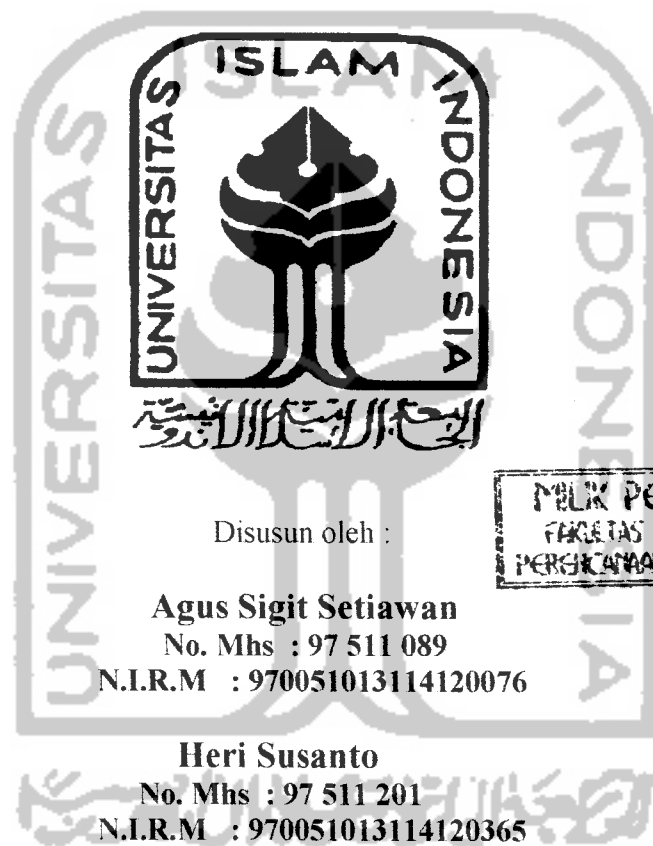


**TUGAS AKHIR**

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

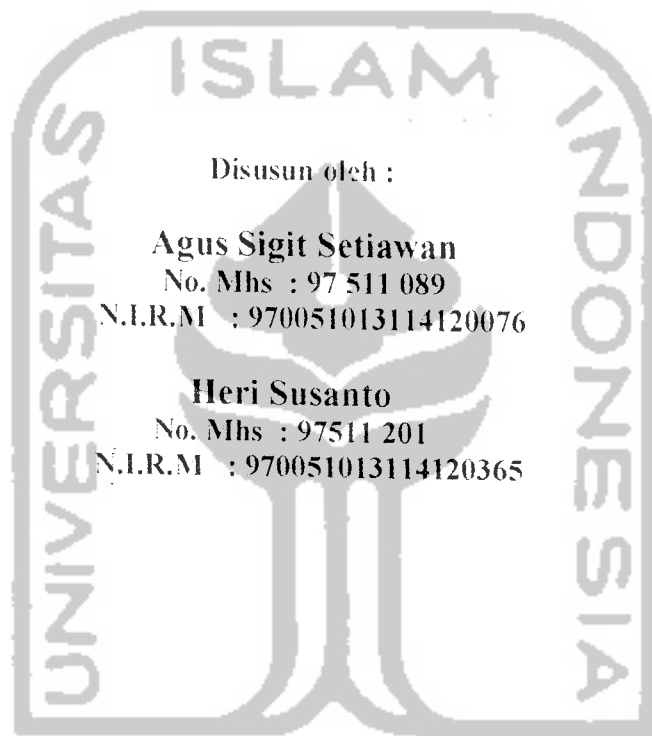


**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**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 almarhumah ....do'a-koe slalu untukmoe. Mba' Susi-Mas Risma terima kasih slama ini telah memberi segalanya di djogja dan support-nya .....nanti akoe pasti makan. Elin ...thank you. Ponakankoe Philia ...rajin belajar biar jadi orang pinter dan sukses .....jangan 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-pendadaran .....matur 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 puusiing, 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 Bodoh .....kalian 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... tetaplak 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; Yuda .....belajar yaaa.. biar pinter; Yoe' yang slalu nanya kabar TA-koe.....; ReeSka yang slalu bilang udah selesai belon mas TA-moe, Daru .....makasih 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; Wiwi .....Makasih 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 yaaaaaaaaaaaaa.....

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.

*"Belajariah dari kegagalan, dan berusaha terus pasti kita bisa menyelesaikannya"*

Seluruh jagad raya .....akoe 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 terselesainya 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-pendadaran .....matur 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 ajaaaa; 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 slalu 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 selam 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
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Batasan Masalah .....	3
1.3. Rumusan Masalah .....	4
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	5
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
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
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>100</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>101</b>



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, mm<sup>2</sup>.
- $A_n$  = luas netto penampang beton, mm<sup>2</sup>.
- $A_{ps}$  = luas tulangan prategang pada daerah tarik, mm<sup>2</sup>.
- $A'_{ps}$  = luas tulangan prategang pada daerah tekan, mm<sup>2</sup>.
- $A_{st}$  = luas total tulangan prategang pada kolom, mm<sup>2</sup>.
- $A_t$  = luas penampang transformasi, mm<sup>2</sup>.
- $A_v$  = luas sengkang, mm<sup>2</sup>.
- $b$  = 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.
- $\delta$  = faktor pembesar momen untuk rangka.
- $\delta_s$  = faktor pembesar momen untuk rangka yang dipengaruhi goyangan kesamping,
- $\delta_{ns}$  = faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak dipengaruhi goyangan kesamping.
- $\beta$  = rasio bentang bersiah arah memanjang terhadap arah melebar plat dua arah, atau rasio antara sisi terpanjang terhadap sisi pendek.
- $\beta_1$  = rasio reduksi tinggi blok tegangan tekan ekivalen beton.
- $\beta_d$  = 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  $P_i$ .
- $\alpha$  = perubahan sudut total dari profil tendin pascatarik dari ujung angkur ketitik x.

$\alpha, \beta, \gamma$  = konstanta puntir (torsi).

$\psi$  = faktor kekangan ujung kolom.

$\psi_A$  = faktor kekangan ujung atas kolom.

$\psi_B$  = faktor kekangan ujung bawah kolom.

$\psi_m$  = nilai  $\psi$  rata-rata pada kedua ujung batang tekan.

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan.

$\epsilon_{ce}$  = regangan tekan merata pada beban akibat prategang efektif.

$\epsilon_{cu}$  = regangan pada serat terluar dari beton pada kekuatan nominal.

$\epsilon_{pe}$  = regangan pada baja prategang akibat tegangan efektif  $f_{pe}$ .

$\epsilon_{ps}$  = regangan pada prategang.

$\epsilon_s$  = regangan pada baja.

$\epsilon_y$  = 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 400 mm 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 memperhitungkan kekuatan lebih tinggi daripada struktur lainnya (*"strong column - weak beam"*). Kolom itu sendiri dapat diklasifikasikan menjadi tiga berdasar panjangnya, yaitu:

1. kolom pendek (*shorter column*),
2. kolom sedang,
3. kolom panjang (*longer 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:

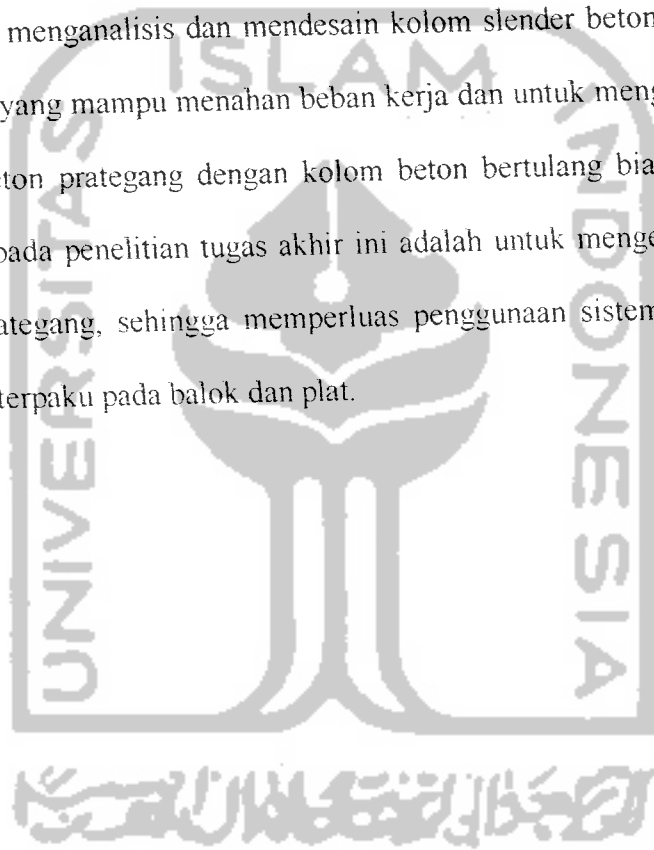
1. bagaimana mendesain kolom slender beton prategang yang mampu menahan beban uniaksial (akibat beban gravitasi, akibat beban gravitasi dan beban gempa),



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 terpaku 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 Felik 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 coloumn*)

Kolom-kolom pendek (*non-slender coloumn*) 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 coloumn*)

Kolom-kolom panjang (*slender coloumn*) 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 ditegangkan. 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 terikat (*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 terikat (*unbonded tendon*)

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

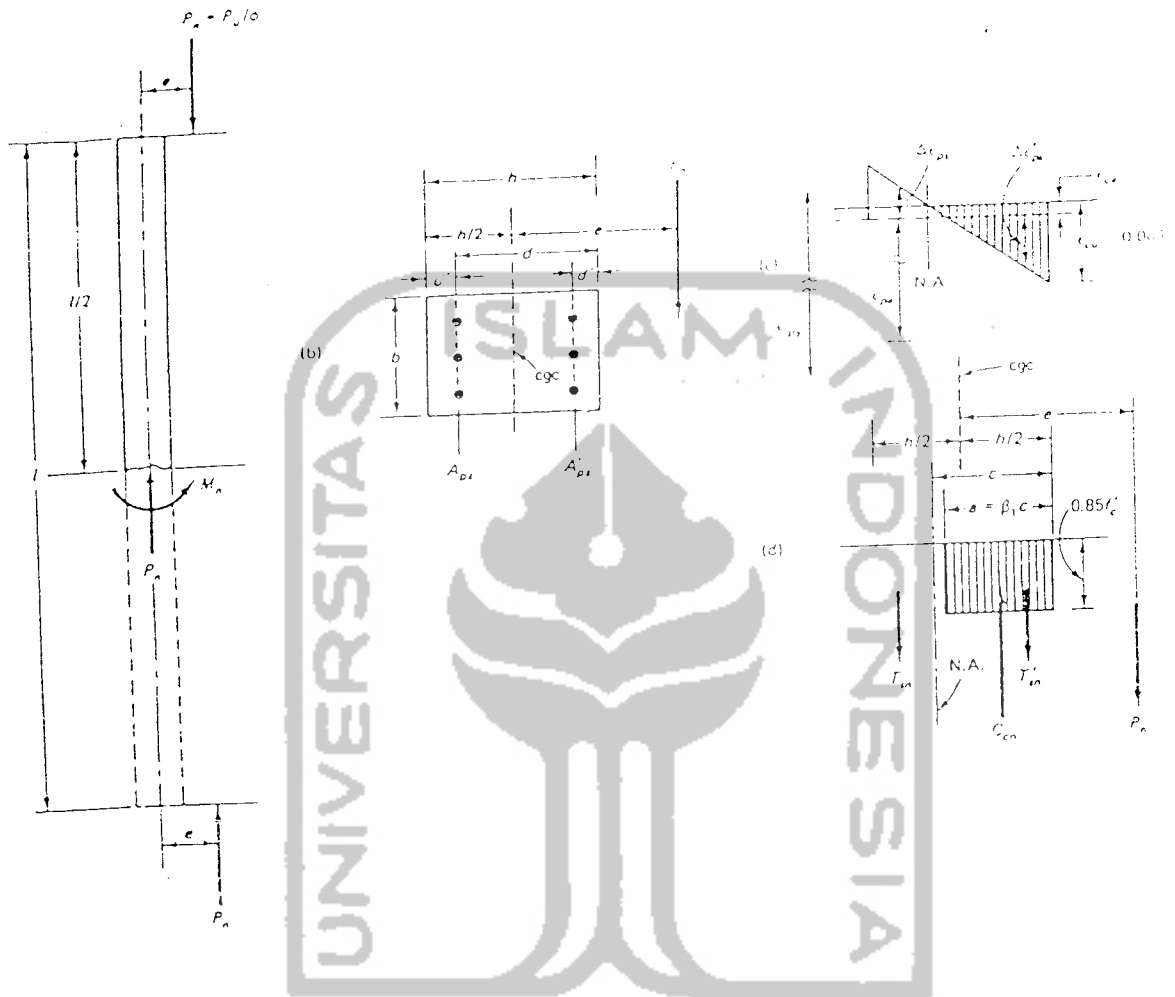
Dalam hal ini, penampang yang umum digunakan dilapangan ada dua bentuk yaitu segiempat dan lingkaran disajikan dalam gambar 3.1. Sementara penampang yang ditinjau dalam tugas akhir ini adalah bentuk segiempat.



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

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

Untuk bagian tulangan tarik

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

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

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 :

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

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 :

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

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  $\phi$  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  $\phi$  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

$\phi$ , 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  $\phi$ .

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  $\phi$  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  $\phi$  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  $\phi P_n$  yang semakin kecil dan lebih kecil daripada  $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ , maka faktor reduksi kekuatan  $\phi$

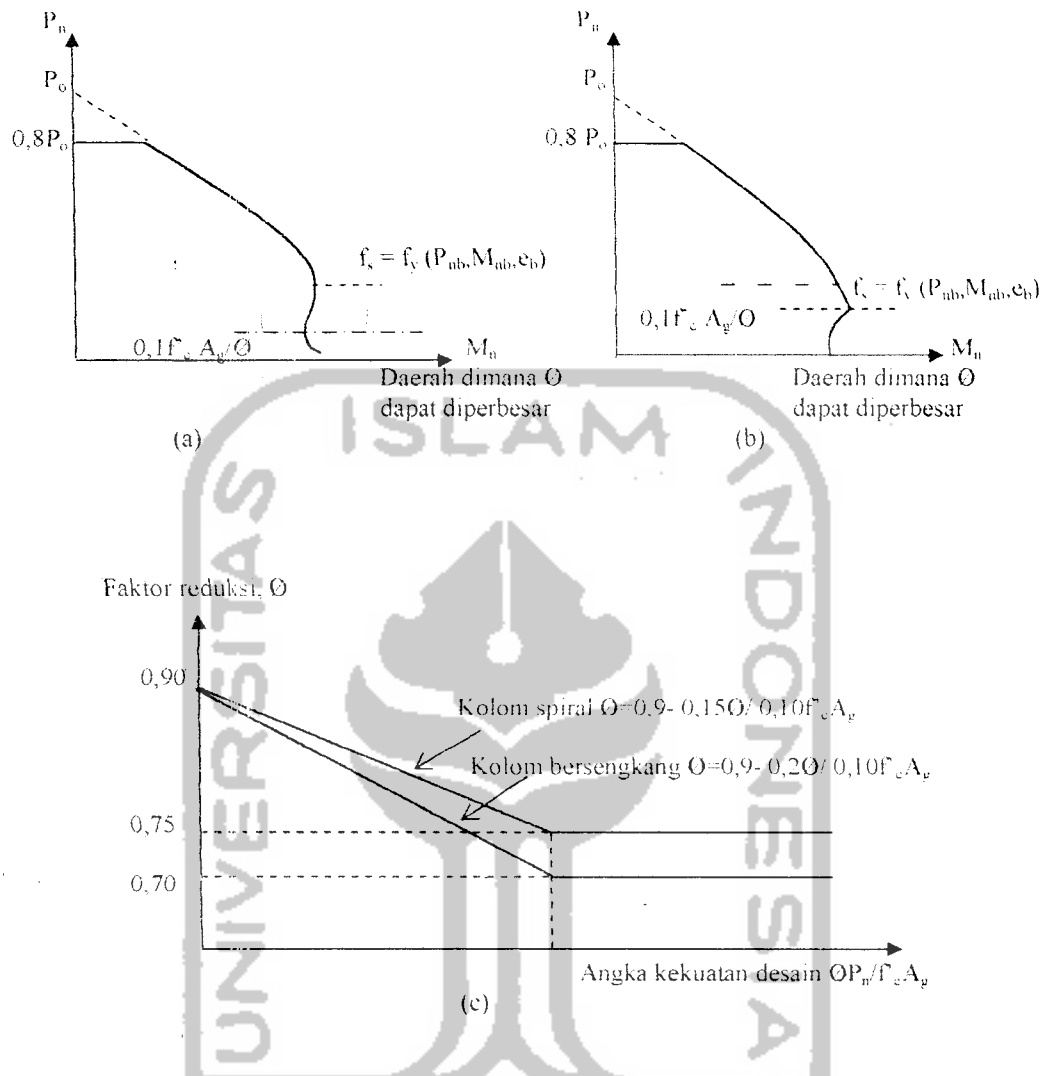
bertambah dari 0,7 ke 0,8 untuk kolom sengkang biasa dan 0,75 ke 0,8 untuk kolom bersengkang spiral. Untuk kasus-kasus dimana  $P_{nb}$  lebih kecil dari  $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$ , maka harga  $\phi$  juga bertambah apabila beban  $P_u < P_{ub}$  atau  $\phi P_n < \phi P_{nb}$  seperti yang diperlihatkan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

Nilai  $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$  dipilih oleh peraturan ACI sebagai beban aksial rencana  $\phi P_n$  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  $\phi$  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  $\phi$  boleh ditingkatkan berdasarkan peraturan berikut: untuk komponen struktur dengan  $f_y$  tidak melampaui 400 MPa, dengan tulangan simetris dan dengan  $(h-d''-ds) / h$  tidak kurang dari 0,65,  $\phi$  boleh ditingkatkan secara linier menjadi 0,8 untuk nilai  $\phi P_n$  yang berkurang dari nilai  $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$  ke nol. Sedangkan untuk komponen struktur beton yang lain,  $\phi$  boleh ditingkatkan secara linier menjadi 0,8 untuk keadaan dimana  $\phi P_n$  berkurang dari nilai terkecil antara  $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$  dan  $\phi P_n$  ke nol.

Persamaan berikut ini memberikan variasi nilai  $\phi$  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  $\phi$  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  $P_u = O \cdot P_{nb}$

Pada persamaan ini, apabila  $O \cdot P_{nb}$  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)

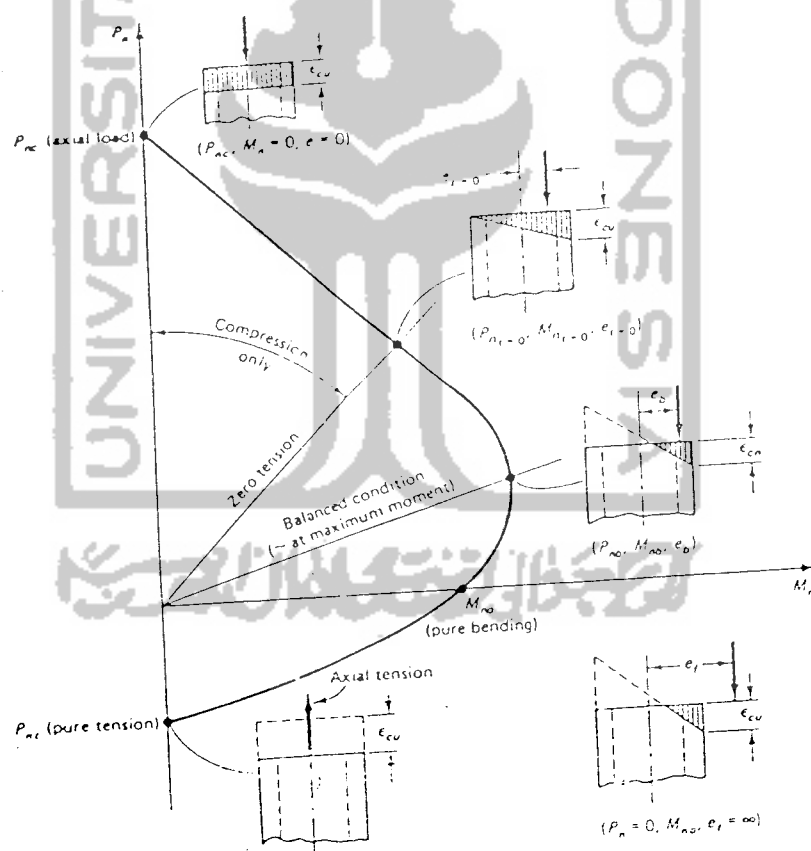
Kolom yang dibebani oleh beban dengan suatu eksentrisitas tertentu, ekuivalen dengan suatu struktur yang dibebani secara kombinasi dari beban aksial dan momen lentur. Pada suatu penampang kolom, jumlah kombinasi kekuatan dalam menerima beban aksial dan momen lentur tidak terhingga banyaknya.

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,

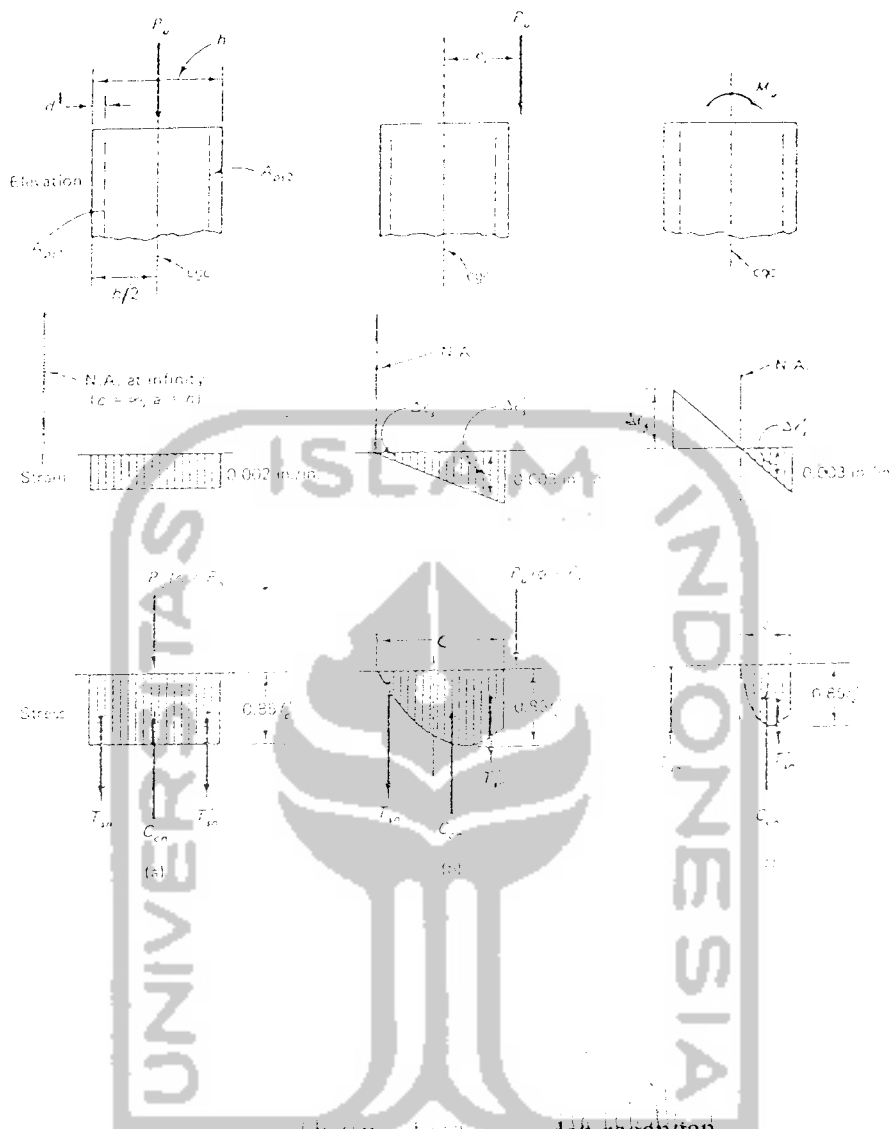
2. distribusi tegangan pada bagian tekan berbentuk parabolik dan digantikan dalam analisis dan desain diekuivalenkan dengan segi-empat,
3. diagram tegangan-regangan pada beton dan penegangan baja diketahui,
4. regangan luluh pada beton akibat kombinasi momen dan beban aksial adalah  $\epsilon_c = 0,003$  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

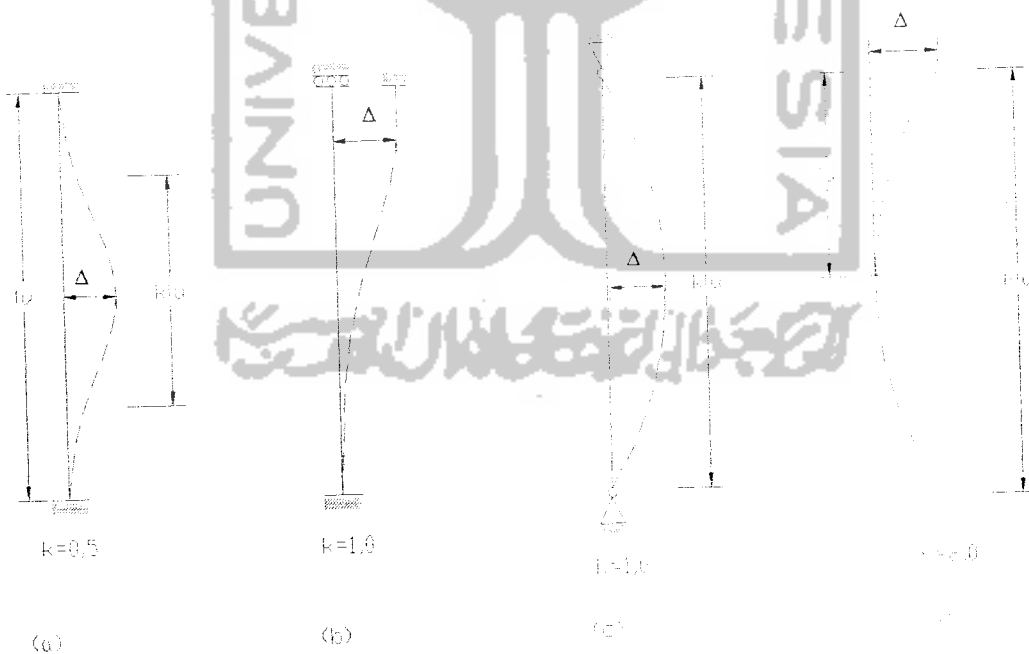
Panjang efektif  $k l_u$  digunakan sebagai panjang modifikasi kolom untuk memperhitungkan dukungan akhir yang bukan sendi.  $k l_u$  menunjukkan panjang kolom ujung sendi ekuivalen yang mempunyai beban tekuk Euler yang sama dengan kolom yang ditinjau.

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

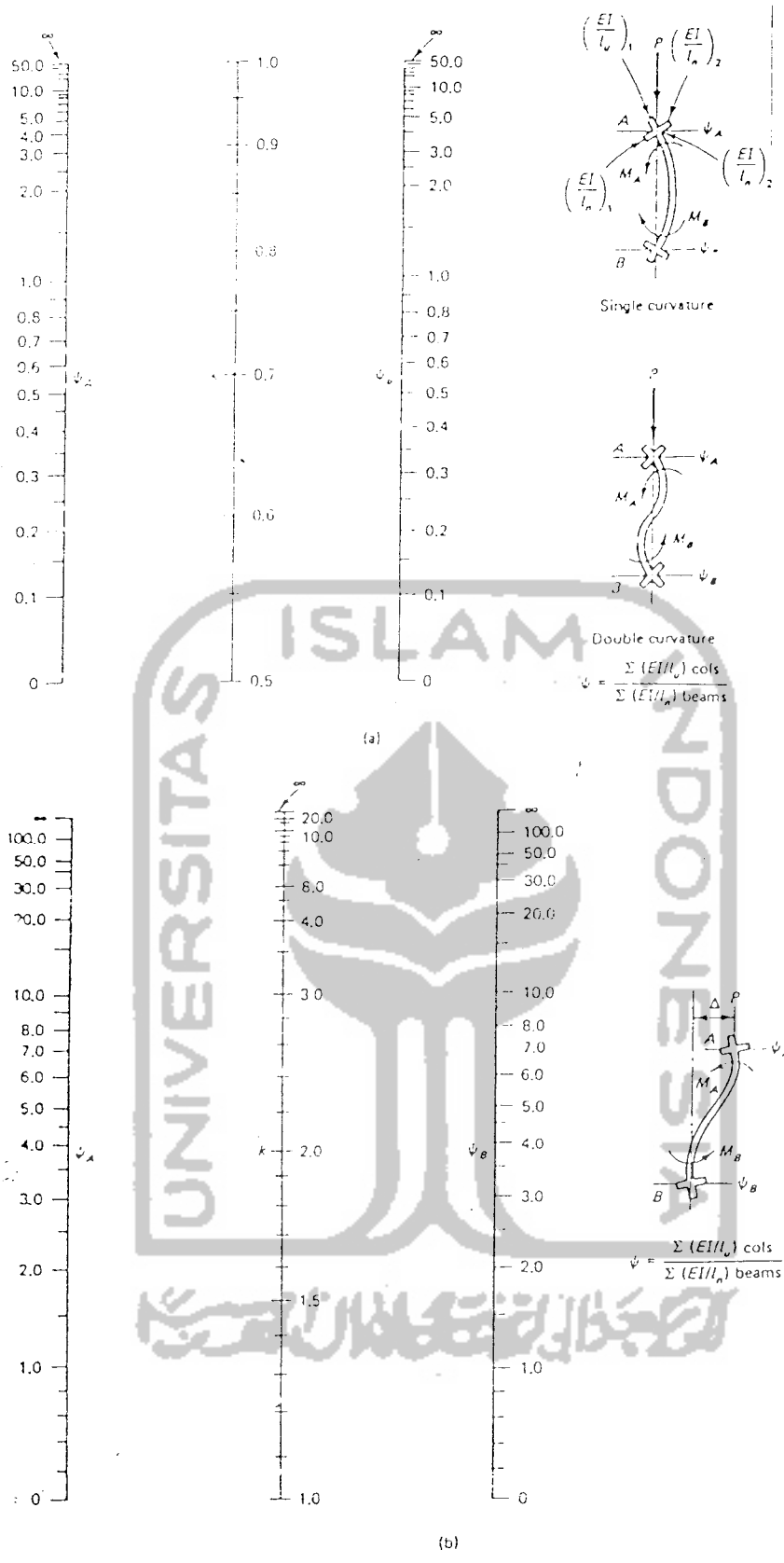
1. dukungan kolom keduanya berupa sendi dan tidak ada gaya lateral  $k=1,0$ ;
2. dukungan kolom keduanya berupa jepit  $k=0,5$ ;
3. dukungan yang satu jepit dan satunya bebas  $k=2,0$ ;
4. dukungan kolom keduanya berupa jepit dan ada gaya lateral  $k=1,0$ .

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.



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  $\psi_A$  dan  $\psi_B$  adalah harga-harga dari  $\psi$  pada kedua ujung kolom dan  $\psi_{\min}$  adalah yang terkecil dari kedua nilai tersebut.  $\psi$  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  $\psi_m$  adalah nilai  $\psi$  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  $\psi$  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  $\psi$  harus diambil sebesar 10 untuk ujung yang dalam analisis diasumsikan sendi (Wang, 1985).

Jari-jari girasi  $r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$  dapat diambil sebesar  $r = 0,3 \cdot h$  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  $\delta$  (*magnification factor*). Faktor pembesar dikontrol oleh momen yang diperbesar  $\delta M_1$  dan  $\delta M_2$  yang bekerja

pada ujung satu dan dua. Metode analisis ini didasarkan atas momen yang diperbesar yang dinyatakan sebagai:

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2 = \delta_{ns} \cdot M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \quad \dots \dots \dots (3.24)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot L_n)^2} \quad \dots \dots \dots (3.25)$$

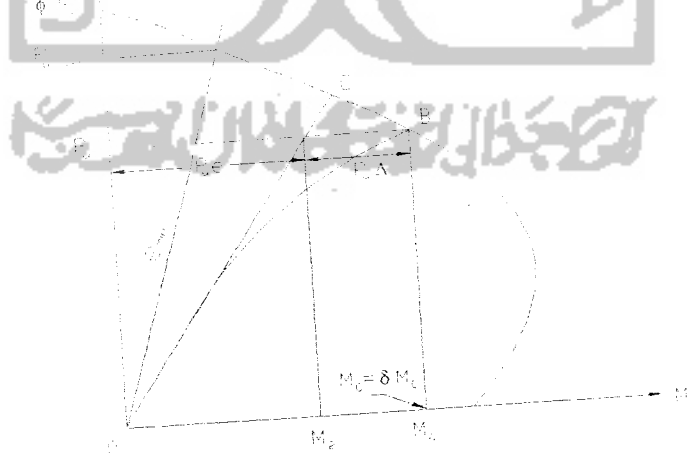
dengan  $P_c$  adalah gaya tekuk Euler dan nilai  $EI$  diberikan sebagai berikut:

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g / 2.5}{1 + \beta_d} \quad \dots \dots \dots (3.26)$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \quad \dots \dots \dots (3.27)$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad \dots \dots \dots (3.28)$$

$$\beta_d = \frac{\text{momen beban mati rencana}}{\text{momen total rencana}} = \frac{1.2 \cdot M_D}{1.2 \cdot M_D + 1.6 \cdot M_L} \leq 1.0$$



Gambar 3.8 Diagram interaksi pembesaran momen-beban

### 3.5.1 Momen pembesaran pada portal tidak bergoyang

Pengaruh kelangsingan dapat diabaikan jika:

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

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

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

Dengan,

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

$C_m$  = 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:

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

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

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

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

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

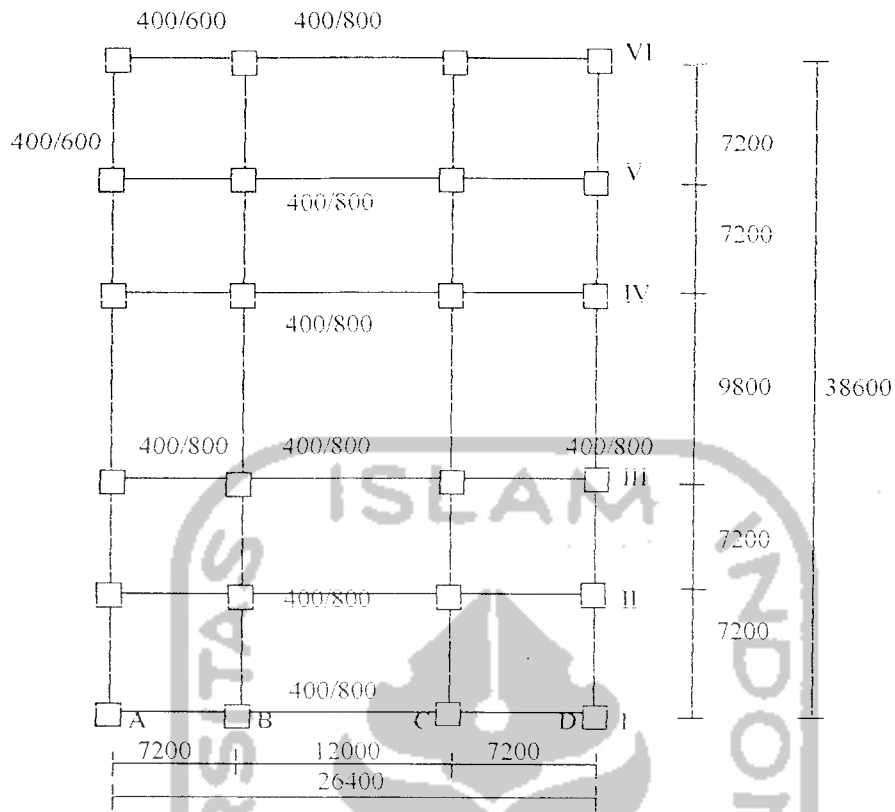
### ANALISIS DAN DESAIN

#### 4.1 Umum

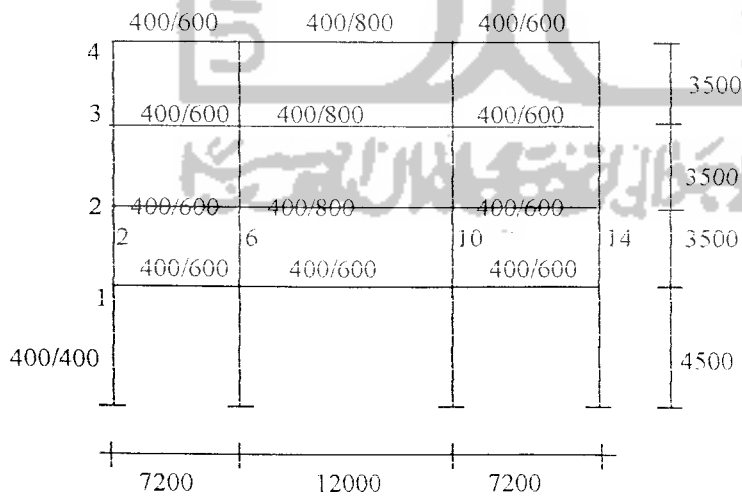
Persyaratan umum portal beton prategang yang akan dianalisis meliputi jenis dan lokasi bangunan, tipe pembebanan, mutu atau kualitas bahan struktur yang diperlukan serta denah dan dimensi elemen utama struktur portal. Jenis bangunan yang akan dianalisis adalah bangunan perkantoran (gedung registrasi 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)	$= ((6 \cdot (7,2+7,2)) + (4 \cdot (7,2,4))) \cdot 0,4 \cdot 0,48 \cdot 24$	$= 928,973 \text{ kN}$
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	$= 26,4 \cdot 38,6 \cdot 0,18$	$= 183,427 \text{ kN}$
		<hr/>
		$W_m = 9392,729 \text{ kN}$

###### 2) Beban hidup

##### a) $q$ sendiri atap = $1 \text{ kN/m}^2$

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

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= W_1 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \\ &= 9759,583 + 2(15600,992) + 16920,872 = 57882,439 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Waktu getar bangunan (T)

Dengan rumus empiris:

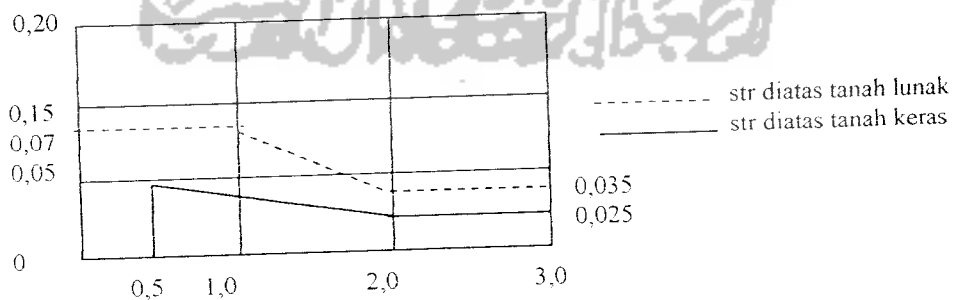
$$T = 0,06 H^{3/4}$$

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

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

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 horizontal 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 horizontal 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 horizontal total akibat gempa sepanjang tinggi gedung arah II tiap portal.

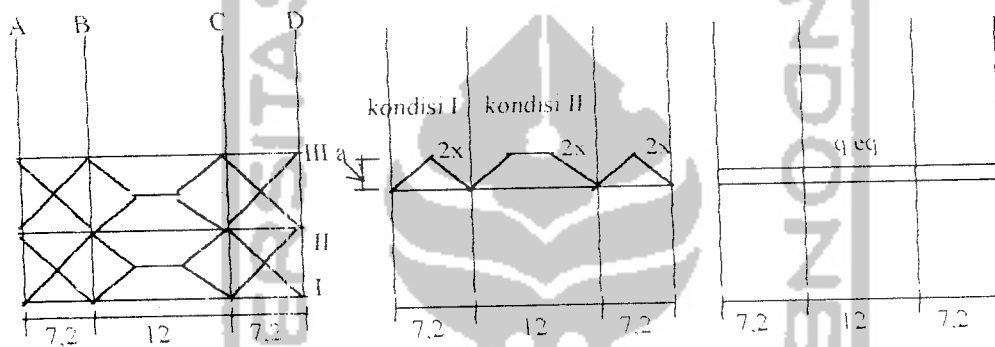
Tabel 4.1 Distribusi gaya geser akibat gempa dalam arah as 2

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

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

$$a = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot q \cdot 7,2 = 3,6q$$

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

##### a. Beban gravitasi pada balok lantai lantai atap

###### 1) Beban mati untuk tiap m<sup>2</sup>

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 m<sup>2</sup>

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 m<sup>2</sup>

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 m<sup>2</sup>

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

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  $= 1 \cdot 16 \cdot 4,8 \cdot 0,05 = 3,840 \text{ kN/m'}$

---


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

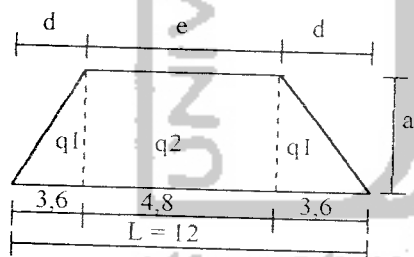
2) Beban hidup untuk tiap m'

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

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

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

2. Kondisi II



Gambar 4.5 Jenis pembebanan trapesium

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

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

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

Mmax 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 m<sup>2</sup>

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 m<sup>2</sup>

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

koefisien reduksi = 0,6

Beban hidup akibat atap q =  $1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 6,336 = 3,802 \text{ kN/m}^2$

b) akibat air

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

W air =  $0,2 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 6,336 = 0,760 \text{ kN/m}^2$

Jadi beban hidup  $W_h = 3,802 + 0,760 = 4,562 \text{ kN/m}^2$

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

1) Beban mati untuk tiap m<sup>2</sup>

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 m<sup>2</sup>

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

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

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

c. Beban gravitasi pada balok lantai I

1) Beban mati untuk tiap m<sup>2</sup>

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

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

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

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

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

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

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

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

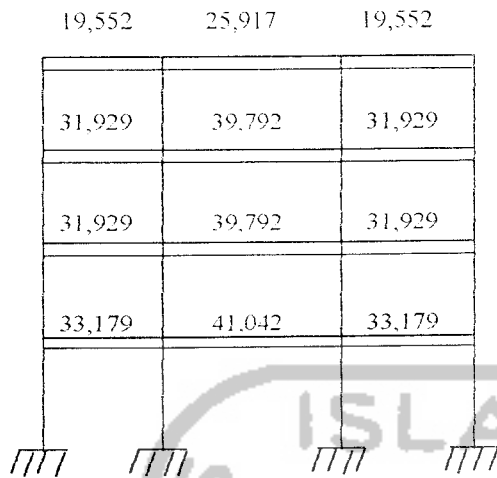
3) Beban hidup untuk tiap m<sup>2</sup>

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

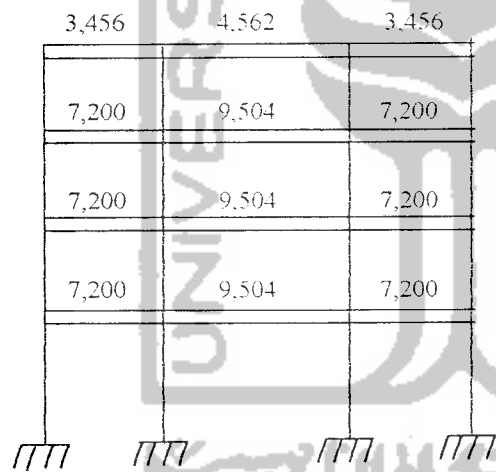
$$\text{koefisien reduksi} = 0,6$$

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

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<sup>2</sup>)



Gambar 4.7 Beban hidup ekuivalen portal II (kN/m<sup>2</sup>)

### 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  $f_{py} = 1793$  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 pembesaran  $\delta_s$  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  $\psi$  yang terjadi pada kolom adalah:

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

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

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  $P_n$ - $M_n$

$$\beta = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$$

$$= 0,85 - 0,008(41 - 30) = 0,762$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$= 0,762 \cdot 220 = 167,64 \text{ mm}$$

$$C_{en} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$$

$$= 0,85 \cdot 41 \cdot 400 \cdot 167,64$$

$$= 2335902 \text{ N} = 2336,902 \text{ kN}$$

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

$$= 493,5 \cdot 200.000 \cdot \left[ 0,0052 - 0,003 \left( \frac{220 - 2 \cdot 25}{220} \right) + 0,0002 \right]$$

$$= 304176 \text{ N} = 304,176 \text{ kN}$$

$$T_{sn} = A_{ps} \cdot E_{ps} \cdot \left[ \epsilon_{pe} + \epsilon_{cu} \left( \frac{d - c}{c} \right) + \epsilon_{cc} \right]$$

$$= 493,5 \cdot 200.000 \cdot \left[ 0,0052 + 0,003 \left( \frac{350 - 220}{220} \right) + 0,0002 \right]$$

$$= 707948 \text{ N} = 707,948 \text{ kN}$$

$$P_{nb} = C_{en} - T'_{sn} - T_{sn}$$

$$= 2336,902 - 304,176 - 707,948$$

$$= 1324,778 \text{ kN} < P_n \text{ yang diperlukan} = 2182,643 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

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

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

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

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

$c = 291 \text{ mm}$ .

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

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

$$\begin{aligned}
 T_{sn} &= A_{ps} \cdot E_{ps} \left[ \varepsilon_{pe} - \varepsilon_{cu} \left( \frac{c-d'}{c} \right) + \varepsilon_{ce} \right] \\
 &= 493,5 \cdot 200.000 \left[ 0,0052 - 0,003 \left( \frac{291-50}{291} \right) + 0,0002 \right] \\
 &= 287756 \text{ N} = 287,756 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_{cn} \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) - T'_{sn} \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_{sn} \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 3091084 \left( \frac{400}{2} - \frac{221,742}{2} \right) - 287756 \left( \frac{400}{2} - 50 \right) + 593014 \left( 350 - \frac{400}{2} \right) \\
 &= 321293926 \text{ N-mm} = 321,294 \text{ kN-m} > 300,611 \text{ kN-m, O.K} \\
 e &= \frac{321,294 \text{ KN-m}}{2182,643 \text{ KN}} = 145 \text{ mm} \approx e \text{ nyata} = 138 \text{ mm OK}
 \end{aligned}$$

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  $\delta_{ns}$ . Apabila dianggap dimensi kolom luar 2 sama dengan kolom dalam 6 maka :

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

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

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

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

$$= 9728 \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

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

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 mm x 400 mm dengan lima strand tujuh kawat 270 K diameter 12,7 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:

- gaya aksial akibat beban gravitasi  $= N_{gk} = 984,167 + 216,779$

$$= 1200,946 \text{ kN}$$

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

$$N_{u,k} \text{ atas} = 1,05 ( N_{gk} + 4/K \cdot N_{Ek} )$$

$$= 1,05 ( 1200,946 + (4/1,4 \cdot 68,7548) )$$

$$= 1467,2577 \text{ kN}$$

$$N_{u,k} \text{ bawah} = 1,05 ( N_{gk} - 4/K \cdot N_{Ek} )$$

$$= 1,05 ( 1200,946 - (4/1,4 \cdot 68,7548) )$$

$$= 1054,729 \text{ kN}$$

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:

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

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:

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

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

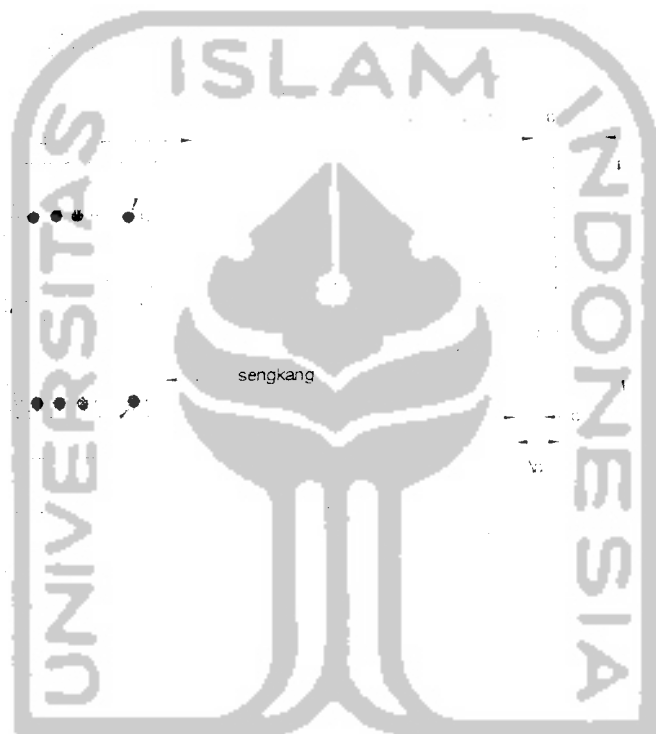
$$\begin{aligned} V_s &= \left[ \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \right] \\ &= \left[ \frac{235,64 \cdot 400 \cdot 350}{24} \right] \\ &= 1374,567 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser aktual yang mampu ditahan oleh sengkang dan beton adalah

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

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

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



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 ½ ” 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:

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

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

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

$$f_{ps} = 1,655 \text{ Mpa}$$

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

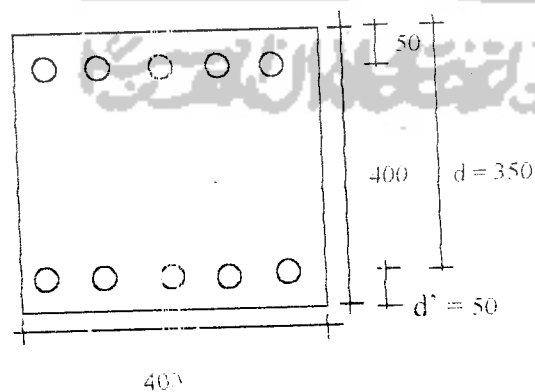
$$\epsilon_{ce} = 0,0002$$

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

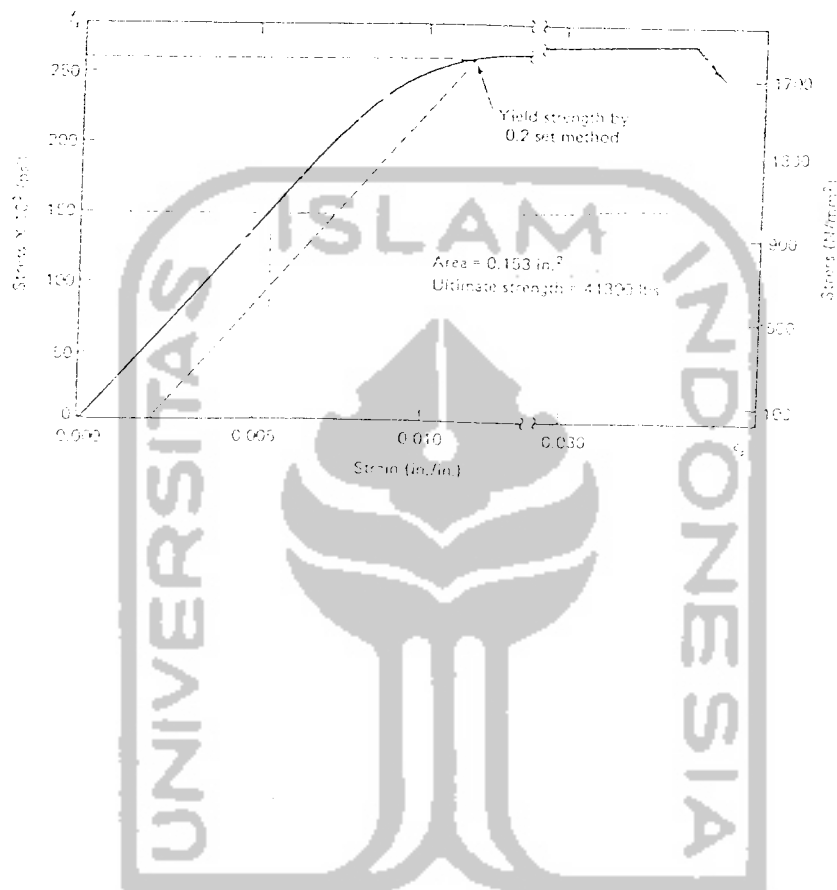
1. Tekan aksial murni (*pure compression*).  $M_u = 0$ ,  $C = \infty$

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

diameter tulangan  $\phi = 12,7$  mm



Gambar 4.9. Penampang melintang kolom



Gambar 4.10. Diagram tegangan regangan untuk tendon D 1/2" grade 270 K

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

$$\text{Luas } D \frac{1}{2}'' = 98,7 \text{ mm}^2$$

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

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

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

Gaya pada kabel prategang sisi tarik

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

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

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

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:

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_{cn} \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) - T'_{sn} \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_{sn} \left( d - \frac{h}{2} \right) \\
 &= 4248912 \left( \frac{400}{2} - \frac{304,8}{2} \right) - 273892 \left( \frac{400}{2} - 50 \right) + 495967 \left( 350 - \frac{400}{2} \right) \\
 &= 235559461 \text{ N-mm} \\
 e &= \frac{M_n}{P_n} = \frac{235559461}{3479053} = 68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

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

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

$$M_{tt} = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

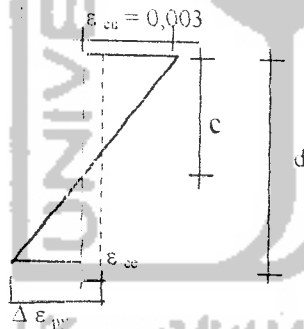
$$= 493,5 \cdot 1655 \cdot \left( 350 - \frac{59}{2} \right)$$

$$= 261765971 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{261765971}{0} = \infty$$

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

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



Gambar 4.11. Distribusi regangan

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

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

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

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

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

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

Gaya pada kabel prategang sisi tarik

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

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  $e_n = 220$  adalah benar.

Pada diagram desain beban-momen ( $P_u - M_u$ ), daerah batas dimana nilai faktor reduksi kekuatan  $\phi$  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  $\phi$  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  $\phi$  untuk titik 3 dimana terjadi *pure bending*, harga  $\phi$  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  $\phi P_n$  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  $\phi P_n$  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  $\phi P_n$ , sehingga didapat:

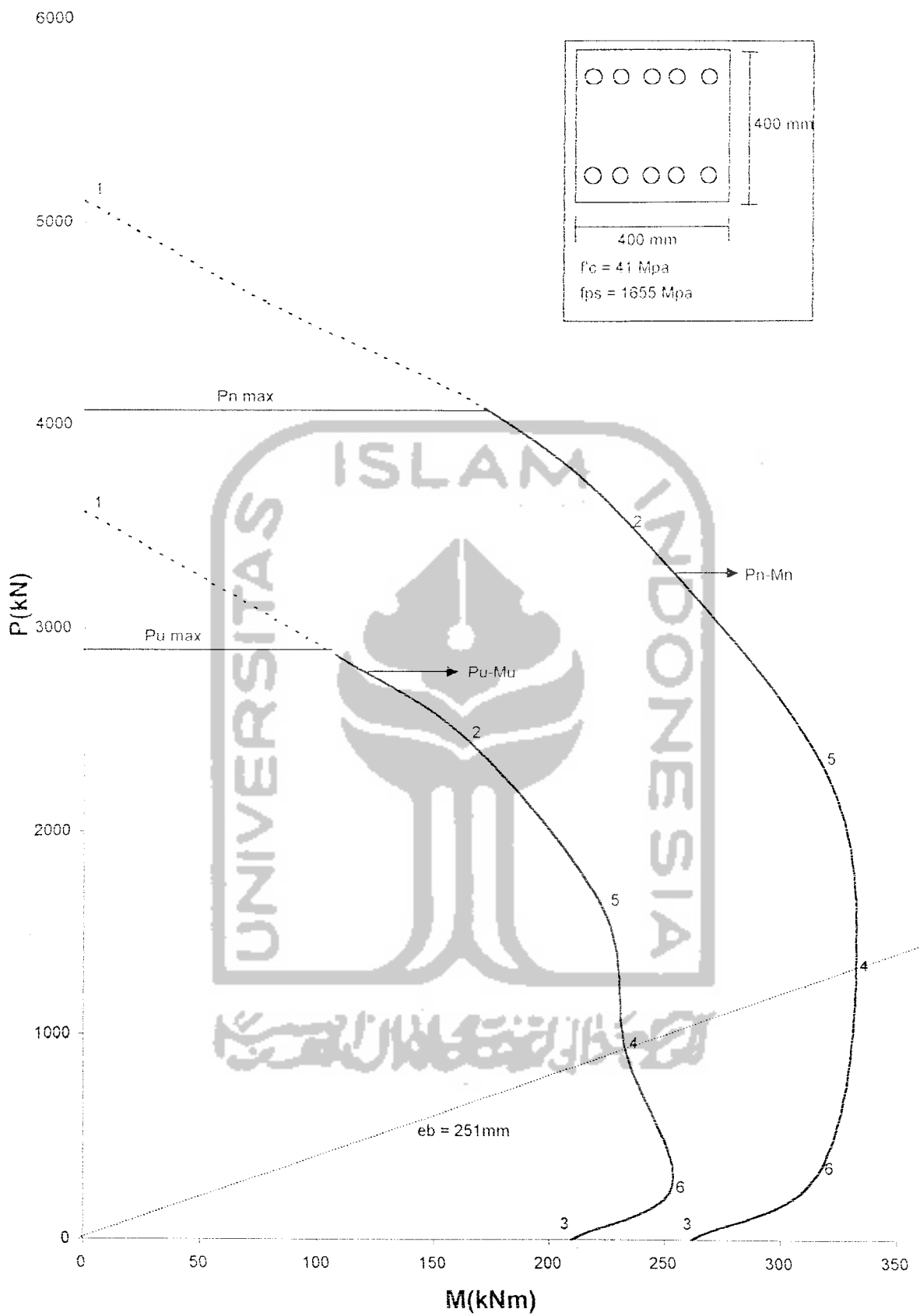
$$P_{u6} = \phi P_{n6} = 0,80 \cdot 329,98 = 263,98 \text{ kN}$$

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

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

Tabel 4.6 Koordinat dari diagram interaksi P-M kolom prategang

Titik	e mm	a mm	$P_n$ kN	$M_n$ kN-m	$\phi$	$P_u$ kN	$M_u$ kN-m	e mm
1	$\infty$	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	$\infty$



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:

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

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

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

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

$$\epsilon_y = 0,002$$

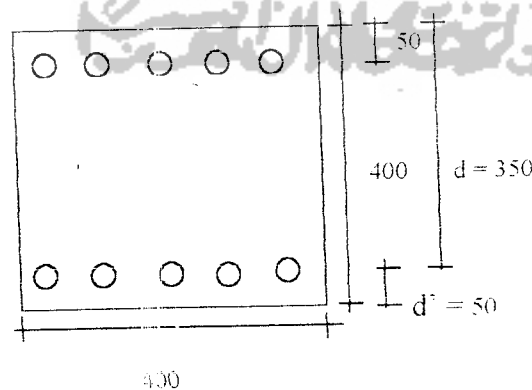
$$\epsilon_c = 0,003$$

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

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

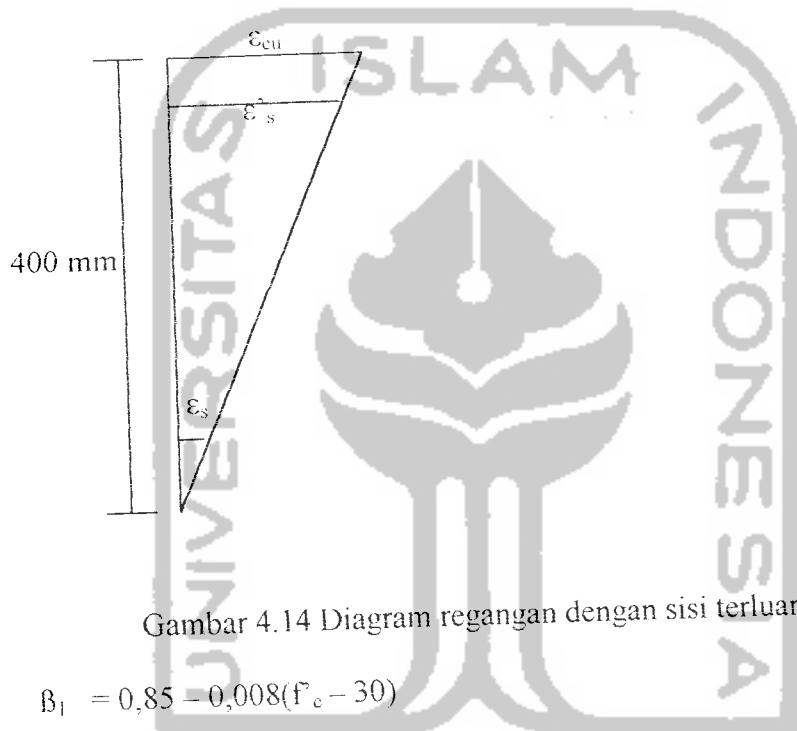


Gambar 4.13 Penampang melintang kolom

Gaya desak yang ditahan:

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

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:

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

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



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

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

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s$$

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

$A'_s$  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:

$$P_n = C_c - C_s - T_s$$

$$\approx 0$$

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

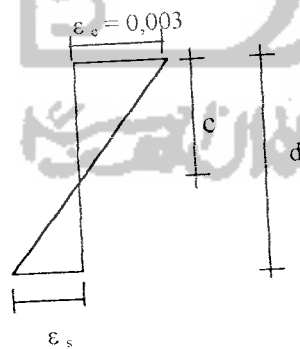
$$= 350322 \left( \frac{400}{2} - \frac{25}{2} \right) - 152808 \left( \frac{400}{2} - 50 \right) + 197400 \left( 350 - \frac{400}{2} \right)$$

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

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

#### 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

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

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

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

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:

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

$$= 0,85 \cdot 41 \cdot 160 \cdot 400 = 2230400 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s' - 0,85 \cdot f_c' \cdot A_s$$

$$= 493,5 \cdot 400 - 0,85 \cdot 41 \cdot 493,5$$

$$= 180201,525 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

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

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:

$$\varepsilon'_s = \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (150 - 50)}{150} = 0,002 = \varepsilon_y = 0,002$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (350 - 150)}{150} = 0,004 > \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja tarik leleh}$$

Gaya-gaya yang terjadi

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

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

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

Gaya yang dapat ditahan:

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

Momen yang dapat ditahan:

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

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

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

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

Cek regangan yang terjadi:

$$\varepsilon'_s = \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003 \cdot (77 - 50)}{77}$$

$$= 0,0011 < \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja desak belum leleh}$$

$$\varepsilon_s = \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} = \frac{0,003 \cdot (350 - 77)}{77}$$

$$= 0,0106 > \varepsilon_y = 0,002, \text{ baja tarik leleh}$$

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

$$= 200000 \cdot 0,0011 = 220 \text{ Mpa}$$

Gaya-gaya yang terjadi

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

$$= 0,85 \cdot 41 \cdot 58,674 \cdot 400 = 817915,56 \text{ N}$$

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

$$= 493,5 \cdot 220 = 108570 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

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

Gaya yang dapat ditahan:

$$P_{11} = C_c + C_s - T_s$$

$$= 1593342 + 108570 - 197400$$

$$= 729085,56 \text{ N} = 729,085 \text{ kN} < P_{nb} = 2213,202 \text{ kN}$$

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  $c = 330 \text{ mm} > e_b = 210 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

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

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

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

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

$$C_s = A_s' \cdot f_s$$

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

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

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

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:

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

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

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

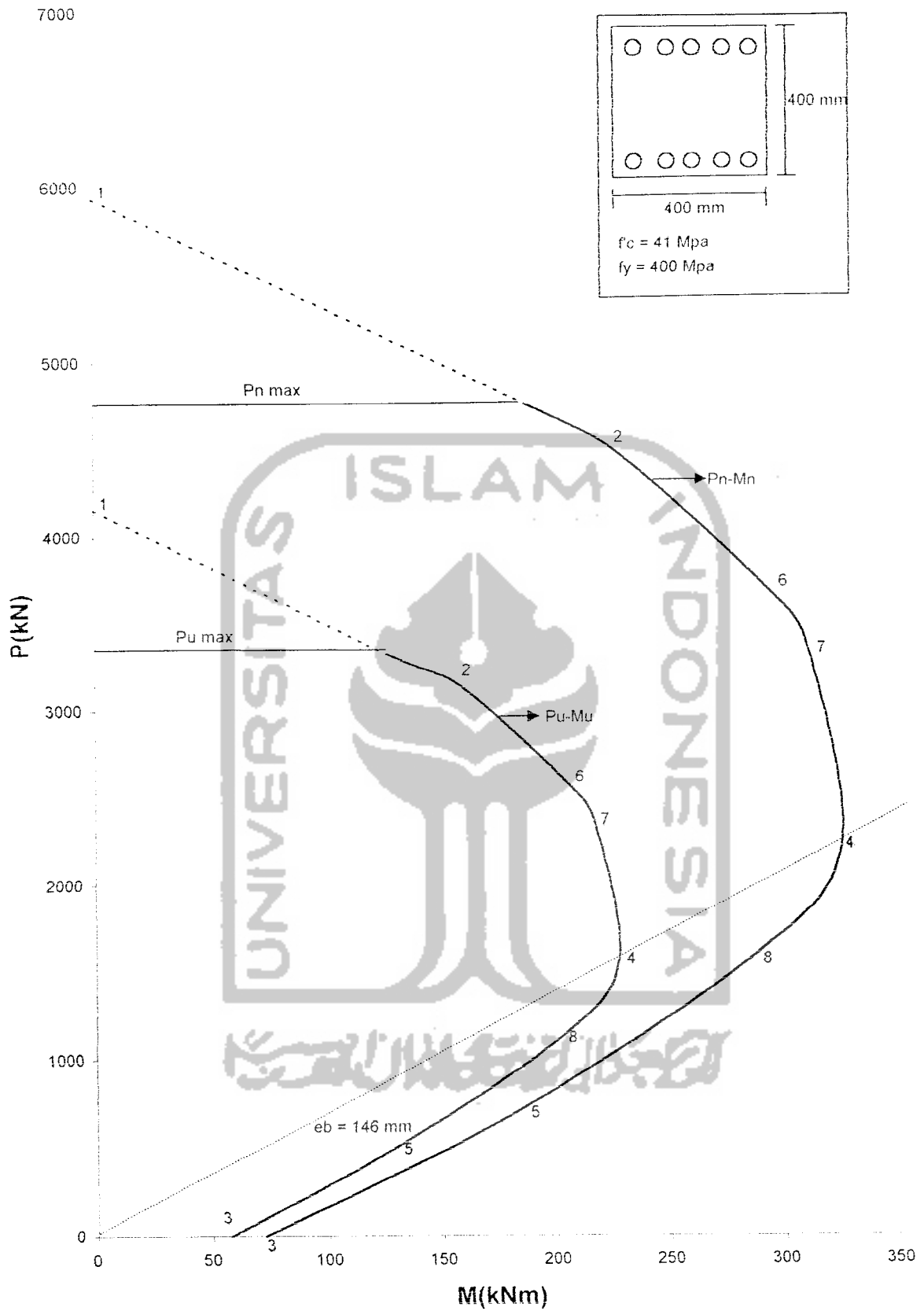
$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{292617422,7}{3684986,4} = 79 \text{ mm} < e_b = 146 \text{ mm}$$

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  $M_n = 324,288$  kN-m terletak pada kondisi *balance*, maka asumsi dari  $c_b = 210$  mm adalah benar.

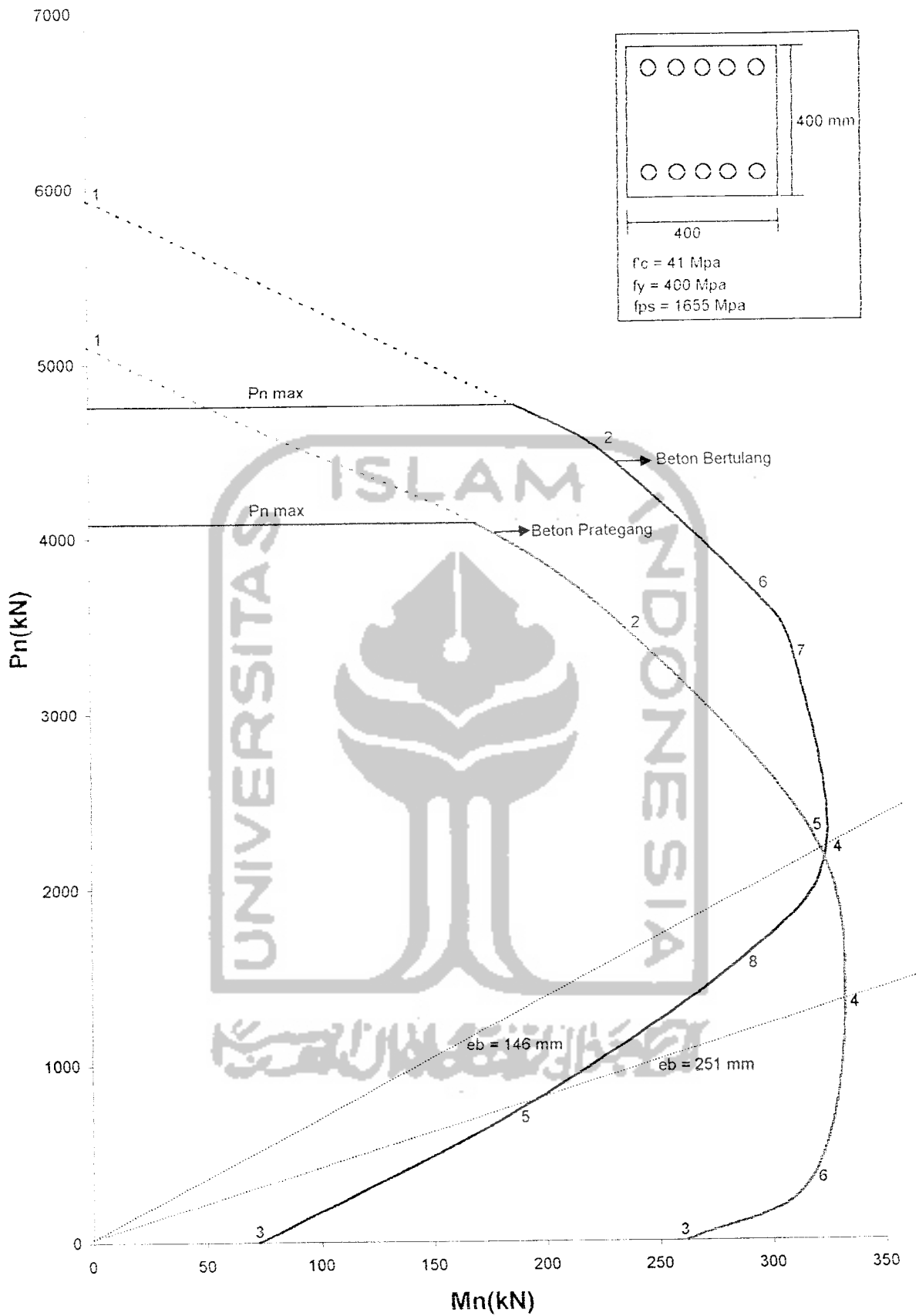
Tabel 4.7 Koordinat dari diagram interaksi P-M kolom beton bertulang biasa

Titik	c mm	a mm	$P_n$ kN	$M_n$ kN-m	$\phi$	$P_u$ kN	$M_u$ kN-m	e mm
1	$\infty$	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	$\infty$

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  $\delta_s$ , maupun portal yang tidak dipengaruhi gaya lateral  $\delta_{ns}$ . Nilai tersebut digunakan sebagai faktor pengali pada momen sehingga diperoleh momen yang diperbesar  $M_c$ . 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 <sup>4</sup>	2.133.333.333 mm <sup>4</sup>
4	$\beta_d$	0,758	0,758
5	$EI$	1,461x10 <sup>13</sup> Nmm <sup>2</sup>	1,461x10 <sup>13</sup> Nmm <sup>2</sup>
6	$I_{cr}$	6.066.666.667 mm <sup>4</sup>	6.066.666.667 mm <sup>4</sup>
7	$\psi_A$	0,2	0,33
8	$\psi_{13}$	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	$\delta_{ns}$	1,24	1,20
13	$\delta_s$	-	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 <sup>2</sup>	493,5 mm <sup>2</sup>
19	$c_b$	220 mm	220 mm
20	$\beta$	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	$\beta$	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	$M_u$ kN-m	$\phi$	$P_u$ kN	$M_u$ kN-m	e mm
1	$\infty$	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	$\infty$

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

Titik	c mm	a mm	$P_n$ kN	$M_u$ kN-m	$\phi$	$P_u$ kN	$M_u$ kN-m	e mm
1	$\infty$	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	$\infty$

### 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  $\epsilon_{pe}$  dan  $\epsilon_{ce}$ . Nilai regangan desak beton  $\epsilon_{cu}$  yang dirumuskan pada persamaan tersebut justru mempunyai tanda negatif untuk bagian desak. Dengan nilai  $\epsilon_{pe}$  dan  $\epsilon_{ce}$  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  $\phi$  yang nilainya ditingkatkan menjadi 0,8 untuk sengkang ikat pada komponen struktur prategang. Ini berbeda ketika diletakkan pada beton bertulang yang nilainya 0,9 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

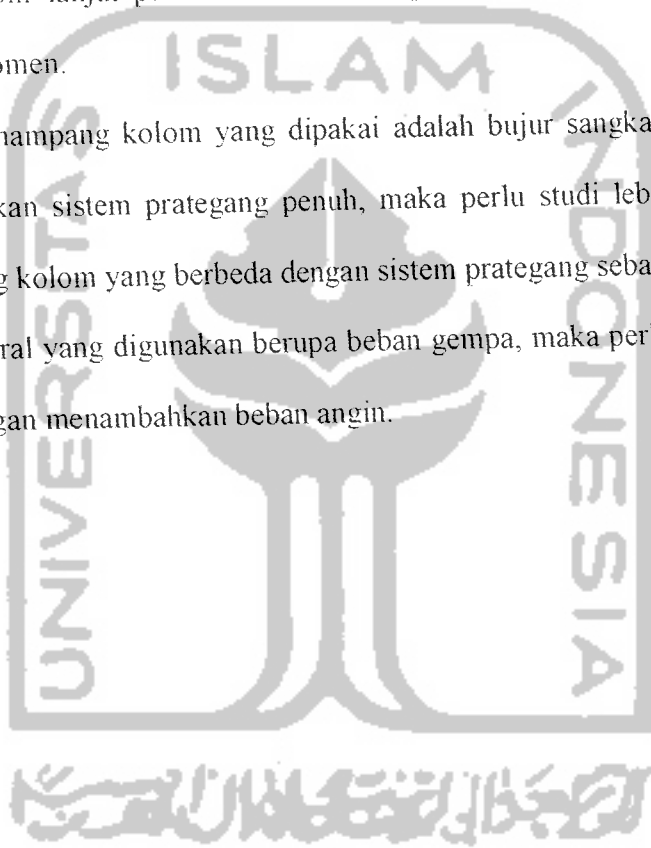
Berdasarkan analisis dan desain kolom slender prategang akibat beban uniaksial dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini:

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:

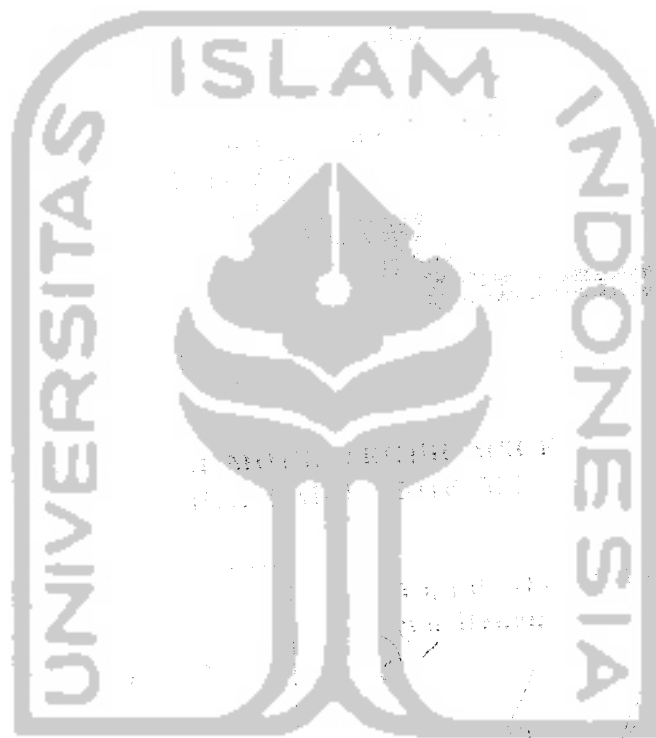
1. Karena pada tugas akhir ini berupa analisis dan desain perhitungan kolom slender prategang dilakukan dengan cara uniaksial momen, maka perlu analisis lebih lanjut pada kolom slender prategang yang dipengaruhi oleh biaksial momen.
2. Bentuk penampang kolom yang dipakai adalah bujur sangkar / persegi 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





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

1973



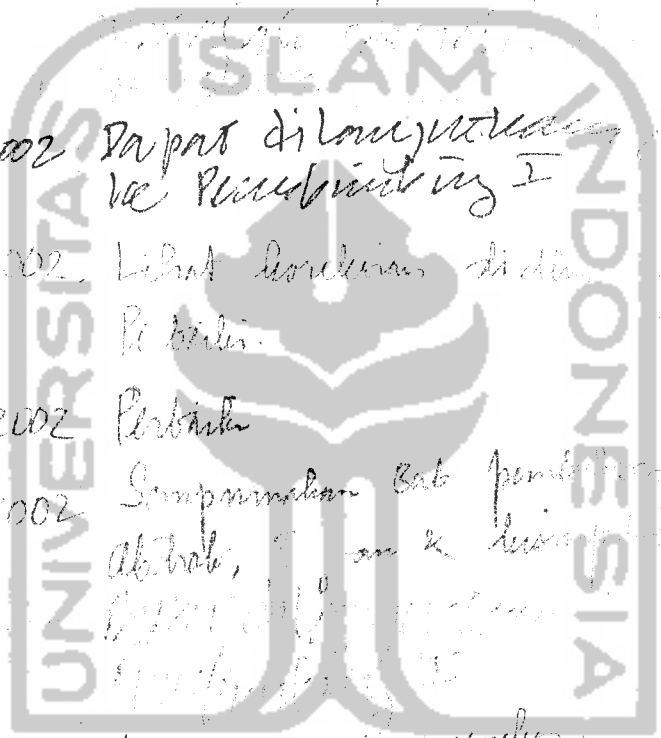
**Catatan :**

Seminar  
Adang  
Pendidikan

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

DAFTAR KONSULTASI

NO	TANGGAL	LOKASI KONSULTASI	REVISI
1	11/9/2001	Konsultasi dg DP II	
2	13/10/2001	...	
3	17/11/2001	...	
3	26/9/2001	Perbaikan sedikit Siapkan revisi proposal	
4	14/10/2001	...	
5	17/10/2001	...	
6	08/01/2002	Dapat di lanjutkan ke Perencanaan I	
7	10/01/2002	Libat koordinasi di dlm Perbaikan	
8	24/01/2002	Perbaikan	
9	11/02/2002	Sempurnakan Bab pendahuluan Abstrak, dan & lain-lain	
10	01/03/2002	...	
11	04/03/2002	lengkap & sempurna	
12	08/03/2002	Siapkan sedang ke	



# LAMPIRAN



## LAMPIRAN 1

### Prosedur Analisis Metode Penelitian

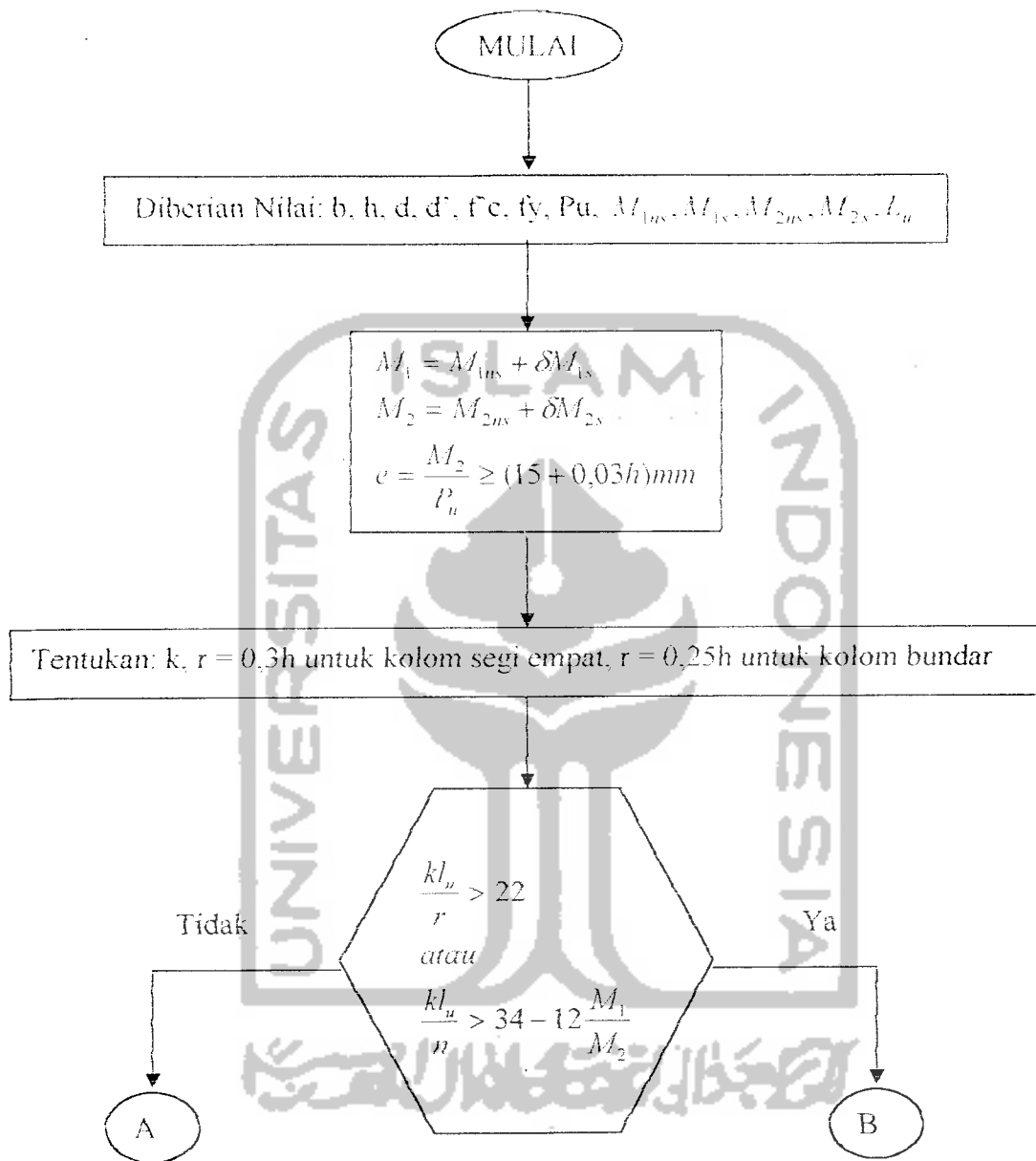
Metode operational dan diagram alur perencanaan untuk desain kolom panjang

1. Tentukan apakah rangka (frame) yang dianalisis (desain) mempunyai goyangan yang cukup besar. Apabila demikian, gunakan faktor pembesar (*magnification factor*)  $\delta_{ns}$  dan  $\delta_s$ . 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  $\psi_A$  dan  $\psi_B$  dengan menggunakan persamaan 3.20. Hitung  $k$  dengan menggunakan grafik Jackson dan Moreland, hitung  $kl/r$  dan tentukan apakah termasuk kolom langsing atautkah 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 ekuivalen 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. <sup>2</sup> )	Berat Nominal (lb/ft)	Diameter Nominal (mm)	Luas Nominal (mm <sup>2</sup> )	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
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
Batang prategang (terdeformasi)	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)	$\frac{5}{8}$	0,28	0,98	15,875	180,6	1,458
	$\frac{3}{4}$	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=MATI 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 HIMP 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



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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	0
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

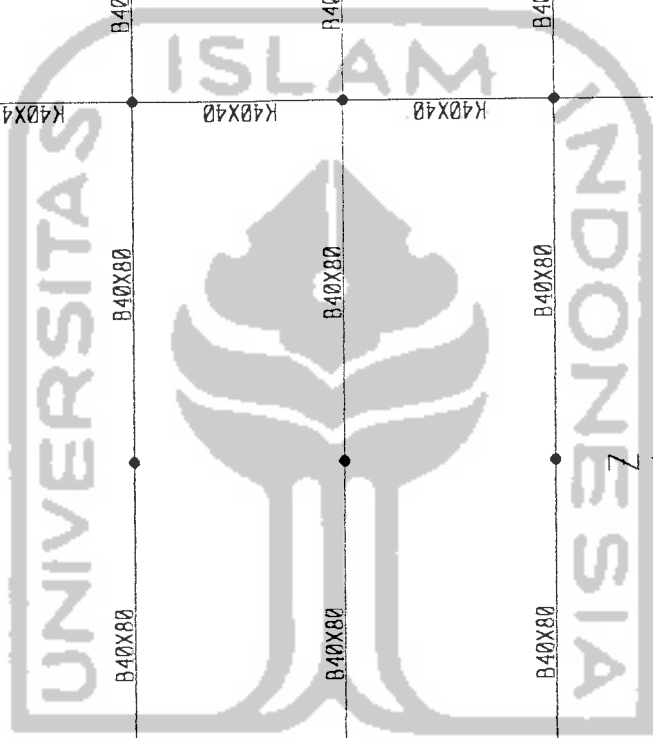
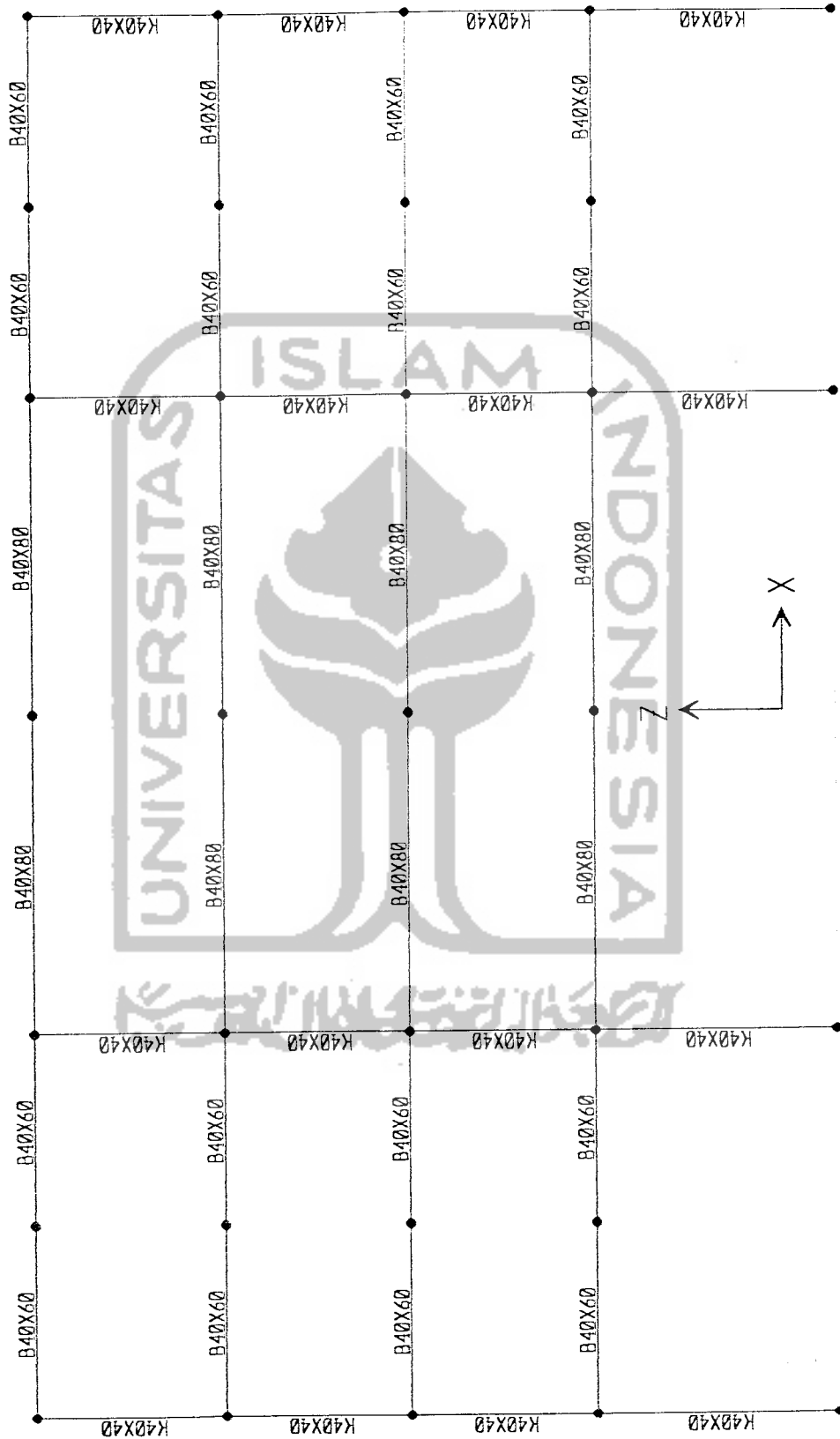
FRAME	LOAD	STATION	P	V2	V3	M2	M3
45	GEMPA	0	-73.4158	155.2838	-8.7169E-15	-2.71345E-14	492.126
45	GEMPA	0.9	-73.4158	155.2838	-8.7169E-15	-1.92893E-14	352.371
45	GEMPA	1.8	-73.4158	155.2838	-8.7169E-15	-1.14441E-14	212.615
45	GEMPA	2.7	-73.4158	155.2838	-8.7169E-15	-3.59885E-15	72.8599
45	GEMPA	3.6	-73.4158	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)

$$f_{cent} = f_{ti} - \frac{e}{h} (f_{ti} - f_{ci}) = 1,34 - \frac{1}{2} (1,34 - 17,22) \\ = -7,51 \text{ Mpa}$$

- 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  $f_{pe}$

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

Kehilangan gaya prategang = 15 % = 0,15

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

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