345E-15 | -30.280 |
| 30 | HIDUP | 3.6 | 3.410761 | 31.66721 | -2.6197E-15 | 3.607905E-15 | -55.865 |
| 30 | GEMPA | 0 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | -4.29942E-15 | 67.8028 |
| 30 | GEMPA | 0.9 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | 3.597125E-15 | -72.867 |
| 30 | GEMPA | 1.8 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | 1.149367E-14 | -213.54 |
| 30 | GEMPA | 2.7 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | 1.939021E-14 | -354.21 |
| 30 | GEMPA | 3.6 | -63.0345 | 156.3 | -8.7739E-15 | 2.728675E-14 | -494.88 |
| 30 | KOM1 | 0 | 24.35033 | 39.18652 | 3.80378E-15 | -1.4218E-15 | 85.5514 |
| 30 | KOM1 | 0.9 | 24.35033 | 85.38784 | -1.7915E-15 | -2.32732E-15 | 29.493 |
| 30 | KOM1 | 1.8 | 24.35033 | 131.5892 | -7.3868E-15 | 1.80291E-15 | -68.147 |
| 30 | KOM1 | 2.7 | 24.35033 | 177.7905 | -1.2982E-14 | 1.09689E-14 | -207.37 |
| 30 | KOM1 | 3.6 | 24.35033 | 223.9918 | -1.8577E-14 | 2.517064E-14 | -388.17 |
| 30 | KOM2 | 0 | -46.0735 | 196.3917 | -6.0661E-15 | -5.69806E-15 | 142.032 |
| 30 | KOM2 | 0.9 | -46.0735 | 234.5499 | -1.0687E-14 | 1.840989E-15 | -51.892 |
| 30 | KOM2 | 1.8 | -46.0735 | 272.708 | -1.5309E-14 | 1.353912E-14 | -280.16 |
| 30 | KOM2 | 2.7 | -46.0735 | 310.8662 | -1.993E-14 | 2.939634E-14 | -542.77 |
| 30 | KOM2 | 3.6 | -46.0735 | 349.0244 | -2.4551E-14 | 4.941263E-14 | -839.72 |
| 31 | MATI | 0 | 0.908233 | -96.9851 | 9.17833E-15 | 7.098791E-15 | -85.73 |
| 31 | MATI | 0.9 | 0.908233 | -68.2490 | 5.6982E-15 | 4.043561E-16 | -11.374 |
| 31 | MATI | 1.8 | 0.908233 | -39.5129 | 2.21807E-15 | -3.15796E-15 | 37.1187 |
| 31 | MATI | 2.7 | 0.908233 | -10.7768 | -1.2621E-15 | -3.58816E-15 | 59.7491 |
| 31 | MATI | 3.6 | 0.908233 | 17.95928 | -4.7422E-15 | -8.86248E-16 | 56.517 |
| 31 | HIDUP | 0 | 0.300416 | -21.5561 | 2.05208E-15 | 1.56255E-15 | -18.646 |
| 31 | HIDUP | 0.9 | 0.300416 | -15.0761 | 1.26731E-15 | 6.882116E-17 | -2.1616 |
| 31 | HIDUP | 1.8 | 0.300416 | -8.59608 | 4.82543E-16 | -7.18614E-16 | 8.49090 |
| 31 | HIDUP | 2.7 | 0.300416 | -2.11608 | -3.0223E-16 | -7.99756E-16 | 13.3114 |
| 31 | HIDUP | 3.6 | 0.300416 | 4.36392 | -1.087E-15 | -1.74605E-16 | 12.2999 |

| FR | FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|----|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 33 | 31 | GEMPA | 0 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | -2.42688E-14 | 442.244 |
| 33 | 31 | GEMPA | 0.9 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | -1.86192E-14 | 341.601 |
| 33 | 31 | GEMPA | 1.8 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | -1.29697E-14 | 240.959 |
| 33 | 31 | GEMPA | 2.7 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | -7.32007E-15 | 140.317 |
| 33 | 31 | GEMPA | 3.6 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | -1.67049E-15 | 39.6744 |
| 33 | 31 | KOM1 | 0 | 1.570544 | -150.872 | 1.42973E-14 | 1.101863E-14 | -132.71 |
| 33 | 31 | KOM1 | 0.9 | 1.570544 | -106.021 | 8.86554E-15 | 5.953412E-16 | -17.108 |
| 33 | 31 | KOM1 | 1.8 | 1.570544 | -61.1692 | 3.43375E-15 | -4.93934E-15 | 58.1279 |
| 33 | 31 | KOM1 | 2.7 | 1.570544 | -16.3179 | -1.9980E-15 | -5.58541E-15 | 92.9971 |
| 33 | 31 | KOM1 | 3.6 | 1.570544 | 28.53341 | -7.4298E-15 | -1.34287E-15 | 87.5001 |
| 33 | 31 | KOM2 | 0 | -217.76 | -7.05221 | 5.20075E-15 | -1.63878E-14 | 354.762 |
| 33 | 31 | KOM2 | 0.9 | -217.76 | 29.9247 | 7.22609E-16 | -1.90534E-14 | 344.469 |
| 33 | 31 | KOM2 | 1.8 | -217.76 | 66.9016 | -3.7555E-15 | -1.76885E-14 | 300.897 |
| 33 | 31 | KOM2 | 2.7 | -217.76 | 103.8785 | -8.2337E-15 | -1.22934E-14 | 224.046 |
| 33 | 31 | KOM2 | 3.6 | -217.76 | 140.8554 | -1.2712E-14 | -2.86791E-15 | 113.916 |
| 34 | 32 | MATI | 0 | 0.908233 | 17.95928 | 2.7259E-15 | -1.03560E-15 | 56.517 |
| 34 | 32 | MATI | 0.9 | 0.908233 | 46.69538 | -7.5423E-16 | -1.92285E-15 | 27.4224 |
| 34 | 32 | MATI | 1.8 | 0.908233 | 75.43148 | -4.2344E-15 | 3.220161E-16 | -27.535 |
| 34 | 32 | MATI | 2.7 | 0.908233 | 104.1676 | -7.7145E-15 | 5.699001E-15 | -108.35 |
| 34 | 32 | MATI | 3.6 | 0.908233 | 132.9037 | -1.1195E-14 | 1.42081E-14 | -215.04 |
| 34 | 32 | HIDUP | 0 | 0.300416 | 4.36392 | 5.97059E-16 | -2.10896E-16 | 12.2999 |
| 34 | 32 | HIDUP | 0.9 | 0.300416 | 10.84392 | -1.8771E-16 | -3.95103E-16 | 5.45632 |
| 34 | 32 | HIDUP | 1.8 | 0.300416 | 17.32392 | -9.7248E-16 | 1.269846E-16 | -7.2192 |
| 34 | 32 | HIDUP | 2.7 | 0.300416 | 23.80392 | -1.7573E-15 | 1.355365E-15 | -25.727 |
| 34 | 32 | HIDUP | 3.6 | 0.300416 | 30.28392 | -2.5420E-15 | 3.290039E-15 | -50.066 |
| 34 | 32 | GEMPA | 0 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | -2.60047E-15 | 39.6744 |
| 34 | 32 | GEMPA | 0.9 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | 3.049114E-15 | -60.968 |
| 34 | 32 | GEMPA | 1.8 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | 8.698694E-15 | -161.61 |
| 34 | 32 | GEMPA | 2.7 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | 1.434827E-14 | -262.25 |
| 34 | 32 | GEMPA | 3.6 | -208.599 | 111.8248 | -6.2773E-15 | 1.999785E-14 | -362.89 |
| 34 | 32 | KOM1 | 0 | 1.570544 | 28.53341 | 4.22637E-15 | -1.58016E-15 | 87.5001 |
| 34 | 32 | KOM1 | 0.9 | 1.570544 | 73.38473 | -1.2054E-15 | -2.93959E-15 | 41.637 |
| 34 | 32 | KOM1 | 1.8 | 1.570544 | 118.236 | -6.6372E-15 | 5.895948E-16 | -44.592 |
| 34 | 32 | KOM1 | 2.7 | 1.570544 | 163.0874 | -1.2069E-14 | 9.007386E-15 | -171.19 |
| 34 | 32 | KOM1 | 3.6 | 1.570544 | 207.9387 | -1.7501E-14 | 2.231379E-14 | -338.15 |
| 34 | 32 | KOM2 | 0 | -217.76 | 140.8554 | -3.1021E-15 | -4.03931E-15 | 113.916 |
| 34 | 32 | KOM2 | 0.9 | -217.76 | 177.8323 | -7.5802E-15 | 7.677175E-16 | -29.494 |
| 34 | 32 | KOM2 | 1.8 | -217.76 | 214.8092 | -1.2058E-14 | 9.605079E-15 | -206.18 |
| 34 | 32 | KOM2 | 2.7 | -217.76 | 251.7861 | -1.6537E-14 | 2.247277E-14 | -416.15 |
| 34 | 32 | KOM2 | 3.6 | -217.76 | 288.763 | -2.1015E-14 | 3.93708E-14 | -659.4 |
| 35 | 33 | MATI | 0 | -1.31582 | -97.3617 | 9.19946E-15 | 7.187058E-15 | -87.340 |
| 35 | 33 | MATI | 0.9 | -1.31582 | -68.6256 | 5.71933E-15 | 4.735998E-16 | -12.646 |
| 35 | 33 | MATI | 1.8 | -1.31582 | -39.8895 | 2.23920E-15 | -3.10774E-15 | 36.1857 |
| 35 | 33 | MATI | 2.7 | -1.31582 | -11.1534 | -1.2409E-15 | -3.55697E-15 | 59.155 |
| 35 | 33 | MATI | 3.6 | -1.31582 | 17.58274 | -4.7211E-15 | -8.74076E-16 | 56.2617 |
| 35 | 33 | HIDUP | 0 | -0.51121 | -21.5023 | 2.04907E-15 | 1.568066E-15 | -18.753 |
| 35 | 33 | HIDUP | 0.9 | -0.51121 | -15.0223 | 1.2643E-15 | 7.705347E-17 | -2.3166 |
| 35 | 33 | HIDUP | 1.8 | -0.51121 | -8.54232 | 4.79525E-16 | -7.07666E-16 | 8.2875 |
| 35 | 33 | HIDUP | 2.7 | -0.51121 | -2.06232 | -3.0525E-16 | -7.86092E-16 | 13.0596 |
| 35 | 33 | HIDUP | 3.6 | -0.51121 | 4.417677 | -1.0900E-15 | -1.58225E-16 | 11.9997 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 35 | GEMPA | 0 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | -5.33306E-15 | 97.2627 |
| 35 | GEMPA | 0.9 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | -4.14383E-15 | 76.0776 |
| 35 | GEMPA | 1.8 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | -2.95459E-15 | 54.8925 |
| 35 | GEMPA | 2.7 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | -1.76536E-15 | 33.7074 |
| 35 | GEMPA | 3.6 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | -5.76132E-16 | 12.5222 |
| 35 | KOM1 | 0 | -36.7822 | -82.2869 | 8.00976E-15 | 5.641066E-15 | -63.339 |
| 35 | KOM1 | 0.9 | -36.7822 | -56.1941 | 4.84975E-15 | -1.45716E-16 | -1.0225 |
| 35 | KOM1 | 1.8 | -36.7822 | -30.1013 | 1.68975E-15 | -3.08849E-15 | 37.8105 |
| 35 | KOM1 | 2.7 | -36.7822 | -4.00852 | -1.4703E-15 | -3.18726E-15 | 53.1599 |
| 35 | KOM1 | 3.6 | -36.7822 | 22.08428 | -4.6303E-15 | -4.42014E-16 | 45.0258 |
| 35 | KOM2 | 0 | -262.399 | -43.7341 | 5.28031E-15 | -9.17242E-16 | 49.6742 |
| 35 | KOM2 | 0.9 | -262.399 | -21.9915 | 2.64714E-15 | -4.48459E-15 | 79.2507 |
| 35 | KOM2 | 1.8 | -262.399 | -0.24893 | 1.39739E-17 | -5.68209E-15 | 89.2589 |
| 35 | KOM2 | 2.7 | -262.399 | 21.49363 | -2.6192E-15 | -4.50975E-15 | 79.6988 |
| 35 | KOM2 | 3.6 | -262.399 | 43.23619 | -5.2524E-15 | -9.67548E-16 | 50.5704 |
| 36 | MATI | 0 | -23.9851 | 15.34253 | 1.42532E-15 | -4.03927E-16 | 29.9956 |
| 36 | MATI | 0.9 | -23.9851 | 32.93933 | -7.0577E-16 | -7.27724E-16 | 8.26872 |
| 36 | MATI | 1.8 | -23.9851 | 50.53613 | -2.8369E-15 | 8.664574E-16 | -29.295 |
| 36 | MATI | 2.7 | -23.9851 | 68.13293 | -4.9679E-15 | 4.378618E-15 | -82.696 |
| 36 | MATI | 3.6 | -23.9851 | 85.72973 | -7.0990E-15 | 9.808758E-15 | -151.93 |
| 36 | HIDUP | 0 | -5.00003 | 2.295777 | 2.753E-16 | -8.81011E-17 | 5.64447 |
| 36 | HIDUP | 0.9 | -5.00003 | 5.406177 | -1.0139E-16 | -1.66360E-16 | 2.17859 |
| 36 | HIDUP | 1.8 | -5.00003 | 8.516577 | -4.7808E-16 | 9.440117E-17 | -4.0866 |
| 36 | HIDUP | 2.7 | -5.00003 | 11.62698 | -8.5477E-16 | 6.941835E-16 | -13.151 |
| 36 | HIDUP | 3.6 | -5.00003 | 14.73738 | -1.2315E-15 | 1.632987E-15 | -25.015 |
| 36 | GEMPA | 0 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | -7.7189E-16 | 12.5222 |
| 36 | GEMPA | 0.9 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | 4.173411E-16 | -8.6629 |
| 36 | GEMPA | 1.8 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | 1.606572E-15 | -29.848 |
| 36 | GEMPA | 2.7 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | 2.795803E-15 | -51.033 |
| 36 | GEMPA | 3.6 | -220.918 | 23.53902 | -1.3214E-15 | 3.985034E-15 | -72.218 |
| 36 | KOM1 | 0 | -36.7822 | 22.08428 | 2.15086E-15 | -6.25674E-16 | 45.0258 |
| 36 | KOM1 | 0.9 | -36.7822 | 48.17707 | -1.0091E-15 | -1.13945E-15 | 13.4082 |
| 36 | KOM1 | 1.8 | -36.7822 | 74.26987 | -4.1692E-15 | 1.190791E-15 | -41.693 |
| 36 | KOM1 | 2.7 | -36.7822 | 100.3627 | -7.3292E-15 | 6.365035E-15 | -120.28 |
| 36 | KOM1 | 3.6 | -36.7822 | 126.4555 | -1.0489E-14 | 1.438329E-14 | -222.35 |
| 36 | KOM2 | 0 | -262.399 | 43.23619 | 3.98213E-16 | -1.32711E-15 | 50.5704 |
| 36 | KOM2 | 0.9 | -262.399 | 64.97874 | -2.235E-15 | -5.00581E-16 | 1.87365 |
| 36 | KOM2 | 1.8 | -262.399 | 86.72131 | -4.8681E-15 | 2.695802E-15 | -66.391 |
| 36 | KOM2 | 2.7 | -262.399 | 108.4639 | -7.5013E-15 | 8.262035E-15 | -154.22 |
| 36 | KOM2 | 3.6 | -262.399 | 130.2064 | -1.0134E-14 | 1.619812E-14 | -261.63 |
| 37 | MATI | 0 | 54.83221 | -246.252 | 1.87805E-14 | 2.424376E-14 | -417.36 |
| 37 | MATI | 1.5 | 54.83221 | -184.689 | 1.13249E-14 | 1.664705E-15 | -94.153 |
| 37 | MATI | 3 | 54.83221 | -123.126 | 3.86918E-15 | -9.73083E-15 | 136.708 |
| 37 | MATI | 4.5 | 54.83221 | -61.563 | -3.5865E-15 | -9.94284E-15 | 275.225 |
| 37 | MATI | 6 | 54.83221 | -1.4E-14 | -1.1042E-14 | 1.028677E-15 | 321.397 |
| 37 | HIDUP | 0 | 12.88397 | -57.024 | 4.34897E-15 | 5.599089E-15 | -96.152 |
| 37 | HIDUP | 1.5 | 12.88397 | -42.768 | 2.62247E-15 | 3.705099E-16 | -21.308 |
| 37 | HIDUP | 3 | 12.88397 | -28.512 | 8.95977E-16 | -2.26833E-15 | 32.1521 |
| 37 | HIDUP | 4.5 | 12.88397 | -14.256 | -8.3052E-16 | -2.31742E-15 | 64.2281 |
| 37 | HIDUP | 6 | 12.88397 | 6.22E-15 | -2.5570E-15 | 2.232264E-16 | 74.9200 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 37 | GEMPA | 0 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | -1.65786E-14 | 537.387 |
| 37 | GEMPA | 1.5 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | -1.23588E-14 | 403.103 |
| 37 | GEMPA | 3 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | -8.13896E-15 | 268.82 |
| 37 | GEMPA | 4.5 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | -3.91916E-15 | 134.537 |
| 37 | GEMPA | 6 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | 3.006328E-16 | 0.25309 |
| 37 | KOM1 | 0 | 86.413 | -386.741 | 2.9495E-14 | 3.805106E-14 | -654.67 |
| 37 | KOM1 | 1.5 | 86.413 | -290.056 | 1.77858E-14 | 2.590462E-15 | -147.08 |
| 37 | KOM1 | 3 | 86.413 | -193.370 | 6.07658E-15 | -1.53063E-14 | 215.493 |
| 37 | KOM1 | 4.5 | 86.413 | -96.6852 | -5.6326E-15 | -1.56393E-14 | 433.035 |
| 37 | KOM1 | 6 | 86.413 | -7.1E-15 | -1.7342E-14 | 1.591575E-15 | 505.549 |
| 37 | KOM2 | 0 | -0.66881 | -224.442 | 2.13321E-14 | 1.392752E-14 | 25.0696 |
| 37 | KOM2 | 1.5 | -0.66881 | -144.832 | 1.16908E-14 | -1.08397E-14 | 302.024 |
| 37 | KOM2 | 3 | -0.66881 | -65.2216 | 2.04956E-15 | -2.11450E-14 | 459.564 |
| 37 | KOM2 | 4.5 | -0.66881 | 14.3884 | -7.5917E-15 | -1.69884E-14 | 497.689 |
| 37 | KOM2 | 6 | -0.66881 | 93.99835 | -1.7233E-14 | 1.630163E-15 | 416.399 |
| 38 | MATI | 0 | 54.83221 | -2.8E-14 | 1.10422E-14 | 1.028677E-15 | 321.397 |
| 38 | MATI | 1.5 | 54.83221 | 61.563 | 3.58650E-15 | -9.94284E-15 | 275.225 |
| 38 | MATI | 3 | 54.83221 | 123.126 | -3.8692E-15 | -9.73083E-15 | 136.708 |
| 38 | MATI | 4.5 | 54.83221 | 184.689 | -1.1325E-14 | 1.664705E-15 | -94.153 |
| 38 | MATI | 6 | 54.83221 | 246.252 | -1.8781E-14 | 2.424376E-14 | -417.36 |
| 38 | HIDUP | 0 | 12.88397 | -1.1E-14 | 2.55701E-15 | 2.232264E-16 | 74.9200 |
| 38 | HIDUP | 1.5 | 12.88397 | 14.256 | 8.30518E-16 | -2.31742E-15 | 64.2281 |
| 38 | HIDUP | 3 | 12.88397 | 28.512 | -8.9598E-16 | -2.26833E-15 | 32.1521 |
| 38 | HIDUP | 4.5 | 12.88397 | 42.768 | -2.6225E-15 | 3.705099E-16 | -21.308 |
| 38 | HIDUP | 6 | 12.88397 | 57.024 | -4.349E-15 | 5.599089E-15 | -96.152 |
| 38 | GEMPA | 0 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | -3.15958E-16 | 0.25309 |
| 38 | GEMPA | 1.5 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | 3.903837E-15 | -134.03 |
| 38 | GEMPA | 3 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | 8.123633E-15 | -268.31 |
| 38 | GEMPA | 4.5 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | 1.234343E-14 | -402.6 |
| 38 | GEMPA | 6 | -68.3531 | 89.52224 | -2.8132E-15 | 1.656322E-14 | -536.88 |
| 38 | KOM1 | 0 | 86.413 | -5.1E-14 | 1.73418E-14 | 1.591575E-15 | 505.549 |
| 38 | KOM1 | 1.5 | 86.413 | 96.6852 | 5.63263E-15 | -1.56393E-14 | 433.035 |
| 38 | KOM1 | 3 | 86.413 | 193.3704 | -6.0766E-15 | -1.53063E-14 | 215.493 |
| 38 | KOM1 | 4.5 | 86.413 | 290.0556 | -1.7786E-14 | 2.590462E-15 | -147.08 |
| 38 | KOM1 | 6 | 86.413 | 386.7408 | -2.9495E-14 | 3.805106E-14 | -654.67 |
| 38 | KOM2 | 0 | -0.66881 | 93.99835 | 1.13253E-14 | 9.827423E-16 | 416.399 |
| 38 | KOM2 | 1.5 | -0.66881 | 173.6083 | 1.68401E-15 | -8.77424E-15 | 215.694 |
| 38 | KOM2 | 3 | -0.66881 | 253.2182 | -7.9573E-15 | -4.0693E-15 | -104.43 |
| 38 | KOM2 | 4.5 | -0.66881 | 332.8282 | -1.7599E-14 | 1.509758E-14 | -543.96 |
| 38 | KOM2 | 6 | -0.66881 | 412.4381 | -2.724E-14 | 4.872638E-14 | -1102.9 |
| 39 | MATI | 0 | -2.12944 | -238.752 | 1.82086E-14 | 2.378928E-14 | -414.02 |
| 39 | MATI | 1.5 | -2.12944 | -179.064 | 1.098E-14 | 1.897909E-15 | -100.66 |
| 39 | MATI | 3 | -2.12944 | -119.376 | 3.75134E-15 | -9.15056E-15 | 123.168 |
| 39 | MATI | 4.5 | -2.12944 | -59.688 | -3.4773E-15 | -9.35611E-15 | 257.466 |
| 39 | MATI | 6 | -2.12944 | 5.33E-14 | -1.0706E-14 | 1.281252E-15 | 302.232 |
| 39 | HIDUP | 0 | -0.08878 | -57.024 | 4.34897E-15 | 5.672377E-15 | -98.573 |
| 39 | HIDUP | 1.5 | -0.08878 | -42.768 | 2.62247E-15 | 4.437979E-16 | -23.729 |
| 39 | HIDUP | 3 | -0.08878 | -28.512 | 8.95977E-16 | -2.19504E-15 | 29.7314 |
| 39 | HIDUP | 4.5 | -0.08878 | -14.256 | -8.3052E-16 | -2.24413E-15 | 61.8074 |
| 39 | HIDUP | 6 | -0.08878 | -1.5E-14 | -2.5570E-15 | 2.965144E-16 | 72.4994 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 39 | GEMPA | 0 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | -1.33866E-14 | 433.922 |
| 39 | GEMPA | 1.5 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | -9.97959E-15 | 325.503 |
| 39 | GEMPA | 3 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | -6.57257E-15 | 217.084 |
| 39 | GEMPA | 4.5 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | -3.16556E-15 | 108.665 |
| 39 | GEMPA | 6 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | 2.414487E-16 | 0.24657 |
| 39 | KOM1 | 0 | -2.69739 | -377.741 | 2.88086E-14 | 3.762294E-14 | -654.55 |
| 39 | KOM1 | 1.5 | -2.69739 | -283.306 | 1.73719E-14 | 2.987567E-15 | -158.76 |
| 39 | KOM1 | 3 | -2.69739 | -188.870 | 5.93517E-15 | -1.44927E-14 | 195.371 |
| 39 | KOM1 | 4.5 | -2.69739 | -94.4352 | -5.5016E-15 | -1.48179E-14 | 407.851 |
| 39 | KOM1 | 6 | -2.69739 | 3.98E-14 | -1.6938E-14 | 2.011926E-15 | 478.677 |
| 39 | KOM2 | 0 | -130.375 | -234.672 | 2.13005E-14 | 1.687882E-14 | -82.609 |
| 39 | KOM2 | 1.5 | -130.375 | -157.031 | 1.18976E-14 | -8.01977E-15 | 211.167 |
| 39 | KOM2 | 3 | -130.375 | -79.3893 | 2.49477E-15 | -1.88141E-14 | 388.482 |
| 39 | KOM2 | 4.5 | -130.375 | -1.74808 | -6.9081E-15 | -1.55041E-14 | 449.335 |
| 39 | KOM2 | 6 | -130.375 | 75.89312 | -1.6311E-14 | 1.910176E-15 | 393.726 |
| 40 | MATI | 0 | -2.12944 | -2.8E-14 | 1.07059E-14 | 1.281252E-15 | 302.232 |
| 40 | MATI | 1.5 | -2.12944 | 59.688 | 3.47727E-15 | -9.35611E-15 | 257.466 |
| 40 | MATI | 3 | -2.12944 | 119.376 | -3.7513E-15 | -9.15056E-15 | 123.168 |
| 40 | MATI | 4.5 | -2.12944 | 179.064 | -1.098E-14 | 1.897909E-15 | -100.66 |
| 40 | MATI | 6 | -2.12944 | 238.752 | -1.8209E-14 | 2.378928E-14 | -414.02 |
| 40 | HIDUP | 0 | -0.08878 | 1.78E-14 | 2.55701E-15 | 2.965144E-16 | 72.4994 |
| 40 | HIDUP | 1.5 | -0.08878 | 14.256 | 8.30518E-16 | -2.24413E-15 | 61.8074 |
| 40 | HIDUP | 3 | -0.08878 | 28.512 | -8.9598E-16 | -2.19504E-15 | 29.7314 |
| 40 | HIDUP | 4.5 | -0.08878 | 42.768 | -2.6225E-15 | 4.437979E-16 | -23.729 |
| 40 | HIDUP | 6 | -0.08878 | 57.024 | -4.349E-15 | 5.672377E-15 | -98.573 |
| 40 | GEMPA | 0 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | -2.5638E-16 | 0.24657 |
| 40 | GEMPA | 1.5 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | 3.150632E-15 | -108.17 |
| 40 | GEMPA | 3 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | 6.557643E-15 | -216.59 |
| 40 | GEMPA | 4.5 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | 9.964655E-15 | -325.01 |
| 40 | GEMPA | 6 | -121.948 | 72.27916 | -2.2713E-15 | 1.337167E-14 | -433.43 |
| 40 | KOM1 | 0 | -2.69739 | -5.7E-15 | 1.69383E-14 | 2.011926E-15 | 478.677 |
| 40 | KOM1 | 1.5 | -2.69739 | 94.4352 | 5.50155E-15 | -1.48179E-14 | 407.851 |
| 40 | KOM1 | 3 | -2.69739 | 188.8704 | -5.9352E-15 | -1.44927E-14 | 195.371 |
| 40 | KOM1 | 4.5 | -2.69739 | 283.3056 | -1.7372E-14 | 2.987567E-15 | -158.76 |
| 40 | KOM1 | 6 | -2.69739 | 377.7408 | -2.8809E-14 | 3.762294E-14 | -654.55 |
| 40 | KOM2 | 0 | -130.375 | 75.89312 | 1.15411E-14 | 1.387456E-15 | 393.726 |
| 40 | KOM2 | 1.5 | -130.375 | 153.5343 | 2.13827E-15 | -8.87209E-15 | 221.656 |
| 40 | KOM2 | 3 | -130.375 | 231.1755 | -7.2646E-15 | -5.02735E-15 | -66.877 |
| 40 | KOM2 | 4.5 | -130.375 | 308.8167 | -1.6667E-14 | 1.292168E-14 | -471.87 |
| 40 | KOM2 | 6 | -130.375 | 386.4579 | -2.6070E-14 | 4.497499E-14 | -993.33 |
| 41 | MATI | 0 | -2.46161 | -238.752 | 1.82086E-14 | 2.370004E-14 | -411.08 |
| 41 | MATI | 1.5 | -2.46161 | -179.064 | 1.098E-14 | 1.808661E-15 | -97.715 |
| 41 | MATI | 3 | -2.46161 | -119.376 | 3.75134E-15 | -9.23980E-15 | 126.115 |
| 41 | MATI | 4.5 | -2.46161 | -59.688 | -3.4773E-15 | -9.44536E-15 | 260.413 |
| 41 | MATI | 6 | -2.46161 | -3.6E-15 | -1.0706E-14 | 1.192004E-15 | 305.179 |
| 41 | HIDUP | 0 | -2.71369 | -57.024 | 4.34897E-15 | 5.635761E-15 | -97.363 |
| 41 | HIDUP | 1.5 | -2.71369 | -42.768 | 2.62247E-15 | 4.071816E-16 | -22.519 |
| 41 | HIDUP | 3 | -2.71369 | -28.512 | 8.95977E-16 | -2.23166E-15 | 30.9408 |
| 41 | HIDUP | 4.5 | -2.71369 | -14.256 | -8.3052E-16 | -2.28075E-15 | 63.0168 |
| 41 | HIDUP | 6 | -2.71369 | 6.22E-15 | -2.5570E-15 | 2.598982E-16 | 73.7088 |

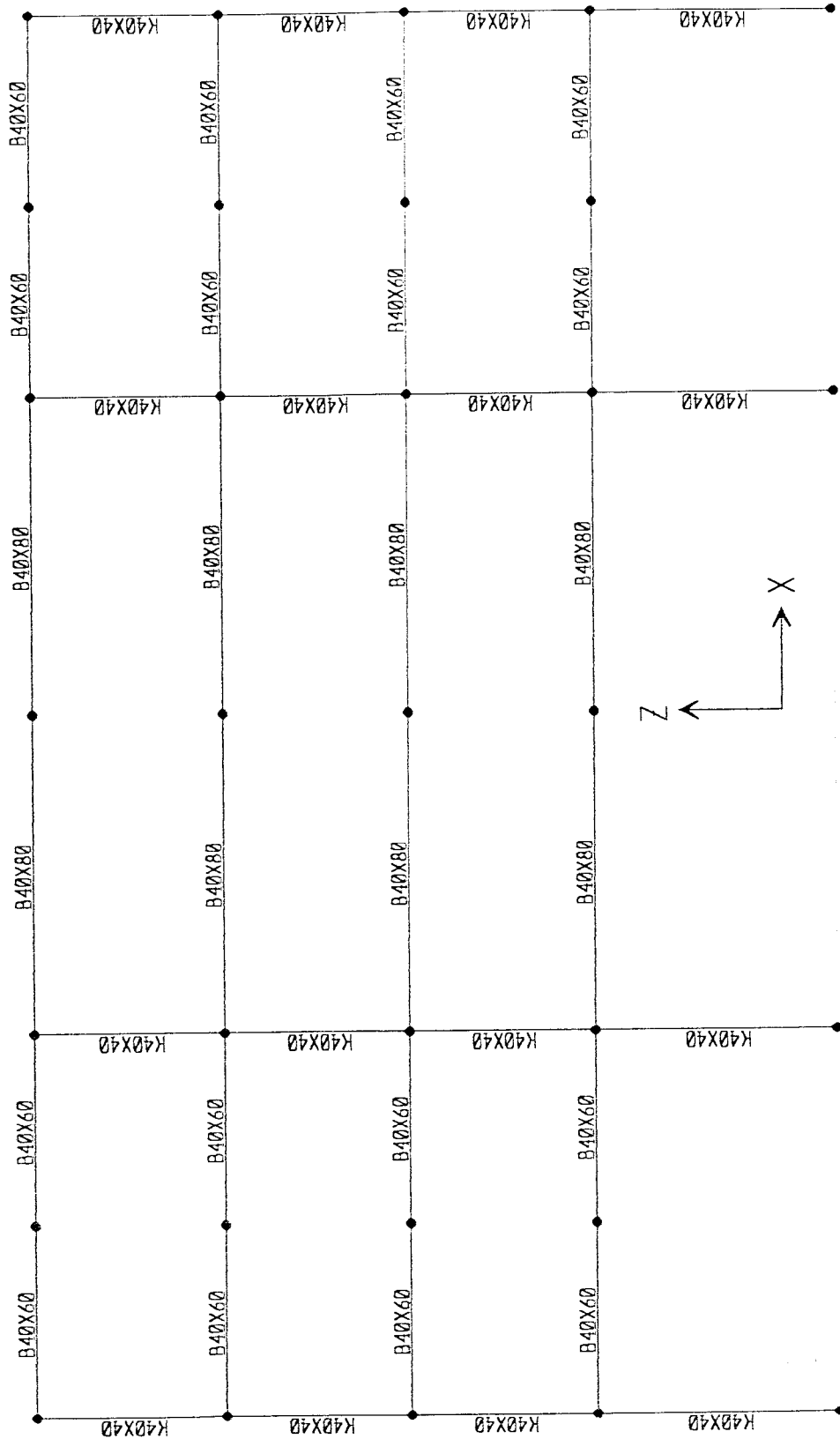
| FR | FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|----|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 43 | 41 | GEMPA | 0 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | -8.21305E-15 | 266.221 |
| 43 | 41 | GEMPA | 1.5 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | -6.12178E-15 | 199.672 |
| 43 | 41 | GEMPA | 3 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | -4.03051E-15 | 133.123 |
| 43 | 41 | GEMPA | 4.5 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | -1.93924E-15 | 66.5738 |
| 43 | 41 | GEMPA | 6 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | 1.520351E-16 | 0.02484 |
| 43 | 41 | KOM1 | 0 | -7.29584 | -377.741 | 2.88086E-14 | 3.745726E-14 | -649.07 |
| 43 | 41 | KOM1 | 1.5 | -7.29584 | -283.306 | 1.73719E-14 | 2.821883E-15 | -153.29 |
| 43 | 41 | KOM1 | 3 | -7.29584 | -188.870 | 5.93517E-15 | -1.46584E-14 | 200.844 |
| 43 | 41 | KOM1 | 4.5 | -7.29584 | -94.4352 | -5.5016E-15 | -1.49836E-14 | 413.323 |
| 43 | 41 | KOM1 | 6 | -7.29584 | 5.68E-15 | -1.6938E-14 | 1.846242E-15 | 484.149 |
| 43 | 41 | KOM2 | 0 | -172.314 | -263.981 | 2.22215E-14 | 2.217888E-14 | -254.33 |
| 43 | 41 | KOM2 | 1.5 | -172.314 | -186.339 | 1.28187E-14 | -4.10124E-15 | 83.4098 |
| 43 | 41 | KOM2 | 3 | -172.314 | -108.698 | 3.41579E-15 | -1.62771E-14 | 304.688 |
| 43 | 41 | KOM2 | 4.5 | -172.314 | -31.0569 | -5.9871E-15 | -1.43486E-14 | 409.504 |
| 43 | 41 | KOM2 | 6 | -172.314 | 46.58428 | -1.539E-14 | 1.684134E-15 | 397.859 |
| 43 | 42 | MATI | 0 | -2.46161 | 2.84E-14 | 1.07059E-14 | 1.192004E-15 | 305.179 |
| 43 | 42 | MATI | 1.5 | -2.46161 | 59.688 | 3.47727E-15 | -9.44536E-15 | 260.413 |
| 43 | 42 | MATI | 3 | -2.46161 | 119.376 | -3.7513E-15 | -9.23980E-15 | 126.115 |
| 43 | 42 | MATI | 4.5 | -2.46161 | 179.064 | -1.098E-14 | 1.808661E-15 | -97.715 |
| 43 | 42 | MATI | 6 | -2.46161 | 238.752 | -1.8209E-14 | 2.370004E-14 | -411.08 |
| 43 | 42 | HIDUP | 0 | -2.71369 | -7.1E-15 | 2.55701E-15 | 2.598982E-16 | 73.7088 |
| 43 | 42 | HIDUP | 1.5 | -2.71369 | 14.256 | 8.30518E-16 | -2.28075E-15 | 63.0168 |
| 43 | 42 | HIDUP | 3 | -2.71369 | 28.512 | -8.9598E-16 | -2.23166E-15 | 30.9408 |
| 43 | 42 | HIDUP | 4.5 | -2.71369 | 42.768 | -2.6225E-15 | 4.071816E-16 | -22.519 |
| 43 | 42 | HIDUP | 6 | -2.71369 | 57.024 | -4.349E-15 | 5.635761E-15 | -97.363 |
| 43 | 42 | GEMPA | 0 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | -1.53539E-16 | 0.02484 |
| 43 | 42 | GEMPA | 1.5 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | 1.937733E-15 | -66.524 |
| 43 | 42 | GEMPA | 3 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | 4.029005E-15 | -133.07 |
| 43 | 42 | GEMPA | 4.5 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | 6.120278E-15 | -199.62 |
| 43 | 42 | GEMPA | 6 | -158.934 | 44.36598 | -1.3942E-15 | 8.21155E-15 | -266.17 |
| 43 | 42 | KOM1 | 0 | -7.29584 | 2.27E-14 | 1.69383E-14 | 1.846242E-15 | 484.149 |
| 43 | 42 | KOM1 | 1.5 | -7.29584 | 94.4352 | 5.50155E-15 | -1.49836E-14 | 413.323 |
| 43 | 42 | KOM1 | 3 | -7.29584 | 188.8704 | -5.9352E-15 | -1.46584E-14 | 200.844 |
| 43 | 42 | KOM1 | 4.5 | -7.29584 | 283.3056 | -1.7372E-14 | 2.821883E-15 | -153.29 |
| 43 | 42 | KOM1 | 6 | -7.29584 | 377.7408 | -2.8809E-14 | 3.745726E-14 | -649.07 |
| 43 | 42 | KOM2 | 0 | -172.314 | 46.58428 | 1.24621E-14 | 1.363282E-15 | 397.859 |
| 43 | 42 | KOM2 | 1.5 | -172.314 | 124.2255 | 3.05929E-15 | -1.02778E-14 | 269.751 |
| 43 | 42 | KOM2 | 3 | -172.314 | 201.8667 | -6.3436E-15 | -7.81458E-15 | 25.1822 |
| 43 | 42 | KOM2 | 4.5 | -172.314 | 279.5079 | -1.5746E-14 | 8.752926E-15 | -335.85 |
| 43 | 42 | KOM2 | 6 | -172.314 | 357.1491 | -2.5149E-14 | 3.942471E-14 | -813.34 |
| 43 | 43 | MATI | 0 | -79.2721 | -155.502 | 1.18595E-14 | 1.483336E-14 | -247.83 |
| 43 | 43 | MATI | 1.5 | -79.2721 | -116.627 | 7.15137E-15 | 5.752533E-16 | -43.735 |
| 43 | 43 | MATI | 3 | -79.2721 | -77.751 | 2.44329E-15 | -6.62074E-15 | 102.048 |
| 43 | 43 | MATI | 4.5 | -79.2721 | -38.8755 | -2.2648E-15 | -6.75462E-15 | 189.518 |
| 43 | 43 | MATI | 6 | -79.2721 | 0 | -6.9729E-15 | 1.736175E-16 | 218.675 |
| 43 | 43 | HIDUP | 0 | -16.7346 | -27.372 | 2.08754E-15 | 2.622127E-15 | -43.991 |
| 43 | 43 | HIDUP | 1.5 | -16.7346 | -20.529 | 1.25881E-15 | 1.123649E-16 | -8.0652 |
| 43 | 43 | HIDUP | 3 | -16.7346 | -13.686 | 4.30077E-16 | -1.1543E-15 | 17.5961 |
| 43 | 43 | HIDUP | 4.5 | -16.7346 | -6.843 | -3.9866E-16 | -1.17787E-15 | 32.9928 |
| 43 | 43 | HIDUP | 6 | -16.7346 | 5.33E-15 | -1.2274E-15 | 4.166764E-17 | 38.1251 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 45 | GEMPA | 0 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | -2.71345E-14 | 492.126 |
| 45 | GEMPA | 0.9 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | -1.92893E-14 | 352.371 |
| 45 | GEMPA | 1.8 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | -1.14441E-14 | 212.615 |
| 45 | GEMPA | 2.7 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | -3.59885E-15 | 72.8599 |
| 45 | GEMPA | 3.6 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | 4.246357E-15 | -66.896 |
| 45 | KOM1 | 0 | 24.35033 | -223.992 | 1.85774E-14 | 2.517064E-14 | -388.17 |
| 45 | KOM1 | 0.9 | 24.35033 | -177.791 | 1.29821E-14 | 1.09689E-14 | -207.37 |
| 45 | KOM1 | 1.8 | 24.35033 | -131.589 | 7.38679E-15 | 1.80291E-15 | -68.147 |
| 45 | KOM1 | 2.7 | 24.35033 | -85.3878 | 1.79151E-15 | -2.32732E-15 | 29.493 |
| 45 | KOM1 | 3.6 | 24.35033 | -39.1865 | -3.8038E-15 | -1.4218E-15 | 85.5514 |
| 45 | KOM2 | 0 | -56.9738 | -21.8613 | 6.18556E-15 | -7.72964E-15 | 196.637 |
| 45 | KOM2 | 0.9 | -56.9738 | 16.29685 | 1.56436E-15 | -1.12171E-14 | 199.141 |
| 45 | KOM2 | 1.8 | -56.9738 | 54.45501 | -3.0568E-15 | -1.05455E-14 | 167.303 |
| 45 | KOM2 | 2.7 | -56.9738 | 92.61317 | -7.6780E-15 | -5.71478E-15 | 101.122 |
| 45 | KOM2 | 3.6 | -56.9738 | 130.7713 | -1.2299E-14 | 3.275003E-15 | 0.59882 |
| 46 | MATI | 0 | 15.74426 | -24.9925 | 5.28319E-15 | -7.46885E-16 | 55.9848 |
| 46 | MATI | 0.9 | 15.74426 | 4.86861 | 1.66682E-15 | -3.87439E-15 | 65.0406 |
| 46 | MATI | 1.8 | 15.74426 | 34.72971 | -1.9496E-15 | -3.74715E-15 | 47.2213 |
| 46 | MATI | 2.7 | 15.74426 | 64.59081 | -5.5659E-15 | -3.65179E-16 | 2.52708 |
| 46 | MATI | 3.6 | 15.74426 | 94.45191 | -9.1823E-15 | 6.271531E-15 | -69.042 |
| 46 | HIDUP | 0 | 3.410761 | -5.74721 | 1.16465E-15 | -1.2478E-16 | 11.4810 |
| 46 | HIDUP | 0.9 | 3.410761 | 0.732791 | 3.79879E-16 | -8.19817E-16 | 13.7375 |
| 46 | HIDUP | 1.8 | 3.410761 | 7.21279 | -4.0489E-16 | -8.08562E-16 | 10.1620 |
| 46 | HIDUP | 2.7 | 3.410761 | 13.69279 | -1.1897E-15 | -9.10126E-17 | 0.7545 |
| 46 | HIDUP | 3.6 | 3.410761 | 20.17279 | -1.9744E-15 | 1.33283E-15 | -14.485 |
| 46 | GEMPA | 0 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | 2.954965E-15 | -66.896 |
| 46 | GEMPA | 0.9 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | 1.080017E-14 | -206.65 |
| 46 | GEMPA | 1.8 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | 1.864537E-14 | -346.41 |
| 46 | GEMPA | 2.7 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | 2.649057E-14 | -486.16 |
| 46 | GEMPA | 3.6 | -73.4158 | 155.2838 | -8.7169E-15 | 3.433577E-14 | -625.92 |
| 46 | KOM1 | 0 | 24.35033 | -39.1865 | 8.20327E-15 | -1.09591E-15 | 85.5514 |
| 46 | KOM1 | 0.9 | 24.35033 | 7.014797 | 2.60798E-15 | -5.96097E-15 | 100.029 |
| 46 | KOM1 | 1.8 | 24.35033 | 53.21612 | -2.9873E-15 | -5.79028E-15 | 72.9248 |
| 46 | KOM1 | 2.7 | 24.35033 | 99.41744 | -8.5826E-15 | -5.83835E-16 | 4.23969 |
| 46 | KOM1 | 3.6 | 24.35033 | 145.6188 | -1.4178E-14 | 9.658364E-15 | -106.03 |
| 46 | KOM2 | 0 | -56.9738 | 130.7713 | -2.3825E-15 | 2.187465E-15 | 0.59882 |
| 46 | KOM2 | 0.9 | -56.9738 | 168.9295 | -7.0037E-15 | 6.411262E-15 | -134.27 |
| 46 | KOM2 | 1.8 | -56.9738 | 207.0876 | -1.1625E-14 | 1.479414E-14 | -303.47 |
| 46 | KOM2 | 2.7 | -56.9738 | 245.2458 | -1.6246E-14 | 2.73361E-14 | -507.02 |
| 46 | KOM2 | 3.6 | -56.9738 | 283.4039 | -2.0867E-14 | 4.403714E-14 | -744.92 |
| 47 | MATI | 0 | 0.908233 | -132.904 | 1.11946E-14 | 1.42081E-14 | -215.04 |
| 47 | MATI | 0.9 | 0.908233 | -104.168 | 7.71449E-15 | 5.699001E-15 | -108.35 |
| 47 | MATI | 1.8 | 0.908233 | -75.4315 | 4.23436E-15 | 3.220161E-16 | -27.535 |
| 47 | MATI | 2.7 | 0.908233 | -46.6954 | 7.54233E-16 | -1.92285E-15 | 27.4224 |
| 47 | MATI | 3.6 | 0.908233 | -17.9593 | -2.7259E-15 | -1.03560E-15 | 56.517 |
| 47 | HIDUP | 0 | 0.300416 | -30.2839 | 2.54202E-15 | 3.290039E-15 | -50.066 |
| 47 | HIDUP | 0.9 | 0.300416 | -23.8039 | 1.75725E-15 | 1.355365E-15 | -25.727 |
| 47 | HIDUP | 1.8 | 0.300416 | -17.3239 | 9.72482E-16 | 1.269846E-16 | -7.2192 |
| 47 | HIDUP | 2.7 | 0.300416 | -10.8439 | 1.87712E-16 | -3.95103E-16 | 5.45632 |
| 47 | HIDUP | 3.6 | 0.300416 | -4.36392 | -5.9706E-16 | -2.10896E-16 | 12.2999 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 47 | GEMPA | 0 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | -1.9864E-14 | 360.476 |
| 47 | GEMPA | 0.9 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | -1.4259E-14 | 260.628 |
| 47 | GEMPA | 1.8 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | -8.65399E-15 | 160.78 |
| 47 | GEMPA | 2.7 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | -3.04898E-15 | 60.9314 |
| 47 | GEMPA | 3.6 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | 2.55602E-15 | -38.917 |
| 47 | KOM1 | 0 | 1.570544 | -207.939 | 1.75008E-14 | 2.231379E-14 | -338.15 |
| 47 | KOM1 | 0.9 | 1.570544 | -163.087 | 1.2069E-14 | 9.007386E-15 | -171.19 |
| 47 | KOM1 | 1.8 | 1.570544 | -118.236 | 6.63721E-15 | 5.895948E-16 | -44.592 |
| 47 | KOM1 | 2.7 | 1.570544 | -73.3847 | 1.20542E-15 | -2.93959E-15 | 41.637 |
| 47 | KOM1 | 3.6 | 1.570544 | -28.5334 | -4.2264E-15 | -1.58016E-15 | 87.5001 |
| 47 | KOM2 | 0 | -36.0474 | -54.8574 | 7.88431E-15 | -2.48415E-15 | 100.142 |
| 47 | KOM2 | 0.9 | -36.0474 | -17.8805 | 3.40616E-15 | -7.56486E-15 | 132.874 |
| 47 | KOM2 | 1.8 | -36.0474 | 19.09645 | -1.072E-15 | -8.61524E-15 | 132.327 |
| 47 | KOM2 | 2.7 | -36.0474 | 56.07336 | -5.5501E-15 | -5.63529E-15 | 98.5006 |
| 47 | KOM2 | 3.6 | -36.0474 | 93.05026 | -1.0028E-14 | 1.374996E-15 | 31.3950 |
| 48 | MATI | 0 | 0.908233 | -17.9593 | 4.74219E-15 | -8.86248E-16 | 56.517 |
| 48 | MATI | 0.9 | 0.908233 | 10.77682 | 1.26206E-15 | -3.58816E-15 | 59.7491 |
| 48 | MATI | 1.8 | 0.908233 | 39.51292 | -2.2181E-15 | -3.15796E-15 | 37.1187 |
| 48 | MATI | 2.7 | 0.908233 | 68.24902 | -5.6982E-15 | 4.043561E-16 | -11.374 |
| 48 | MATI | 3.6 | 0.908233 | 96.98512 | -9.1783E-15 | 7.098791E-15 | -85.73 |
| 48 | HIDUP | 0 | 0.300416 | -4.36392 | 1.087E-15 | -1.74605E-16 | 12.2999 |
| 48 | HIDUP | 0.9 | 0.300416 | 2.11608 | 3.02228E-16 | -7.99756E-16 | 13.3114 |
| 48 | HIDUP | 1.8 | 0.300416 | 8.596081 | -4.8254E-16 | -7.18614E-16 | 8.49090 |
| 48 | HIDUP | 2.7 | 0.300416 | 15.07608 | -1.2673E-15 | 6.882116E-17 | -2.1616 |
| 48 | HIDUP | 3.6 | 0.300416 | 21.55608 | -2.0521E-15 | 1.56255E-15 | -18.646 |
| 48 | GEMPA | 0 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | 1.633386E-15 | -38.917 |
| 48 | GEMPA | 0.9 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | 7.23839E-15 | -138.77 |
| 48 | GEMPA | 1.8 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | 1.284339E-14 | -238.61 |
| 48 | GEMPA | 2.7 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | 1.84484E-14 | -338.46 |
| 48 | GEMPA | 3.6 | -35.5395 | 110.9425 | -6.2278E-15 | 2.40534E-14 | -438.31 |
| 48 | KOM1 | 0 | 1.570544 | -28.5334 | 7.42983E-15 | -1.34287E-15 | 87.5001 |
| 48 | KOM1 | 0.9 | 1.570544 | 16.31791 | 1.99804E-15 | -5.58541E-15 | 92.9971 |
| 48 | KOM1 | 1.8 | 1.570544 | 61.16924 | -3.4337E-15 | -4.93934E-15 | 58.1279 |
| 48 | KOM1 | 2.7 | 1.570544 | 106.0205 | -8.8655E-15 | 5.953412E-16 | -17.108 |
| 48 | KOM1 | 3.6 | 1.570544 | 150.8719 | -1.4297E-14 | 1.101863E-14 | -132.71 |
| 48 | KOM2 | 0 | -36.0474 | 93.05026 | -4.1852E-16 | 6.011594E-16 | 31.3950 |
| 48 | KOM2 | 0.9 | -36.0474 | 130.0272 | -4.8967E-15 | 2.992993E-15 | -68.99 |
| 48 | KOM2 | 1.8 | -36.0474 | 167.0041 | -9.3748E-15 | 9.415157E-15 | -202.65 |
| 48 | KOM2 | 2.7 | -36.0474 | 203.981 | -1.3853E-14 | 1.986765E-14 | -369.6 |
| 48 | KOM2 | 3.6 | -36.0474 | 240.9579 | -1.8331E-14 | 3.435048E-14 | -569.82 |
| 49 | MATI | 0 | -1.31582 | -132.527 | 1.11735E-14 | 1.414731E-14 | -213.94 |
| 49 | MATI | 0.9 | -1.31582 | -103.791 | 7.69336E-15 | 5.657234E-15 | -107.59 |
| 49 | MATI | 1.8 | -1.31582 | -75.0549 | 4.21323E-15 | 2.992731E-16 | -27.112 |
| 49 | MATI | 2.7 | -1.31582 | -46.3188 | 7.33096E-16 | -1.92657E-15 | 27.5060 |
| 49 | MATI | 3.6 | -1.31582 | -17.5827 | -2.7470E-15 | -1.0203E-15 | 56.2617 |
| 49 | HIDUP | 0 | -0.51121 | -30.3377 | 2.54504E-15 | 3.316836E-15 | -50.56 |
| 49 | HIDUP | 0.9 | -0.51121 | -23.8577 | 1.76027E-15 | 1.379446E-15 | -26.172 |
| 49 | HIDUP | 1.8 | -0.51121 | -17.3777 | 9.755E-16 | 1.483495E-16 | -7.6161 |
| 49 | HIDUP | 2.7 | -0.51121 | -10.8977 | 1.90729E-16 | -3.76454E-16 | 5.10777 |
| 49 | HIDUP | 3.6 | -0.51121 | -4.41768 | -5.9404E-16 | -1.94963E-16 | 11.9997 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 49 | GEMPA | 0 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | -1.17931E-14 | 213.98 |
| 49 | GEMPA | 0.9 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | -8.44473E-15 | 154.332 |
| 49 | GEMPA | 1.8 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | -5.09638E-15 | 94.684 |
| 49 | GEMPA | 2.7 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | -1.74803E-15 | 35.0361 |
| 49 | GEMPA | 3.6 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | 1.600317E-15 | -24.612 |
| 49 | KOM1 | 0 | -2.39692 | -207.573 | 1.74803E-14 | 2.228371E-14 | -337.62 |
| 49 | KOM1 | 0.9 | -2.39692 | -162.722 | 1.20485E-14 | 8.995795E-15 | -170.99 |
| 49 | KOM1 | 1.8 | -2.39692 | -117.870 | 6.61667E-15 | 5.964869E-16 | -44.720 |
| 49 | KOM1 | 2.7 | -2.39692 | -73.0189 | 1.18488E-15 | -2.91421E-15 | 41.1797 |
| 49 | KOM1 | 3.6 | -2.39692 | -28.1676 | -4.2469E-15 | -1.53630E-15 | 86.7136 |
| 49 | KOM2 | 0 | -67.9998 | -101.419 | 1.04981E-14 | 5.954628E-15 | -53.042 |
| 49 | KOM2 | 0.9 | -67.9998 | -64.4419 | 6.01990E-15 | -1.47845E-15 | 21.5953 |
| 49 | KOM2 | 1.8 | -67.9998 | -27.4650 | 1.54176E-15 | -4.88119E-15 | 62.9535 |
| 49 | KOM2 | 2.7 | -67.9998 | 9.511868 | -2.9364E-15 | -4.25361E-15 | 71.0324 |
| 49 | KOM2 | 3.6 | -67.9998 | 46.48877 | -7.4145E-15 | 4.043069E-16 | 45.8321 |
| 50 | MATI | 0 | -1.31582 | -17.5827 | 4.72106E-15 | -8.74076E-16 | 56.2617 |
| 50 | MATI | 0.9 | -1.31582 | 11.15336 | 1.24093E-15 | -3.55697E-15 | 59.155 |
| 50 | MATI | 1.8 | -1.31582 | 39.88946 | -2.2392E-15 | -3.10774E-15 | 36.1857 |
| 50 | MATI | 2.7 | -1.31582 | 68.62556 | -5.7193E-15 | 4.735998E-16 | -12.646 |
| 50 | MATI | 3.6 | -1.31582 | 97.36166 | -9.1995E-15 | 7.187058E-15 | -87.340 |
| 50 | HIDUP | 0 | -0.51121 | -4.41768 | 1.09002E-15 | -1.58225E-16 | 11.9997 |
| 50 | HIDUP | 0.9 | -0.51121 | 2.062323 | 3.05245E-16 | -7.86092E-16 | 13.0596 |
| 50 | HIDUP | 1.8 | -0.51121 | 8.542323 | -4.7953E-16 | -7.07666E-16 | 8.2875 |
| 50 | HIDUP | 2.7 | -0.51121 | 15.02232 | -1.2643E-15 | 7.705347E-17 | -2.3166 |
| 50 | HIDUP | 3.6 | -0.51121 | 21.50232 | -2.0491E-15 | 1.568066E-15 | -18.753 |
| 50 | GEMPA | 0 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | 1.049149E-15 | -24.612 |
| 50 | GEMPA | 0.9 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | 4.397496E-15 | -84.26 |
| 50 | GEMPA | 1.8 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | 7.745844E-15 | -143.91 |
| 50 | GEMPA | 2.7 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | 1.109419E-14 | -203.56 |
| 50 | GEMPA | 3.6 | -62.9347 | 66.27544 | -3.7204E-15 | 1.444254E-14 | -263.20 |
| 50 | KOM1 | 0 | -2.39692 | -28.1676 | 7.40929E-15 | -1.30205E-15 | 86.7136 |
| 50 | KOM1 | 0.9 | -2.39692 | 16.68375 | 1.97750E-15 | -5.52611E-15 | 91.8813 |
| 50 | KOM1 | 1.8 | -2.39692 | 61.53507 | -3.4543E-15 | -4.86156E-15 | 56.6828 |
| 50 | KOM1 | 2.7 | -2.39692 | 106.3864 | -8.8861E-15 | 6.916054E-16 | -18.882 |
| 50 | KOM1 | 3.6 | -2.39692 | 151.2377 | -1.4318E-14 | 1.113338E-14 | -134.81 |
| 50 | KOM2 | 0 | -67.9998 | 46.48877 | 2.19522E-15 | 1.769096E-17 | 45.8321 |
| 50 | KOM2 | 0.9 | -67.9998 | 83.46568 | -2.2829E-15 | 5.715941E-17 | -12.647 |
| 50 | KOM2 | 1.8 | -67.9998 | 120.4426 | -6.7611E-15 | 4.126958E-15 | -104.41 |
| 50 | KOM2 | 2.7 | -67.9998 | 157.4195 | -1.1239E-14 | 1.222709E-14 | -229.44 |
| 50 | KOM2 | 3.6 | -67.9998 | 194.3964 | -1.5717E-14 | 2.435755E-14 | -387.76 |
| 51 | MATI | 0 | -23.9851 | -85.7297 | 7.09903E-15 | 9.808758E-15 | -151.93 |
| 51 | MATI | 0.9 | -23.9851 | -68.1329 | 4.96794E-15 | 4.378618E-15 | -82.696 |
| 51 | MATI | 1.8 | -23.9851 | -50.5361 | 2.83686E-15 | 8.664574E-16 | -29.295 |
| 51 | MATI | 2.7 | -23.9851 | -32.9393 | 7.05769E-16 | -7.27724E-16 | 8.26872 |
| 51 | MATI | 3.6 | -23.9851 | -15.3425 | -1.4253E-15 | -4.03927E-16 | 29.9956 |
| 51 | HIDUP | 0 | -5.00003 | -14.7374 | 1.23146E-15 | 1.632987E-15 | -25.015 |
| 51 | HIDUP | 0.9 | -5.00003 | -11.627 | 8.5477E-16 | 6.941835E-16 | -13.151 |
| 51 | HIDUP | 1.8 | -5.00003 | -8.51658 | 4.7808E-16 | 9.440117E-17 | -4.0866 |
| 51 | HIDUP | 2.7 | -5.00003 | -5.40618 | 1.01390E-16 | -1.66360E-16 | 2.17859 |
| 51 | HIDUP | 3.6 | -5.00003 | -2.29578 | -2.753E-16 | -8.81011E-17 | 5.64447 |

| FRAME | LOAD | STATION | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------|-------|---------|----------|----------|-------------|--------------|---------|
| 51 | GEMPA | 0 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | -4.04529E-15 | 73.3048 |
| 51 | GEMPA | 0.9 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | -2.83454E-15 | 51.7364 |
| 51 | GEMPA | 1.8 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | -1.6238E-15 | 30.1680 |
| 51 | GEMPA | 2.7 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | -4.13053E-16 | 8.59966 |
| 51 | GEMPA | 3.6 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | 7.976917E-16 | -12.969 |
| 51 | KOM1 | 0 | -36.7822 | -126.456 | 1.04892E-14 | 1.438329E-14 | -222.35 |
| 51 | KOM1 | 0.9 | -36.7822 | -100.363 | 7.32917E-15 | 6.365035E-15 | -120.28 |
| 51 | KOM1 | 1.8 | -36.7822 | -74.2699 | 4.16916E-15 | 1.190791E-15 | -41.693 |
| 51 | KOM1 | 2.7 | -36.7822 | -48.1771 | 1.00915E-15 | -1.13945E-15 | 13.4082 |
| 51 | KOM1 | 3.6 | -36.7822 | -22.0843 | -2.1509E-15 | -6.25674E-16 | 45.0258 |
| 51 | KOM2 | 0 | -75.7814 | -80.3274 | 7.33448E-15 | 7.76628E-15 | -108.83 |
| 51 | KOM2 | 0.9 | -75.7814 | -58.5848 | 4.70131E-15 | 2.350171E-15 | -46.317 |
| 51 | KOM2 | 1.8 | -75.7814 | -36.8423 | 2.06815E-15 | -6.96086E-16 | -3.3746 |
| 51 | KOM2 | 2.7 | -75.7814 | -15.0997 | -5.6502E-16 | -1.3725E-15 | 19.9993 |
| 51 | KOM2 | 3.6 | -75.7814 | 6.64287 | -3.1982E-15 | 3.209468E-16 | 23.8049 |
| 52 | MATI | 0 | -23.9851 | -15.3425 | 3.14783E-15 | -2.76334E-16 | 29.9956 |
| 52 | MATI | 0.9 | -23.9851 | 2.254272 | 1.01674E-15 | -2.15039E-15 | 35.8853 |
| 52 | MATI | 1.8 | -23.9851 | 19.85107 | -1.1143E-15 | -2.10647E-15 | 25.9379 |
| 52 | MATI | 2.7 | -23.9851 | 37.44787 | -3.2454E-15 | -1.44572E-16 | 0.15334 |
| 52 | MATI | 3.6 | -23.9851 | 55.04467 | -5.3765E-15 | 3.735306E-15 | -41.468 |
| 52 | HIDUP | 0 | -5.00003 | -2.29578 | 5.33048E-16 | -6.90087E-17 | 5.64447 |
| 52 | HIDUP | 0.9 | -5.00003 | 0.814623 | 1.56358E-16 | -3.79241E-16 | 6.31099 |
| 52 | HIDUP | 1.8 | -5.00003 | 3.925023 | -2.2033E-16 | -3.50453E-16 | 4.17815 |
| 52 | HIDUP | 2.7 | -5.00003 | 7.035423 | -5.9702E-16 | 1.735661E-17 | -0.7541 |
| 52 | HIDUP | 3.6 | -5.00003 | 10.14582 | -9.7371E-16 | 7.241866E-16 | -8.4856 |
| 52 | GEMPA | 0 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | 5.983922E-16 | -12.969 |
| 52 | GEMPA | 0.9 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | 1.809137E-15 | -34.537 |
| 52 | GEMPA | 1.8 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | 3.019882E-15 | -56.105 |
| 52 | GEMPA | 2.7 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | 4.230627E-15 | -77.674 |
| 52 | GEMPA | 3.6 | -43.1877 | 23.96485 | -1.3453E-15 | 5.441371E-15 | -99.242 |
| 52 | KOM1 | 0 | -36.7822 | -22.0843 | 4.63027E-15 | -4.42014E-16 | 45.0258 |
| 52 | KOM1 | 0.9 | -36.7822 | 4.008524 | 1.47026E-15 | -3.18726E-15 | 53.1599 |
| 52 | KOM1 | 1.8 | -36.7822 | 30.10132 | -1.6897E-15 | -3.08849E-15 | 37.8105 |
| 52 | KOM1 | 2.7 | -36.7822 | 56.19412 | -4.8498E-15 | -1.45716E-16 | -1.0225 |
| 52 | KOM1 | 3.6 | -36.7822 | 82.28693 | -8.0098E-15 | 5.641066E-15 | -63.339 |
| 52 | KOM2 | 0 | -75.7814 | 6.64287 | 2.45239E-15 | 2.657025E-16 | 23.8049 |
| 52 | KOM2 | 0.9 | -75.7814 | 28.38543 | -1.8078E-16 | -7.56521E-16 | 8.04215 |
| 52 | KOM2 | 1.8 | -75.7814 | 50.12799 | -2.8139E-15 | 5.911058E-16 | -27.289 |
| 52 | KOM2 | 2.7 | -75.7814 | 71.87055 | -5.4471E-15 | 4.308582E-15 | -82.188 |
| 52 | KOM2 | 3.6 | -75.7814 | 93.61311 | -8.0803E-15 | 1.039591E-14 | -156.66 |



LAMPIRAN 4

- Tegangan ijin beton

Saat transfer kekuatan beton baru mencapai 70%

$$f'_{ci} = 70\% \cdot f'_c = 0,70 \cdot 41 = 28,7 \text{ MPa}$$

$$\text{Saat transfer : } f_{ci} = 0,60 \cdot f'_{ci} = 0,60 \cdot 28,7 = 17,22 \text{ Mpa}$$

$$f_{ti} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \cdot \sqrt{28,7} = 1,34 \text{ MPa}$$

$$\text{Saat layan } f_{cs} = 0,45 \cdot f'_{ci} = 0,45 \cdot 28,7 = 12,915 \text{ MPa}$$

$$f_{ts} = 0,50 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,50 \cdot \sqrt{28,7} = 2,68 \text{ Mpa}$$

- Tegangan dipusat beton (cgc)

$$f_{cent} = f_{ti} - \frac{c}{h} (f_{ti} - f_{ci}) = 1,34 - \frac{1}{2} (1,34 - 17,22)$$

$$= -7,51 \text{ Mpa}$$

- Gaya Prategang awal

$$P_o = A_c | f_{cent} |$$

$$= 160000 | -7,51 | = 1201000 \text{ N} = 1201 \text{ kN}$$

- Luas Tendon

Tegangan ijin tendon sesaat setelah transfer:

$$= 0,65 \cdot f_{pu} = 0,65 \cdot 1862 = 1211 \text{ MPa}$$

$$A_{ps} = \frac{P_o}{0,65 \cdot f_{pu}} = \frac{1201000 \text{ N}}{1211 \text{ MPa}} = 987 \text{ mm}^2$$

- Tegangan efektif pada tendon f_{pe}

$$\text{Dengan : } P_o = 1201 \text{ kN}$$

$$\text{Kehilangan gaya prategang} = 15 \% = 0,15$$

$$R = 1 - \text{kehilangan gaya prategang}$$

$$= 1 - 0,15 = 0,85$$