TUGAS AKHIR

STUDI PUSTAKA
ANALISIS KAPASITAS TAMPANG KOLOM BULAT DENGAN METODE ELASTIS DAN ULTIMIT

(STUDI PERBANDINGAN SK-SNI 1991 DENGAN PBI 1971)

Disusun Oleh :

1. Januarto — No. Mhsw. : 89 310 162
2. Zaenal Arifin — No. Mhsw. : 90 310 162

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

1995

TUGAS AKHIR

STUDI PUSTAKA
ANALISIS KAPASITAS TAMPANG KOLOM BULAT DENGAN METODE ELASTIS DAN ULTIMIT

(STUDI PERBANDINGAN SK-SNI 1991 DENGAN PBI 1971)

Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka Memperoleh Derajat Sarjana Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

MILIK PERPUSTAKAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UII YOGYA

Disusun Oleh :

1. Januarto No. Mhsw. : 89 310 162
2. Zaenal Arifin No. Mhsw. : 90 310 162

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

1995

PRAKATA

Assalaamu ´alaikum Wr.Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT., yang senantiasa melimpahkan taufiq dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan jenjang strata-1 pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna, masih adanya kekurangan dan beberapa masalah yang belum dapat dibahas, karena keterbatasan waktu dan kemampuan.

Selama penyelesaian Tugas Akhir ini, banyak diperoleh bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu perkenankanlah ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada:

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS, Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta,
3. Bapak Ir. Mochammad Teguh, MSCE, selaku dosen pembimbing I,
4. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku dosen pembimbing II,
5. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT. menerima amal baik mereka dan sekaligus Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua yang memerlukan.

Jazaakumullaah khairan ´katsiira,

Wassalaamu ´alikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Desember 1994

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
PRAKATA	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Kajian Pustaka	5
I.2.1. Metode Elastis	5
I.2.2. Metode Ultimit	6
I.2.3. Analisa Kapasitas Tampang	7
I.2.4. Analisa Perhitungan angka aman	8
I.3. Rumusan Masalah	9
I.4. Tujuan	9
I.5. Manfaat/Faedah	10
I.6. Keaslian Studi	10
I.7. Batasan Masalah	10
I.8. Metodologi	11
I.9. Sistematika Pembahasan	11

BAB II. STUDI PUSTAKA..... 13
II.1. Umum..... 13
II.2. Kolom..... 14
II.3. Metode Elastis..... 16
II.3.1. Faktor-Faktor yang mempengaruhi keamanan struktur..... 16
II.3.2. Analisis perhitungan kolom beton menurut PBI 1971... 17
II.4. Metode ultimit..... 24
II.4.1. Provisi keamanan..... 24
II.4.2. Pengaruh panjang kolom... 28
II.4.3. Dasar-dasar yang mempengaruhi metode ultimit... 30
BAB III. ANALISIS KAPASITAS TAMPANG..... 33
III.1. Konsep dasar..... 33
III.2. Analisis kapasitas tampang..... 33
III.2.1. Tinjauan secara ultimit. 34
III.2.2. Tinjauan secara elastis. 40
BAB IV. PROGRAM KOMPUTER ANALISIS KAPASITAS TAMPANG KOLOM BULAT..... 44
IV.1. Pendahuluan..... 44
IV.2. Bagan Alir..... 44
IV.3. Program Komputer..... 57

BAB V. PEMBAHASAN..... 59
V.1. Data beban dan momen pada struk
tur..... 59
V.2. Perhitungan Analisis Kapasitas
tampang..... 61
V.2.1. Analisis dengan metode
ultimit..... 62
V.2.2. Analisis dengan metode
elastis..... 66
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN..... 94
VI.1. Kesimpulan..... 94
VI.2. Saran..... 96
DAFTAR PUSTAKA..... 97
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. : Penampang kolom bulat dengan tulangan simetris..... 22

Gambar 2.2. : Koefisien panjang tekuk..... 29

Gambar 2.3. : Skematis dari diagram- $\sigma - \epsilon$ baja..... 30

Gambar 2.4. : Skematis dari diagram $\sigma - \epsilon$ beton..... 31

Gambar 3.1. : Kolom persegi,distribusi regangan-regangan dan gaya yang terjadi..... 34

Gambar 3.2. : Penampang aktual,persegi ekivalen,distribusi tegangan-regangan dan gaya-gaya..... 36

Gambar 3.3. : Letak titik berat tembereng... 40

Gambar 3.4. : Penampang aktual bulat,distribusi tegangan dan gaya-gaya dalam keadaan imbang 41

Gambar 3.8. : Diagram interaksi P - M..... 43

Gambar 5.1. : Data dan pembebanan pada struktur portal..... 61

Gambar 5.2. : Penampang aktual, persegi ekivalen,distribusi regangan-tegangan dan gaya..... 62

Gambar 5.3. : Penampang akivalen, distribusi tegangan-regangan dan gaya-gaya yang bekerja..... 64

Gambar 5.4. : Penampang aktual, distribusi tegangan dan gaya..... 66

Gambar 5.5. : Luasan beton yang terdesak.... 67

Gambar 5.6. : Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengnan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 6ø32 mm (Ast=1,16% Ap).. 71

Gambar 5.7. : Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 6ø32mm (Ast=1,16% Ap).. 72

Gambar 5.8. : Diagram interaksi antara Pn - Mn. Jumlah tulangan 6ø32 mm (Ast=1,16% Ap)..... 73

Gambar 5.9. : Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 10ø32mm (Ast=1,16% Ap).. 75

Gambar 5.10. : Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 10ø32mm (Ast=2,42% Ap).. 76

Gambar 5.11. : Diagram interaksi antara-
Pn - Mn. Jumlah tulangan
10ø32 mm (Ast=2,42% Ap)..... 77
Gambar 5.12. : Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 14ø32mm (Ast=3,4% Ap).. 79
Gambar 5.13. : Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 14ø32mm (Ast=3,4% Ap). 80
Gambar 5.14. : Diagram interaksi antara-
Pn - Mn. Jumlah tulangan
14ø32 mm (Ast=3,4% Ap)..... 81
Gambar 5.15. : Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 20ø32 mm
(Ast=4,851% Ap)..... 83
Gambar 5.16. : Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 20ø32mm (Ast=4,85% Ap) 84
Gambar 5.17. : Diagram interaksi antara
Pn - Mn. Jumlah tulangan
20ø32 mm (Ast=4,85,4% Ap).. 85

Gambar 5.18. : Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengnan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 24ø32 mm (Ast=5,8% Ap)..... 87

Gambar 5.19. : Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 24ø32mm (Ast=5,8% Ap). 88

Gambar 5.20. : Diagram interaksi antara Pn - Mn. Jumlah tulangan 24ø32 mm (Ast=5,8% Ap)..... 89

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 5.1. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 1,16% A_p... 70

Tabel 5.2. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 2,42% A_p... 74

Tabel 5.3. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 3,40% A_p.. 78

Tabel 5.4. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 4,85% A_p.. 82

Tabel 5.5. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 5,80% A_p.. 86

Tabel 5.6. Pertambahan beban dan momen..... 91

Tabel 5.7. Pertambahan beban dan momen dengan metode ultimit ke metode elastis..... 93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. "Listing program" komputer perhitungan analisis kapasitas tampang kolom bulat secara elastis.

Lampiran 2. "Listing program" komputer perhitungan analisis kapasitas tampang kolom bulat secara ultimit.

Lampiran 3. Perhitungan mekanika.

Lampiran 4. Notasi.

sehingga dapat dikatakan pembaharuan ini benar-benar upaya dalam meningkatkan kesejahteraan manusia.

Secara garis besar PBI 1971 memuat beberapa hal yang penting, antara lain sebagai berikut ini.

1. Didalam perhitungan dengan menggunakan metode elastis atau kerja, yaitu suatu struktur direncanakan sedemikian rupa hingga tegangan yang diakibatkan oleh aksi dari beban layan (beban kerja) dan yang dihitung secara mekanika dari unsur-unsur yang elastis, tidak melampaui suatu nilai ijin yang ditetapkan terlebih dahulu. Tegangan ijin bahan yang ditetapkan jauh lebih kecil dari tegangan leleh bahan, dan perbandingan tegangan terhadap regangan masih dianggap linear.
2. Memperkenalkan perhitungan dengan metode kuat ultimit, yang meskipun belum merupakan keharusan untuk dipakai hanya sebagai metode alternatif.
3. Memperkenalkan dasar-dasar perhitungan bangunan tahan gempa.

Sedangkan pada SK-SNI 1991 memberikan ketentuan-ketentuan baru, antara lain yang terpenting adalah sebagai berikut ini.

1. Perhitungan perencanaan lebih diutamakan serta diarahkan untuk menggunakan metode kuat ultimit,

sedangkan cara elastis masih tetap dicantumkan sebagai alternatif.

2. Konsep hitungan keamanan dan beban yang lebih realistis dihubungkan dengan tingkat daktilitas struktur.
3. Menggunakan satuan SI dan notasi yang disesuaikan dengan yang dipakai di kalangan international.
4. Ketentuan-ketentuan detail penulangan yang lebih rinci dan mendalam untuk beberapa komponen struktur.

Sudah barang tentu, pembaharuan-pembaharuan teknologi dan prilaku struktur beton tidak berhenti pada SK-SNI 1991 saja, akan tetapi terus berkembang sesuai dengan perkembangan jaman. Standar dan peraturan yang mengatur tata cara perencanaan juga akan menyesuaikan yang apabila sudah ada yang menggantikan.

Dalam perhitungan metode elastis [illegible] de tegangan kerja, digunak[illegible] yang variabelnya tergantung dari mutu be[illegible] dan menitik-beratkan pada kondisi beban kerja, seda[illegible]kan perhitungan dengan metode ultimit memungkinkan [illegible] nilihan faktor beban yang lebih rasional dan memanfa[illegible]an kekuatan yang tersedia (*reserver of strength*) yang [illegible]akibatkan oleh distribusi tegangan yang lebih efis[illegible] karena adanya reganan inelastis.

Kolom adalah batang lentur tekan vertikal yang memikul beban dari balok. Kolom inilah yang meneruskan beban-

beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui struktur fondasi. Karena kolom merupakan struktur yang mengalami lentur dan tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan (*collapse*) lantai yang bersangkutan, dan juga keruntuhan batas total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya.

Keruntuhan struktur kolom merupakan hal yang sangat berarti ditinjau dari segi ekonomi maupun segi manusiawi. Keruntuhan kolom mengakibatkan keruntuhan total pada bangunan yang mengakibatkan perbaikan kembali dengan biaya besar, terlebih bila jatuh korban jiwa. Oleh karena itu, dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi daripada yang dilakukan pada struktur balok, agar terjadi kondisi kolom kuat balok lemah (*strong column-weak beam*). Pada kondisi demikian sendi-sendi plastis akan terjadi pada struktur balok, sehingga keruntuhan tidak akan terjadi pada struktur kolom, melainkan pada balok. Dengan demikian keruntuhan vertikal yang menyebabkan runtuhnya bangunan secara total dapat terhindari. Selain pemikiran di atas, kekuatan cadangan pada perencanaan kolom harus lebih tinggi dari struktur horizontal, karena keruntuhan tekan vertikal tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas.

Berdasarkan dari uraian diatas dirasa perlu untuk

mengangkat sebuah topik dalam Tugas Akhir berjudul "Analisis Kapasitas Tampang Kolom Bulat". Analisis ini dilakukan dengan metode elastis dan ultimit, untuk mengetahui tingkat efisiensi dari kedua metode tersebut.

I.2. Kajian Pustaka

I.2.1. Metode elastis

Metode elastis adalah metode yang beranggapan bahwa tegangan leleh (pada baja) di dalam konstruksi merupakan keadaan yang sangat berbahaya, kemudian ditetapkan nilai tegangan-tegangan tertentu yang tidak boleh dilampaui dalam konstruksi (tegangan-tegangan ijin). Tegangan ijin ini diambil cukup rendah di bawah tegangan leleh, dan diperoleh dengan membagi nilai tegangan leleh dengan koefisien keamanan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keamanan struktur dalam metode elastis diuraikan lebih lanjut berikut ini.

1). Koefisien Keamanan

Koefisien keamanan adalah suatu nilai yang dipakai untuk merubah nilai tegangan leleh menjadi tegangan ijin sebagai batasan dalam tegangan perencanaan. Nilai tegangan ijin ini selalu lebih kecil dari nilai tegangan leleh, sehingga koefisien ini berfungsi sebagai pemberi keamanan pada perencanaan struktur.

2). Tegangan ijin

Tegangan ijin adalah tegangan yang menjadikan batas maksimal yang tidak boleh terlampaui dalam penentuan tegangan perencanaan. Tegangan ijin ini didapatkan dari nilai tegangan leleh bahan dibagi dengan nilai koefisien keamanan.

3). Nilai "n"

Nilai "n" adalah nilai banding modulus baja dengan modulus beton. Perbandingan ini dapat mewakili nilai tegangan baja dalam mendukung beban terhadap tegangan desak ijin beton.

I.2.2. Metode ultimit

Metode ultimit adalah metode yang menitik beratkan pada kondisi beban terfaktor yang melebihi beban kerja, yang menyebabkan keruntuhan struktur. Hubungan diagram tegangan-regangan tidak lagi menunjukkan garis linear, melainkan garis lengkung, dimulai dari garis netral sampai ke ujung tepi beton yang tertekan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keamanan struktur, adalah sebagai berikut ini.

1). Faktor beban (τ)

Faktor beban adalah faktor yang dipakai untuk menaikkan beban-beban yang diperkirakan bekerja (beban perencanaan), agar mencapai beban runtuh yang menyebabkan struktur diambang keruntuhan. Dengan dipakainya faktor beban,

berarti struktur direncanakan mampu menahan beban-beban dalam keadaan kritis, sehingga struktur dapat menyediakan keamanan yang cukup tinggi.

2). Faktor reduksi keamanan (θ)

Faktor reduksi keamanan dipakai untuk mengatasi ketidakpastian kekuatan bahan yang dipakai terhadap pembebanan. Faktor ini dipengaruhi oleh jenis beban yang bekerja pada struktur.

I.2.3. Analisa kapasitas tampang

Kekuatan suatu kolom terhadap beban dan momen riil yang dapat didukungnya dapat diketahui dengan menganalisa ulang kapasitas tampang kolom tersebut.

Dalam tugas akhir ini, analisa kapasitas tampang akan ditinjau dalam berbagai keadaan, yaitu:

1). keadaan seimbang (*balanced*),

2). keadaan patah desak (*over reinforced*),

3). keadaan patah tarik (*under reinforced*).

1). Keadaan seimbang

Pada perencanaan elastis, keadaan seimbang tercapai bila secara bersamaan tegangan desak bagian terluar beton mencapai tegangan ijin beton dan tegangan baja tarik terluar mencapai tegangan ijin baja ($\sigma'b=\bar{\sigma}'b$ dan $\sigma a=\bar{\sigma}a$).

Pada perencanaan ultimit, keadaan ini tercapai bila secara bersamaaan regangan desak beton terluar mencapai

nilai = 0,003, sedangkan regangan tarik baja terluar sama dengan regangan leleh baja ($\epsilon'c = 0,003$, $\epsilon s = \epsilon y$).

2). Keadaan patah desak (*over reinforced*)

Penampang kolom beton akan mengalami patah desak bila eksentrisitas yang terjadi lebih kecil daripada eksentrisitas dalam keadaan imbang ($e < e_b$), atau garis netralnya lebih besar daripada garis netral dalam keadaan imbang ($Cu > C_b$).

3). Keadaan patah tarik (*under reinforced*)

Penampang kolom beton akan mengalami patah tarik bila eksentrisitas yang terjadi lebih besar daripada eksentrisitas dalam keadaan imbang ($e > e_b$), atau garis netralnya lebih kecil daripada garis netral dalam keadaan imbang.

I.2.4. Analisa perhitungan angka aman

Tingkat efisiensi antara perencanaan kolom bulat antara metode elastis dan ultimit, tidak dapat langsung diketahui hanya dengan membandingkan antara nilai beban dan momen perencanaan yang didapat dari analisa kapasitas tampang. Hal ini disebabkan karena pada perencanaan metode elastis, tegangan ijin yang digunakan sebesar = 0,33 $\sigma'bk$ tanpa faktor beban, sedangkan pada perencanaan ultimit tegangan ijin yang digunakan adalah = 0,83 $\sigma'bk$ dengan faktor beban. Agar dapat menentukan tingkat efisiensi dari

kedua metode tersebut harus dicari dahulu nilai angka amannya, kemudian baru dibandingkan diantara keduanya. Perbedaan dari nilai angka aman ini menunjukkan adanya tingkat efisiensi diantara kedua metode tersebut.

Nilai angka aman (ñ) dapat dicari sebagai berikut:

$$\tilde{n} = \frac{P_{(perencanaan)}}{P_{(riil)}} \quad \text{atau}$$

$$\tilde{n} = \frac{M_{(perencanaan)}}{M_{(riil)}}$$

dengan:

P dan $M_{(perencanaan)}$ = beban perencanaan yang didapat dari hasil analisa kapasitas tampang.

P dan $M_{(riil)}$ = beban yang bekerja sesungguhnya pada kolom yang ditinjau.

I.3. Rumusan Masalah

Sejauh mana tingkat efisiensi perencanaan perhitungan kolom bulat dengan memakai metode elastis dan ultimit dengan menganalisa ulang kapasitas tampang kolom bulat yang ditinjau terhadap beban dan momen yang dapat di-dukungnya.

I.4. Tujuan

Analisis kapasitas tampang kolom bulat dilakukan guna menentukan tingkat efisiensi antara perencanaan kolom bulat dengan metode elastis dan ultimit, ditinjau terhadap kemampuan dalam mendukung beban dan momen.

1.5. Manfaat/ Faedah

Manfaat dari perbandingan perencanaan kolom bulat dengan memakai metode elastis dan ultimit antara lain sebagai berikut ini.

1. Untuk menentukan perencanaan kolom (khususnya kolom bulat) yang lebih efisien, terhadap beban dan momen yang dapat didukungnya.
2. Dengan memakai perencanaan kolom yang efisien, berarti dapat memperoleh dimensi kolom yang lebih kecil (beton maupun tulangan), sehingga lebih ekonomis dalam biaya, sekaligus dapat memanfaatkan ruang semaksimal mungkin guna menyesuaikan dengan nilai artistik yang diinginkan.

I.6. Keaslian Studi

Sepanjang yang pernah diamati belum ada para mahasiswa Teknik Sipil khususnya jenjang strata 1 yang menganalisa studi literatur mengenai tingkat efisiensi perencanaan kolom bulat antara metode elastis dan ultimit dengan

menganalisa kapasitas tampangnya.

I.7. Batasan Masalah

Batasan masalah ini dibuat agar masalah yang akan diteliti lebih terarah. Adapun batasan-batasan tersebut adalah di bawah ini.

1. Kolom yang akan dibahas adalah kolom tidak langsing (kolom pendek), penampang bulat.
2. Metode elastis adalah metode yang disarankan menurut PBI 1971, sedangkan metode ultmit adalah metode yang disarankan menurut SK-SNI 1991.
3. Yang dimaksud tingkat efisiensi adalah tingkat kemampuan dari kolom terhadap beban (P) dan momen (M) yang dapat didukungnya.
4. Tinjauan dilakukan dengan menganalisa ulang terhadap kapasitas tampang kolom dengan luas tulangan bervariasi ($1\% A_{br} < As < 6\% A_{br}$).
5. Perhitungan struktur lainnya dianggap sudah dilaksanakan.

I.8. Metodologi

1. Inventaris data/ Teori.

   Prinsip hitungan yang digunakan adalah berdasarkan teori-teori yang diajarkan di perkuliahan, serta berdasarkan literatur-literatur yang diperlukan

dalam penyusunan tugas akhir. Data yang dipakai untuk perhitungan merupakan data lapangan.



sampai mencapai 20000 psi (137,9 MPa) dan kekuatan tarik mencapai 1800 psi (12,41 MPa), sedangkan kuat tarik baja tulangan mencapai 60000 psi (413,7 MPa) dan kawat las dengan kekuatan batas 100000 psi mulai digunakan. Baja tulangan ulir juga sudah mulai diproduksi, dengan adanya uliran pada tulangan dapat memberikan lekatan maksimum yang terjadi antara baja tulangan dengan beton di sekitarnya.

Perkembangan di atas disertai dengan riset-riset eksperimental dan teoritis, khususnya dalam dua dasawarsa terakhir, yang dapat menghasilkan dan peraturan-peraturan penggunaan beton bertulang.

II.2. Kolom

Kolom adalah struktur vertikal pendukung balok, yang meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi lebih bawah kemudian diteruskan ke tanah dengan melalui struktur fondasi. Struktur ini merupakan elemen yang mengalami tekan dan pada umumnya disertai dengan momen lentur.

Hampir tidak pernah terjadi kolom yang dibebani oleh beban aksial tekan tanpa eksentrisitas, bahkan kombinasi beban aksial dengan eksentrisitas kecil sangat jarang ditemui di lapangan. Hal ini dikarenakan dalam konstruksi, kolom sebagai bagian dari kerangka berhubungan langsung dengan balok dan pelat yang menyalurkan momen ke kolom tersebut, sehingga akan menimbulkan eksentrisitas.

Kolom beton bertulang biasanya terdiri dari tulangan baja longitudinal dan diperkuat atau diikat oleh tulangan lateral. Berdasarkan hal ini kolom bulat beton bertulang dapat dibedakan menjadi tiga jenis, dan diuraikan berikut ini.

1. Kolom ikat (*Tied columns*), yaitu kolom yang mempunyai tulangan-tulangan memanjang dan diperkuat atau diikat pada jarak-jarak tertentu dengan lilitan tertutup yang dinamakan sengkang (*ties*).
2. Kolom spiral (*spiral columns*), yaitu kolom yang mempunyai tulangan memanjang dan dililit atau diikat dengan tulangan sengkang spiral.
3. Kolom komposit (*composite columns*), kolom yang terdiri dari profil baja struktural yang dikelilingi tulangan-tulangan longitudinal dan diikat dengan sengkang biasa ataupun spiral.

Dari ketiga jenis kolom di atas, kolom ikat dan kolom spiral merupakan jenis kolom yang paling umum dilakukan. Penampang kedua jenis kolom tersebut dapat berupa lingkaran/ bulat, segi delapan (*octagonal*), bujur sangkar, ataupun persegi panjang.

Ada beberapa metode yang umum dipakai dalam menyelesaikan perhitungan-perhitungan struktur be-ton yaitu:

1. metode elastis,
2. metode ultimit.

II.3. Metode Elastis

Metode elastis adalah metode yang beranggapan bahwa tegangan leleh pada baja merupakan keadaan yang sangat kritis, sehingga suatu unsur struktur harus direncanakan sedemikian rupa hingga tegangan yang diakibatkan oleh aksi beban kerja dan yang dihitung secara mekanika dari unsur-unsur yang elastis, tidak melampaui nilai tegangan ijin yang ditetapkan.

II.3.1. Faktor yang mempengaruhi keamanan struktur.

Keamanan struktur pada metode elastis ditentukan berdasarkan hal-hal sebgai berikut ini.

A. Tegangan ijin.

B. Koefisien keamanan.

C. Angka ekivalensi tegangan baja terhadap tegangan desak beton (nilai "n").

A. Tegangan ijin

Tegangan ijin adalah tegangan yang tidak boleh dilampaui oleh tegangan-tegangan perencanaan. Tegangan ijin ini diperoleh dari:

$$\frac{\text{kekuatan bahan}}{\text{koefisien keamanan}} = \frac{\text{kekuatan bahan}}{\tau_p \cdot \tau_m \cdot \tau_s} \quad \ldots\ldots\ldots(2.1).$$

Kekuatan bahan beton diperoleh dari kuat desak karakteristik (σ_{bk}), sedangkan kekuatan baja tulangan

digunakan tegangan leleh karakteristik (σ_{au}) atau tegangan karakteristik yang memberikan regangan tetap sebesar 0,2 % ($\sigma_{0,2}$). Tegangan ijin baja tulangan dan beton dapat dilihat pada PBI 1971, Tabel 10.4.1 dan Tabel 10.4.2, halaman 103.

B. Koefisien Keamanan

Koefisien keamanan adalah suatu nilai yang dipakai untuk mendapatkan tegangan-tegangan ijin dalam perencanaan, bermaksud untuk memberikan nilai keamanan pada perencanaan.

Menurut PBI 1971 koefisien keamanan ini harus diperhitungkan terhadap hal-hal sebagai berikut:

a. koefisien pemakaian (τ_p),
b. koefisien bahan (τ_m),
c. koefisien beban (τ_s).

a. Koefisien pemakaian (τ_p)

Koefisien pemakai digunakan untuk memperhitungkan kemunduran kekuatan bahan akibat pemakaian konstruksi, baik terhadap beton maupun baja tulangan.

1. Untuk beton, koefisien pemakaian τ_{pb} harus diambil menurut ketentuan PBI 1971, Tabel 10.1.1, halaman 98.
2. Untuk baja tulangan, koefisien pemakaian τ_{pa}

dapat diambil = 1.

b. Koefisien bahan (τ_m)

Koefisien bahan adalah digunakan untuk memperhitungkan kekuatan bahan akibat penyimpangan-penyimpangan dalam pelaksanaan.

1. untuk beton:

$$\tau_{mb} = \frac{1,4}{\phi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.2)$$

nilai ø tergantung dari cara pembuatan dan pengecoran beton, diambil sesuai dengan ketentuan PBI 1971, Tabel 10.1.2, halaman 99.

c. Koefisien Beban (τ_s)

Koefisien beban digunakan untuk memperhitungkan kemungkinan-kemungkinan pengaruh beban kerja yang meningkat sampai beban batas yang menyebabkan keruntuhan konstruksi.

1. Untuk pemebebanan tetap (τ_{st}) = 1,5
2. Untuk pemebebanan sementara (τ_{ss}) = 1,05

C. Angka ekivalensi tegangan baja terhadap tegangan desak beton (nilai "n")

Nilai "n" atau angka ekivalensi adalah nilai banding modulus baja dengan modulus beton. Nilai ini digunakan untuk penyetaraan nilai tegangan baja terhadap tegangan ijin desak beton. Adapun besarnya angka ekivalensi ini

adalah sebagai berikut ini.

$$n = \frac{E_a}{E_b} \quad \text{.....(2.3)}$$

E_a = Modulus elastik baja = $2{,}1.10^6$
E_b = Modulus elastik sekan beton untuk:
- baban tetap, $E_b = 6400\sqrt{\sigma_{bk}}$ (kg/cm^2)
- beban hidup, $E_b = 9600\sqrt{\sigma_{bk}}$ (kg/cm^2)

1. Untuk pembebanan tetap:

$$n = \frac{330}{\sigma'bk} \quad \text{.....(2.3a)}$$

2. Untuk pembebanan sementara:

$$n = \frac{220}{\sigma'bk} \quad \text{.....(2.3b)}$$

pada titik dengan $_a = _b$ terdapat:

$\sigma_a : E_a = \sigma_b : E_b$

$$\sigma_a = \left(\frac{E_a}{E_b}\right) . \sigma'_b$$

$$\sigma_a = n . \sigma'_b \quad \text{.....(2.4)}$$

Ini berarti bahwa setiap satuan luas baja setara dengan "n" satuan luas beton untuk mendukung tegangan yang sama.

Angka ekivalensi ("n") maksimum dapat dilihat pada PBI 1971, Tabel 11.1.1, halaman 132.

II.3.2. Analisis perhitungan kolom beton menurut PBI 1971

A. Eksentrisitas Beban

Kolom-kolom dari setiap konstruksi beton bertulang yang bertingkat, harus mempunyai kekuatan sedemikian rupa hingga pada setiap pembebanan yang ditinjau, stabilitas konstruksi (terhadap tekuk) secara keselu-ruhan dapat terjamin. Stabilitas konstruksi tersebut dapat diperhitungkan dengan meninjau tekuk parsial dari masing-masing kolom.

Tekuk parsial dari kolom-kolom tunggal dapat diperhitungkan dengan memberikan eksentrisitas tambahan pada eksentrisitas awal terhadap gaya normal kolom. Untuk itu kolom diperhitungkan terhadap eksentrisitas total sebesar:

$$e = e_0 + e_0' + e_1 + e_2 \quad \text{.....(2.5)}$$

dengan:

e_0 = eksentrisitas awal = M/N

e_0' = eksentrisitas tambahan akibat ketidak-tepatan sumbu kolom,

= $1/30.h_t \geq 2$ cm

e_2 = $0,15.h_t$

e_1 = eksentrisitas tambahan untuk memperhitungkan tekuk,

$$e1 = C_1.C_2 \left(\frac{l_k}{100.h_t} \right)^2.h_t \quad \text{.....(2.6).}$$

C_1 adalah koefisien bentuk penampang, sedangkan C_2 adalah koefisien tergantung pada e_0/h_t dan jenis baja tulangan. Adapun nilai dari C_1 dan C_2 terdapat pada PBI 1971, Tabel 10.6.2, halaman 113.

Untuk panjang tekuk kolom (l_k), diambil sebagai berikut ini.

l_k = 7*l* bila ujungnya berhubungan kaku dengan fondasi dan/atau balok-balok yang mempunyai momen lembam paling sedikit sama seperti dari kolom, dalam hal ini balok-balok tersebut juga harus berhubungan kaku dengan bagian-bagian konstruksi lainnya.

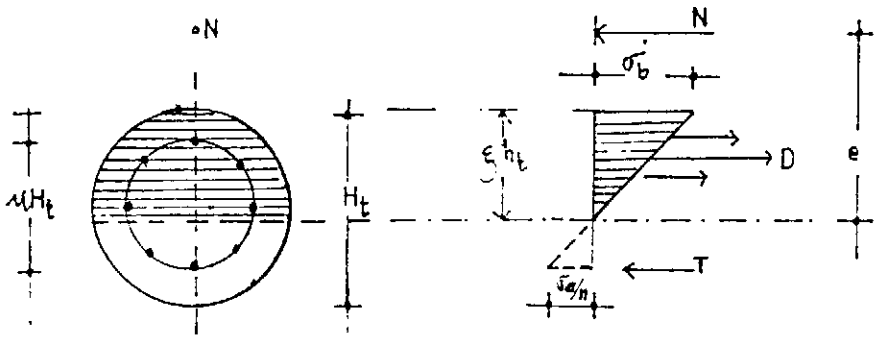
l_k = 0,9 *l* untuk keadaan-keadaan lain.

Berdasarkan posisi beban terhadap penampang kolom, dapat diklasifikasikan sebagai kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris. Kolom yang mengalami beban sentris berarti tidak mengalami momen lentur. Tetapi kolom dengan beban eksentris akan mengalami momen lentur dan gaya aksial. Momen dapat dikonversikan menjadi satuan beban (P) dengan eksentrisitas (e).

B. Analisis Kolom Bulat Dengan tulangan simetris

Dengan mengabaikan luas beton tekan yang terdesak oleh tulangan, maka untuk penampang kolom bulat dengan tulangan simetris memikul lentur, berlaku rumus-rumus sebagai berikut:

PERPUSTAKAAN FAKULTAS TEKNIK



Gambar 2.1, Penampang kolom bulat dengan tulangan simetris

Hubungan antara pembebanan luar dan tegangan dalam ditentukan oleh rumus sebagai berikut:

$$\frac{\sigma'_b}{\sigma'_o} = \frac{2}{\alpha_1 + n\,w\,(2 - \frac{1}{\xi})} \qquad \text{.....(2.7)}$$

sedangkan,

$$\sigma'_o = \frac{N}{A_{beton}} = \frac{N}{1/4.H_t^2} \qquad \text{.....(2.8)}$$

dengan memasukkan persamaan (2.7) ke persamaan (2.8) didapat rumus untuk menentukan luasan beton sekaligus diameter kolom bulat tersebut dapat diketahui.

$$A_{beton} = \frac{2.N}{\sigma'_b\,[\alpha_1 + n.w\,(2 - \frac{1}{\xi})]} \qquad \text{.....(2.9)}$$

$$D = H_t \left[\frac{8.N}{n.\,\sigma'_b.(\alpha_1 + n.w.(2 - \frac{1}{\xi}))} \right]^{0,5} \qquad \text{.....(2.10)}$$

sedangkan eksentrisitas tambahan total dapat dicari dengan rumus:

$$\frac{e}{H_t} = \frac{\alpha_2 + \frac{2.n.w}{\xi}\ \mu^2}{8.\alpha_1 + .n.w.(2 - \frac{1}{\xi})} \quad .....(2.11)$$

$$e = H_t \frac{\alpha_2 + \frac{2.n.w}{\xi}\ \mu^2}{8.\alpha_1 + 8.n.w\ (2 - \frac{1}{\xi})} \quad ....(2.12)$$

Keterangan :

$$\sigma'_o = \frac{N}{0,25\ \pi.\ h_t^2} \quad .....(2.13)$$

$$\alpha_1 = \frac{C_1}{\xi} \quad , \text{untuk} \quad < 1...(2.14a)$$

$$\alpha_1 = 2 - \frac{1}{\xi} \quad , \text{untuk} \quad > 1...(2.14b)$$

$$\alpha_2 = \frac{2.C_2}{\xi} \quad , \text{untuk} \quad < 1...(2.15a)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{\xi} \quad , \text{untuk} \quad > 1...(2.15b)$$

notasi :

σ'_b = tegangan tekan beton akibat beban kerja

$n = \frac{E_a}{E_b}$ = angka ekivalensi

w = koefisien tulangan tarik
= koefisien jarak garis netral

N = gaya normal akibat beban kerja

h_t = diameter penampang kolom bulat
C_1, C_2 = koefisien-koefisien pada perhitungan kolom bulat.

II.4. Metode ultimit

Pada metode perencanaan ini beban kerja dinaikkan secukupnya dengan beberapa faktor untuk mendapatkan beban pada mana keruntuhan dinyatakan sebagai "telah diambang pintu (*imminent*)". Beban ini dinamakan beban berfaktor (*factor load*). Struktur atau unsurnya lalu diproporsikan sedemikian rupa hingga mencapai kekuatannya pada saat bekerjanya beban berfaktor. Metode ultimit ini memperhitungkan sifat hubungan yang tidak linear antara tegangan dan regangan beton.

Untuk mendapatkan keamanan pada struktur, harus direncanakan untuk memikul beban cadangan di atas beban yang diharapkan bekerja di bawah keadaan normal. Kapasitas cadangan yang demikian disediakan untuk memperhitungkan beberapa faktor, faktor-faktor tersebut dapat digolongkan di dalam dua kategori umum, yaitu faktor yang berhubungan dengan pelampauan beban (*faktor beban*) dan faktor yang berhubungan dengan kekurangan kekuatan (*reduksi keamanan*). Faktor-faktor ini disebut sebagai provisi keamanan dari struktur.

II.4.1. Provisi keamanan

Tujuan dari diberikan provisi keamanan adalah untuk membatasi kemungkinan dari keruntuhan dan juga untuk

memberikan struktur yang ekonomis. Bila biaya tidak menjadi bahan pertimbangan, adalah mudah untuk merencanakan suatu struktur yang kemungkinan runtuhnya adalah nol. Untuk mencapai faktor keamanan yang cocok, maka kepentingan relatif dari beberapa hal harus ditetapkan, beberapa di antara hal-hal tersebut adalah:

1. keseriusan dari keruntuhan, apakah terhadap manusia atau harta benda.
2. reliabilitas dari pengerjaan dan pemeriksaan.
3. ekspektasi dan besarnya pelampauan beban.
4. pentingnya suatu unsur di dalam struktur.
5. kesempatan untuk aba-aba peringatan sebelum keruntuhan.

Dengan menetapkan persentase untuk hal-hal di atas dan dengan mengevaluasi kondisi lingkungan untuk suatu situasi, faktor yang memadai untuk keamanan dapat ditentukan untuk setiap hal. SK-SNI T15-1991 menetapkan untuk provisi keamanan ini sebagai berikut ini.

A. Faktor beban (τ)

Faktor beban adalah faktor yang dipakai untuk menaikkan beban-beban yang diperkirakan bekerja dalam perencanaan, agar mencapai beban runtuh yang menyebabkan struktur diambang keruntuhan. Dengan dipakainya faktor beban, berarti struktur direncanakan mampu menahan beban-beban dalam keadaan kritis, sehingga struktur dapat

menyediakan keamanan yang cukup tinggi.

Ketidakpastian besar beban mati pada struktur lebih kecil daripada ketidakpastian beban hidup, mengakibatkan perbedaan dari nilai faktor-faktor beban. Adapun nilai faktor beban (τ) menurut SKSNI 1991, ditentukan sebagai berikut ini.

Untuk beban mati (τ_D) = 1,2

Untuk beban hidup (τ_L) = 1,6

Untuk beban angin (τ_e) = 1,6.

Penjumlahan dari beban-beban yang telah dikalikan dengan faktor beban, dinamakan kuat perlu, yang menjadi dasar perencanaan kekuatan struktur. Adapun rumus yang di berikan untuk kuat perlu (U) adalah sebagai berikut ini.

1). Beban tetap

$$U = 1,2D + 1,6L \quad \text{.....(2.16a)}$$

2). Beban sementara

a. Pada struktur tahan gempa:

$$U = 1,05\ (D + Lr \pm E), \quad \text{atau}$$

$$U = 0,90\ (D \pm E) \quad \text{.....(2.16b)}$$

b. Pada struktur beban angin yang menentukan:

$$U = 0,75(1,2D + 1,6L + 1,6W) \quad \text{.....(2.16c)}$$

dengan :

U = kuat perlu untuk menahan beban yang telah dikalikan dengan faktor beban atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengannya.

D = beban mati, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut.

L = beban hidup, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban tersebut.

E = beban gempa menurut SKBI 1987

l_r = beban hidup yang telah direduksi sesuai dengan ketentuan SKBI 1987.

B. Faktor reduksi keamanan (θ)

Faktor reduksi keamanan dipakai untuk mengatasi ketidakpastian kekuatan bahan yang dipakai terhadap pembebanan. Faktor ini dipengaruhi oleh jenis beban yang bekerja pada struktur. Adapun nilai faktor (θ) ditentukan menurut SK-SNI 1991, sebagai berikut:

1). untuk beban lentur tanpa gaya akisal θ = 0,80

2). untuk gaya aksial tarik dan tarik-
dengan lentur θ = 0,80

3). untuk gaya aksial tekan dan aksial tekan -
dengan lentur θ = 0,65

4). untuk gaya lintang dan torsi θ = 0,60

Kolom bertulangan simetris yang dibebani gaya aksial rendah, nilai θ boleh ditingkatkan dari θ = 0,65 menjadi

θ = 0,80.

II.4.2. Pengaruh panjang kolom

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

Apabila kolom runtuh karena kegagalan material (yaitu leleh baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek. Apabila panjang kolom bertambah, kemungkinan kolom runtuh karena tekuk semakin besar. Dengan demikian ada suatu transisi dari kolom pendek ke kolom panjang yang didefinisikan dengan menggunakan perbandingan panjang efektif kl_u dengan jari-jari girasi r. Tinggi l_u adalah panjang kolom tidak tertumpu, dan k adalah faktor yang tergantung pada kondisi kolom. Dalam hal ini kolom yang tidak ada penahan lateral (*unbraced column*), apabila angka $kl_u/r \leq 22$, maka kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek. Apabila tidak demikian, kolom tersebut diklasifikasikan sebagai kolom panjang atau lazimnya disebut kolom langsing.

Apabila kl_u/r adalah angka kelangsingan, maka batas bawah angka kelangsingan yang apabila lebih kecil dari batas ini analisis boleh diabaikan, berdasarkan peraturan ACI adalah:

PERPUSTAKAAN FAKULTAS TEKNIK

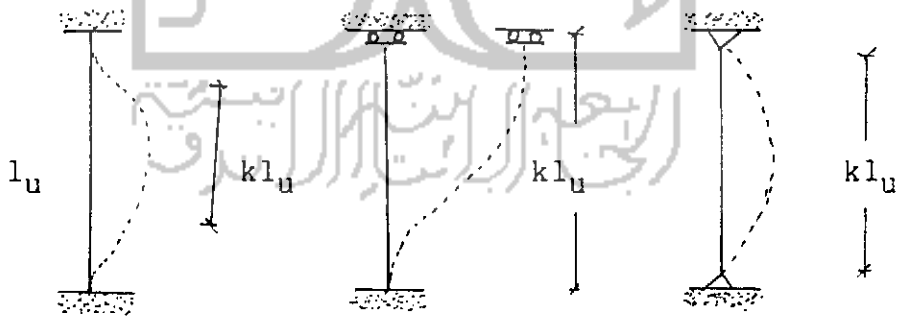
Rangka dengan pengaku lateral (*braced frames*)

$$\frac{kl_u}{r} < 34 - 12\frac{M_1}{M_2} \quad \text{.....(2.18a)}$$

Rangka tanpa pengaku lateral (*unbraced frames*)

$$\frac{kl_u}{r} < 22 \quad \text{.....(2.18b)}$$

k adalah faktor panjang kolom, sedangkan M_1 dan M_2 adalah momen pada ujung-ujung yang berlawanan pada batang tekan (kolom). M_2 selalu lebih besar dari M_1, dan angka perbandingan M_1/M_2 diambil positif untuk kelengkungan tunggal dan negatip untuk kelengkungan ganda.



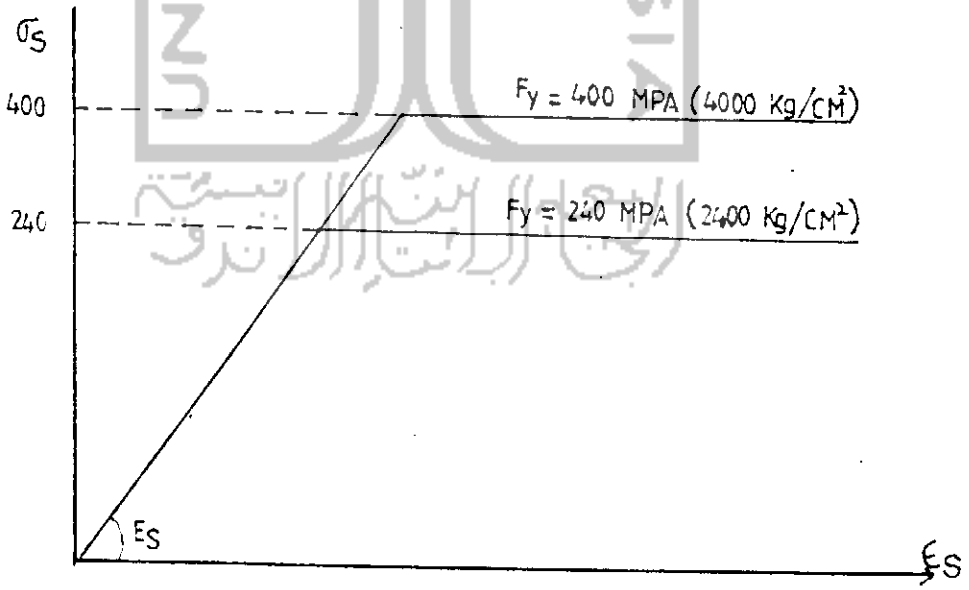
Gambar 2.2. koefisien panjang tekuk kolom

Panjang efektif kl_u digunakan sebagai panjang modifikasi kolom untuk memperhitungkan efektif tahanan ujung yang bukan sendi.

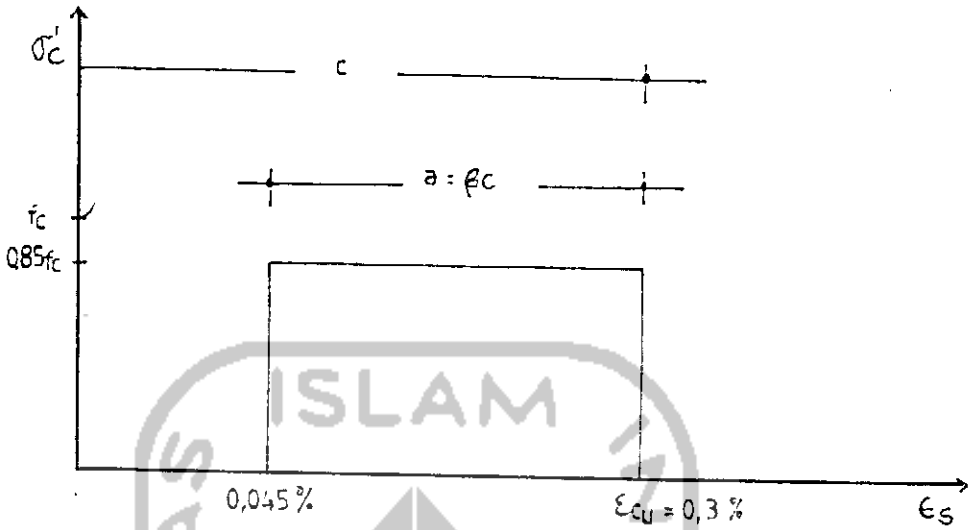
II.4.3. Dasar-dasar yang mempengaruhi metode ultimit

Dasar-dasar anggapan dalam perhitungan suatu penampang beton yang diberi beban lentur dan beban aksial, pada prinsipnya sesuai dengan dasar-dasar anggapan dalam perhitungan perencanaan terhadap beban lentur murni:

1. beton tidak dapat menahan tegangan tarik,
2. perpanjangan atau perpendekan yang terjadi dalam beton serta tulangan dianggap berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral,
3. diagram tegangan-regangan beton dan baja diskematisasikan sesuai dengan SKSNI pasal 3.3.2. Skematisasi diagram-diagram disajikan pada gambar 2.3 dan 2.4.



Gambar 2.3, Skematis dari diagram σ – ∈ baja.



Gambar 2.4. Skematis dari diagram σ – ε beton.

Dalam gambar 2.3., fy adalah tegangan batas leleh atau batas leleh yang dianggap pada 0,2% regangan leleh. Hal ini akan menentukan besar faktor reduksi kekuatan (ø) yang dipakai. SKSNI T-15-1991-03 Pasal 3.2.3 menetapkan ø = 0,65 untuk kolom yang diberi beban lentur dan beban aksial. Bila nilai beban aksial yang didapat lebih kecil daripada ø P_n = 0,1.f'c.Ag, maka nilai ø boleh ditingkatkan dari 0,65 menjadi 0,80.

Nilai regangan 0,045% yang diberikan dalam diagram gambar 2.3 berlaku untuk f'c ≤ 30 MPa (300 kg/cm^2). Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa a = β_c, dengan faktor β = 0,85. Untuk kuat tekan beton f'c = 35 MPa (350 kg/cm^2) berlaku faktor β = 0,81, sedangkan regangan 0,045% berubah menjadi 0,057%, selanjutnya untuk faktor reduksi kekuatan (ø) berlaku nilai yang sepadan dengan nilai fy.

Adapun dalam hal ini kekuatan kolom dievaluasi berdasarkan prinsip-prinsip dasar sebagai berikut:

1. distribusi regangan linier di seluruh tebal kolom,
2. regangan pada baja dan beton di sekeliling kolom yang ditinjau belum terjadi retakan atau leleh pada baja,
3. regangan beton maksimum yang diijinkan pada keadaan gagal (untuk perhitungan kekuatan) adalah 0,003 in/in,
4. kekuatan tarik beton diabaikan dan tidak digunakan dalam perhitungan.

BAB III

ANALISIS KAPASITAS TAMPANG

III.1. Konsep dasar

Struktur kolom umumnya direncanakan untuk menahan gaya aksial dan momen lentur, hal ini dikarenakan ketidak-simetrisan beban-beban yang bekerja, atau terjadi gaya-gaya lateral (seperti gaya gempa).

Ketidak-simetrisan beban-beban adalah faktor pertama yang mengakibatkan adanya eksentrisitas, yang dapat menentukan besar kecilnya momen yang bekerja, sehingga dapat menyebabkan berbagai keadaan yang menentukan pada struktur kolom: keadaan berimbang, keadaan patah desak menentukan dan keadaaan patah tarik menentukan. Berdasarkan tiga keadaan tersebut, untuk menentukan tingkat efisiensi perencanaan kolom bulat tidak dapat dengan meninjau satu keadaan saja, melainkan harus ditinjau dari keadaan desak, berimbang atau tarik yang menentukan dengan cara menganalisa kapasitas tampang, sehingga didapat diagram interaksi antara beban dan momen yang dapat didukungnya.

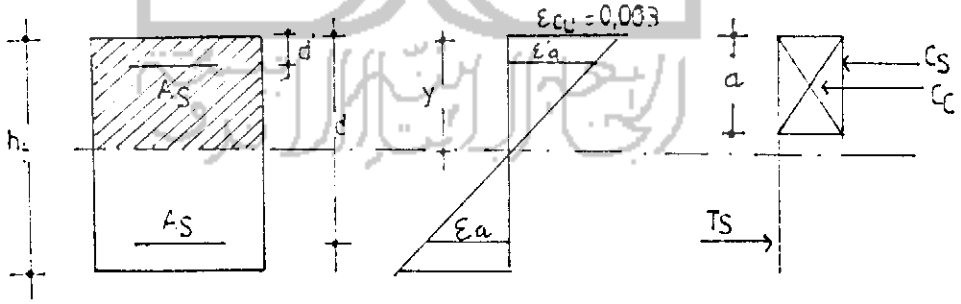
III.2. Analisa Kapasitas Tampang

Distribusi tegangan-regangan pada kolom bulat, berlaku juga pada kolom persegi, dengan penulangan disemua sisinya. Dalam menggunakan rumus statika pada penam-

pang kolom bulat, diperlukan pengetahuan tentang bentuk dan titik pusat segmen permukaan lingkaran (tembereng). Pengetahuan tentang ini dapat diketahui dengan rumus-rumus biasa, ataupun dengan menggunakan koefisien-koefisien untuk penampang lingkaran. Dalam tugas akhir, untuk mengetahui bentuk, luas dan titik pusat segmen lingkaran dipakai rumus-rumus matematika biasa.

III.2.1. Tinjauan secara ultimit

Dalam menganalisa kolom bulat sama halnya seperti menganalisa kolom persegi, yaitu dengan menggunakan keseimbangan momen dan gaya guna mencari gaya tahanan nominal (P_n) untuk suatu eksentrisitas yang diberikan. Persamaan keseimbamgam untuk kolom pendek persegi adalah sebagai berikut ini.



Gambar 3.1. Kolom persegi, distribusi regangan-tegangan dan gaya gaya yang terjadi.

Persamaan keseimbangan gaya dan momen:

$$P_n = Cc + Cs - Ts \quad \text{.....(3.1)}$$

Momen tahanan nominal M_n di hitung dengan keseimbangan momen terhadap sumbu lentur kolom:

$$M_n = Cc(y - \frac{a}{2}) + Cs(y - d') + T(d - y) \quad .....(3.2)$$

Persamaan (3.1) dan (3.2) dapat dipakai untuk analisa kolom bulat dengan perbedaan dalam hal sebagai berikut:

1. bentuk luas yang tertekan merupakan elemen lingkaran, dan
2. tulangan-tulangan tidak dikelompokkkan ke dalam kelompok tekan dan tarik yang sesajar.

Dengan demikian gaya dan tegangan pada masing-masing tulangan harus ditinjau sendiri-sendiri. Luas dan titik berat segmen lingkaran yang tertekan harus dihitung dengan menggunakan persamaan matematis. Dalam tugas akhir ini, untuk analisa secara ultimit, sebagai penyederhanaan hitungan digunakan persamaan Whitney untuk penampang bulat menjadi penampang persegi ekivalen.

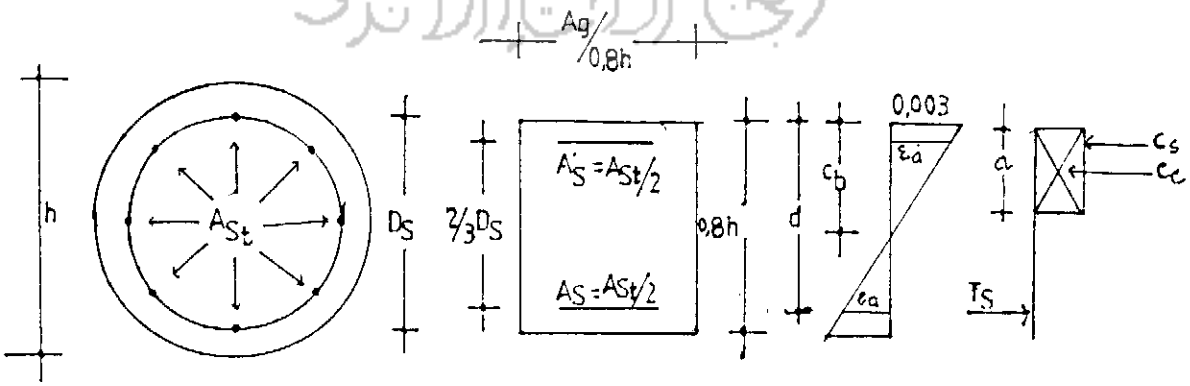
Menurut Whitney, kolom bulat dapat ditransformasikan menjadi kolom segiempat ekivalen untuk keadaan seimbang dan keruntuhan tekan, tetapi untuk keruntuhan tarik tetap digunakan kolom aktual, namun masih memakai pengelompokan tulangan tarik dan tekan. Di bawah ini diterangkan asumsi penyederhanaan dari Whitney dalam beberapa keadaan untuk kolom penampang bulat.

A. Dalam keadaan seimbang ("balanced")

Pada keadaan ini penampang kolom bulat di transformasikan menjadi penampang persegi ekivalen, dengan ketentuan sebagai berikut:

1. tinggi dalam arah lentur sebesar 0,8h, dengan h = diameter luar kolom bulat,
2. lebar kolom segiempat ekivalen diperoleh dengan membagi luas bruto penampang kolom bundar dengan 0,8h, jadi b = Ag/0,8h,
3. luas tulangan total eqivalen didistribusikan pada dua lapis sejajar dengan jarak $2D_s/3$ dalam arah lentur, dengan D = diameter lingkaran (terjauh) as ke as.

Tinggi garis netral, tinggi blok tegangan beban aksial tekan, dan momen pada keadaaan seimbang, dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.



Gambar 3.2. Penampang aktual, persegi ekivalen, distribusi tegangan-regangan dan gaya-gaya.

Dari segitiga yang sebangun pada gambar 3.2, dapat diperoleh persamaan tinggi sumbu netral pada kondisi seimbang (C_b), yaitu:

$$\frac{C_b}{d} = \frac{0,003}{0,003+fy/Es} \quad \text{.....(3.3)}$$

$$a_b = \beta_1 . C_b = \beta_1 . d . \frac{0,003}{0,003+fy/Es} \quad \text{.....(3.4)}$$

sehingga persamaan gaya dan momen nominal dalam keadaan berimbang adalah:

$$P_n = 0.85.f'c.b.a_b + A's.f's - As.fy \quad \text{.....(3.5)}$$

$$M_n = P_n . e = 0,85.f'c.b.a(y-a/2) + A's.fy.(y-d') + As.fy(d-y) \quad \text{.....(3.6)}$$

B. Kondisi tarik menentukan

Apabila keruntuhan berupa keruntuhan tarik maka digunakan kolom aktual untuk menghitung Cc, tetapi 40% dari luasan tulangan A_{st} dikelompokkan sejajar berjarak 0,75 Ds.

Dengan menganggap tulangan tekan telah leleh dan daerah tekan beton mempunyai luas A, Whitney berasumsi bahwa jarak pusat penampang trehadap pusat berat luasan A, diberikan sebagai berikut:

$$x = 0,21h + 0,293\ (0,785h - \frac{2A}{h}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.7)$$

Bila diasumsikan tulangan desak telah leleh dan A´s = As maka dari persamaan:

$$P_n = 0,85.f'_c.b.a + A'_s.f'_s - A_s.f_s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.8)$$

diperoleh:

$$Pn = 0,85.f'c.A \quad \text{atau} \quad A = \frac{Pn}{0,85.f'c} \quad \ldots\ldots\ldots (3.9)$$

dengan memasukkan nilai A pada persamaan (3.9) ke persamaan (3.7), maka didapat:

$$x = 0,21h + 0,293\ (0,785h - \frac{2Pn}{0,85.h.f'c}) \quad \ldots\ldots\ldots (3.10).$$

Dari beberapa asumsi mengenai keruntuhan tarik, maka momen yang terjadi terhadap tulangan tarik dapat ditulis sebagai berikut ini.

$$P_n(e+0,375Ds) = Cc.(x + 0,375Ds) + Cs.(0,75Ds) \quad \ldots (3.11a)$$

atau dapat ditulis:

$$Pn(e+0,375Ds) = Cc(x+0,375Ds) + 0,45.As.fy \quad \ldots\ldots (3.11b).$$

Subtitusikan harga x pada persamaan 3.11, sehingga didapat persamaan kuadrat dalam Pn. Dengan meggunakan rumus ABC diperoleh:

$$Pn = 0,85.h^2.f'c \left[\left[\left(\frac{0,85e}{h} - 0,38\right)^2 + \left(\frac{m.\ g.Ds}{2,5h}\right)\right]^{1/2} - \left(\frac{0,85e}{h} - 0,38\right)\right]$$

$$\ldots\ldots\ldots (3.12)$$

dengan: $g = \frac{A_{st}}{A_g}$, $m = \frac{f_y}{0,85f'_c}$, dan

e = eksentrisitas gaya tekan nominal terhadap sumbu lentur kolom.

C. Kondisi tekan menentukan

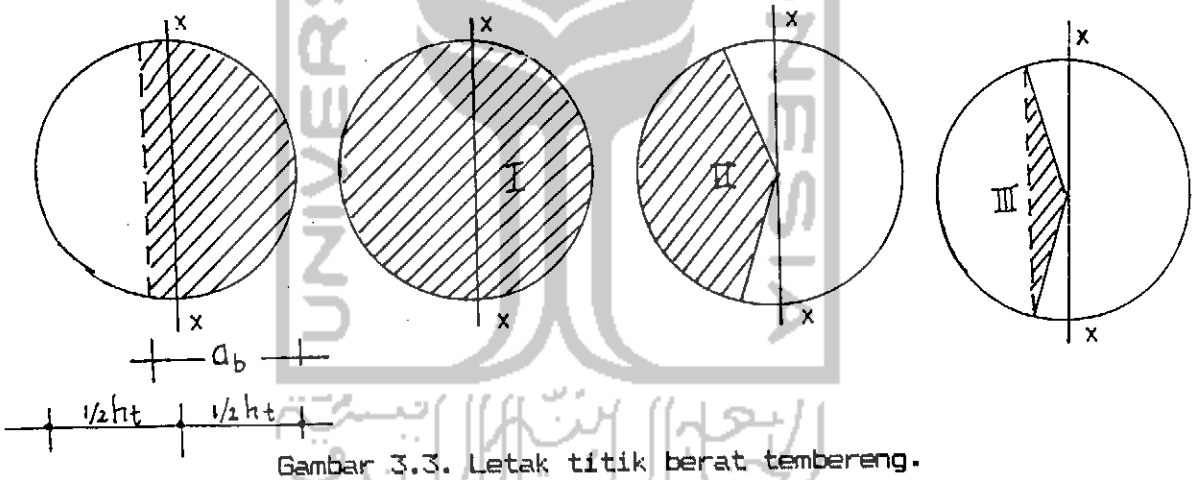
Menurut Whitney kolom bulat dapat diubah menjadi penampang segiempat ekivalen bila kegagalannya berupa keruntuhan tekan, dengan ketentuan seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Persamaan keruntuhan tekan dapat diperoleh dengan menggantikan A's menjadi 0,5 A_{st}, dan tinggi (d-d') menjadi 0,5(h+2Ds/3), sedangkan h menjadi 0,8h, sehingga persamaan gaya nominal dalam keruntuhan tekan menentukan adalah sebagai berikut ini.

$$Pn = \frac{A_{st}.f_y}{\left(\frac{3e}{d_s} + 1\right)} + \frac{A_g.f'_c}{\frac{9,6he}{(0,8h + 0,67Ds)} + 1,18} \quad \text{.....(3.13)}$$

III.2.2. Tinjauan secara elastis

Pada analisa kolom bulat dengan metode elastis, digunakan penampang kolom aktual dan hitungannya berdasarkan eksak, sehingga analisanya menyerupai analisa terhadap kolom persegi yang ditulangi disetiap sisinya, dimana baris setiap tulangan mempengaruhi terhadap distribusi regangan-tegangan secara keseluruhan. Pada analisa kolom bulat dengan hitungan eksak diperlukan pengetahuan tentang letak titik berat dan luasan bagian kolom yang tertekan (lihat gambar 3.3).



Gambar 3.3. Letak titik berat tembereng.

Untuk mencari letak titik berat dari luasan beton yang tertekan (tembereng) secara matematis didapat:

- luasan yang diarsir:

  luasan I (A1) = $1/4.\pi.D^2$

  luasan II (A2) = $\frac{\alpha}{360^o}$. A1

  luasan III (A3) = 2 x luasan segitiga

- Jarak titik berat yang diarsir terhadap sumbu x - x

arsiran II ----> $y2 = \frac{2}{3} \cdot r \cdot \frac{\text{tali busur}}{\text{busur}}$

arsiran III ---> $y2 = 2/3 . r.\cos\theta$

arsiran I -----> $y1 = 0$

sehingga letak titik berat beton yang tertekan ($\bar{y}$):

$$\bar{y} = \frac{\Sigma(A_i . y_i)}{\Sigma A_i} \quad \text{.....(3.14)}$$

keterangan:

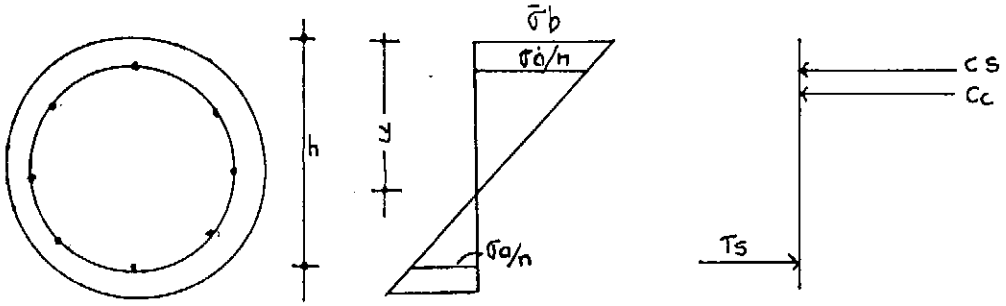
tali busur = $2.r.\sin\theta$

busur = $\pi.D.2\theta/360^o$

A. Keadaan seimbang ("balanced")

Kondisi ini tercapai bila beton yang terdesak bagian terluar mencapai tegangan desak ijin beton, dan secara bersamaan tegangan tarik baja terluar mengalami tegangan tarik baja ijinnya.

Dengan melihat gambar 3.4. letak garis netral dalam keadaan ini dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:



Gambar 3.4. Penampang aktual bulat, distribusi tegangan dan gaya-gaya dalam keadaan imbang.

Dengan perbandingan segitiga linear didapat jarak garis netral dari sisi atas (y) dan tegangan-tegangan yang terjadi, persamaannya sebagai berikut:

$$\frac{\sigma a}{\bar{\sigma}'b} = n.\frac{h - y}{y}$$

$$y = \frac{n.\bar{\sigma}'b.(h - y)}{\sigma a} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.15)$$

$$\frac{\sigma'a/n}{\bar{\sigma}'b} = \frac{y - d}{y}$$

$$\sigma'a = n.\bar{\sigma}'b.\frac{(y - d)}{y} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.16)$$

Persamaan (3.15) merupakan persamaan dalam mencari letak garis netral terhadap sisi atas, sedangkan persamaan (3.16) adalah persamaan tegangan baja desak yang terjadi. Untuk mencari tegangan-tegangan lainnya, baik tegangan desak maupun tarik baja dapat dicari dengan perbandingan segitiga linear dengan membandingkan terhadap tegangan desak beton maupun tegangan tarik baja terluar.

B. Keadaan patah desak

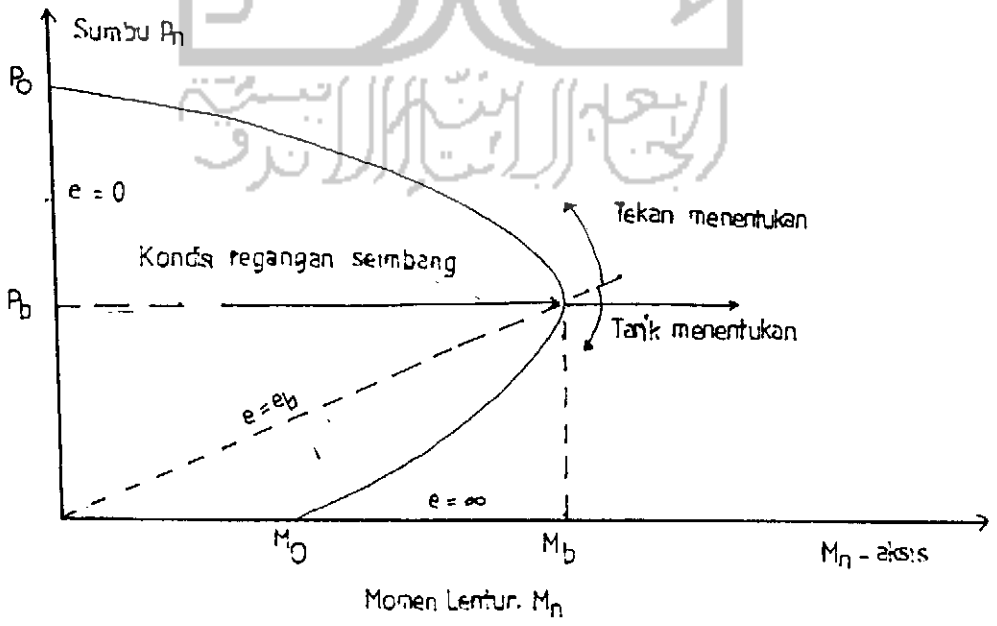
Keadaan ini tercapai bila eksentrisitas (e) lebih kecil dari eksentrisitas dalam keadaan imbang (e_b), atau garis netralnya lebih besar dari garis netral dalam keadaan imbang.

Analisa kolom dalam keadaan ini, sebenarnya sama

dengan analisa kolom dalam keadaan berimbang. Baja tarik pada keadaan imbang kemungkinan menjadi baja tertekan pada kondisi ini, dan bila semua penampang mengalami desak atau semua tulangan menjadi tulangan desak, berarti kolom tersebut mendukung beban dalam keadaan sentris. Sehingga kondisi ini memungkinkan kolom mengalami keruntuhan tekan (lihat gambar 3.4).

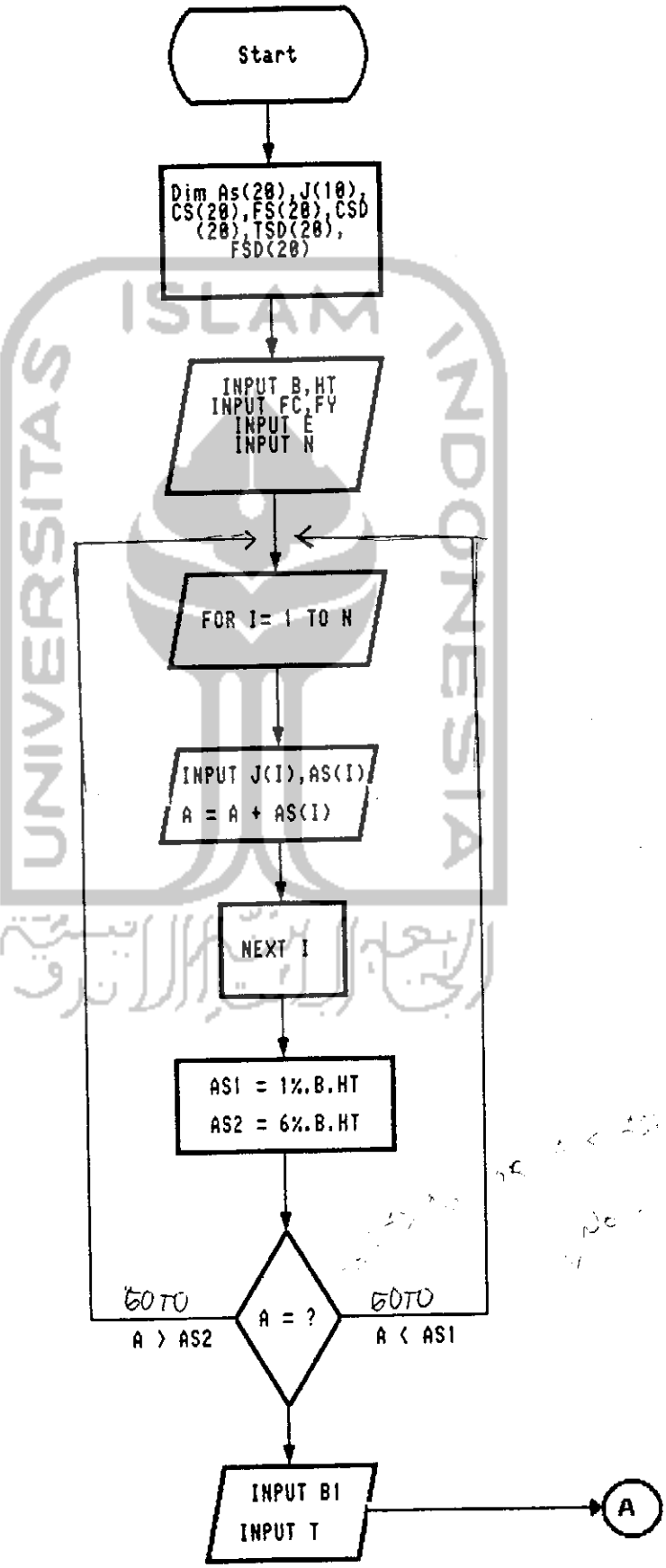
C. Keadaan patah tarik

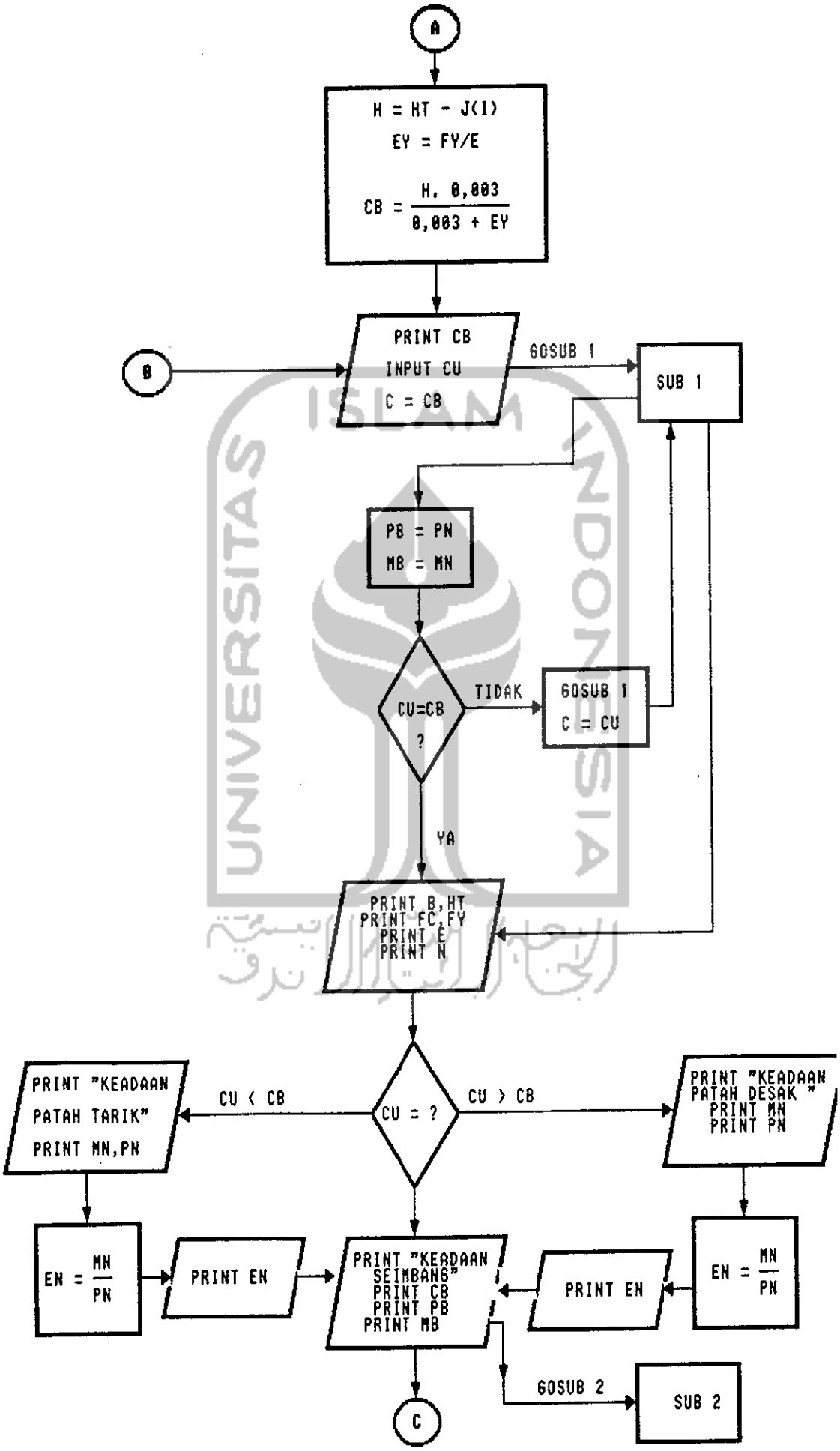
Keadaan ini terjadi bila eksentrisitas (e) lebih besar dari eksentrisitas dalam keadaan imbang, atau letak garis netralnya lebih kecil daripada garis netral dalam keadaan imbang. Pada analisa ini tulangan baja tekan pada keadaan imbang berubah menjadi tulangan baja tarik. Untuk jelasnya lihat gambar diagram interaksi dibawah ini.

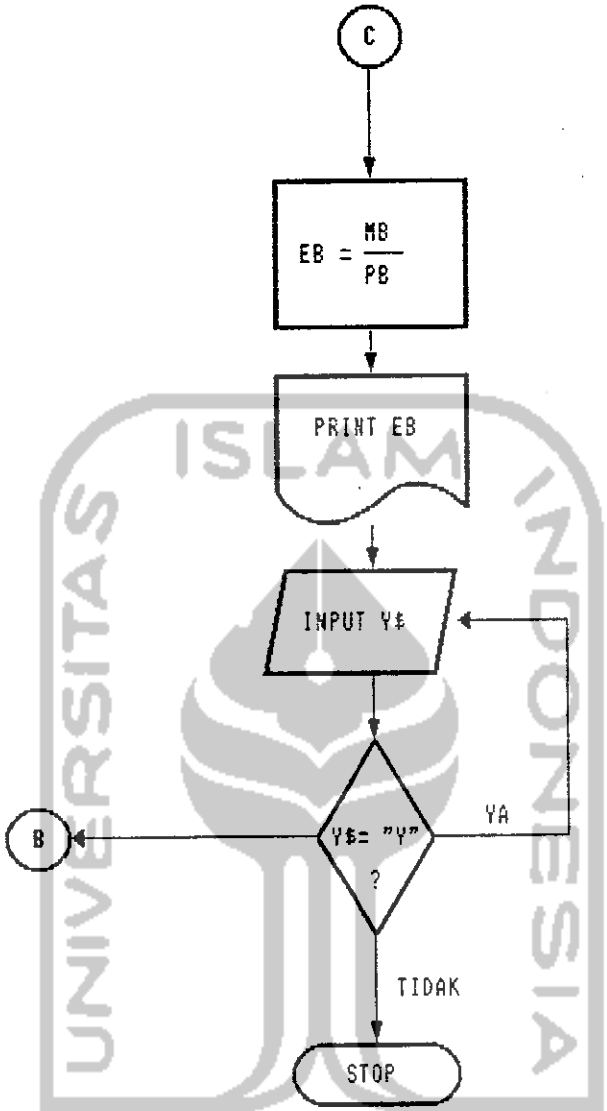


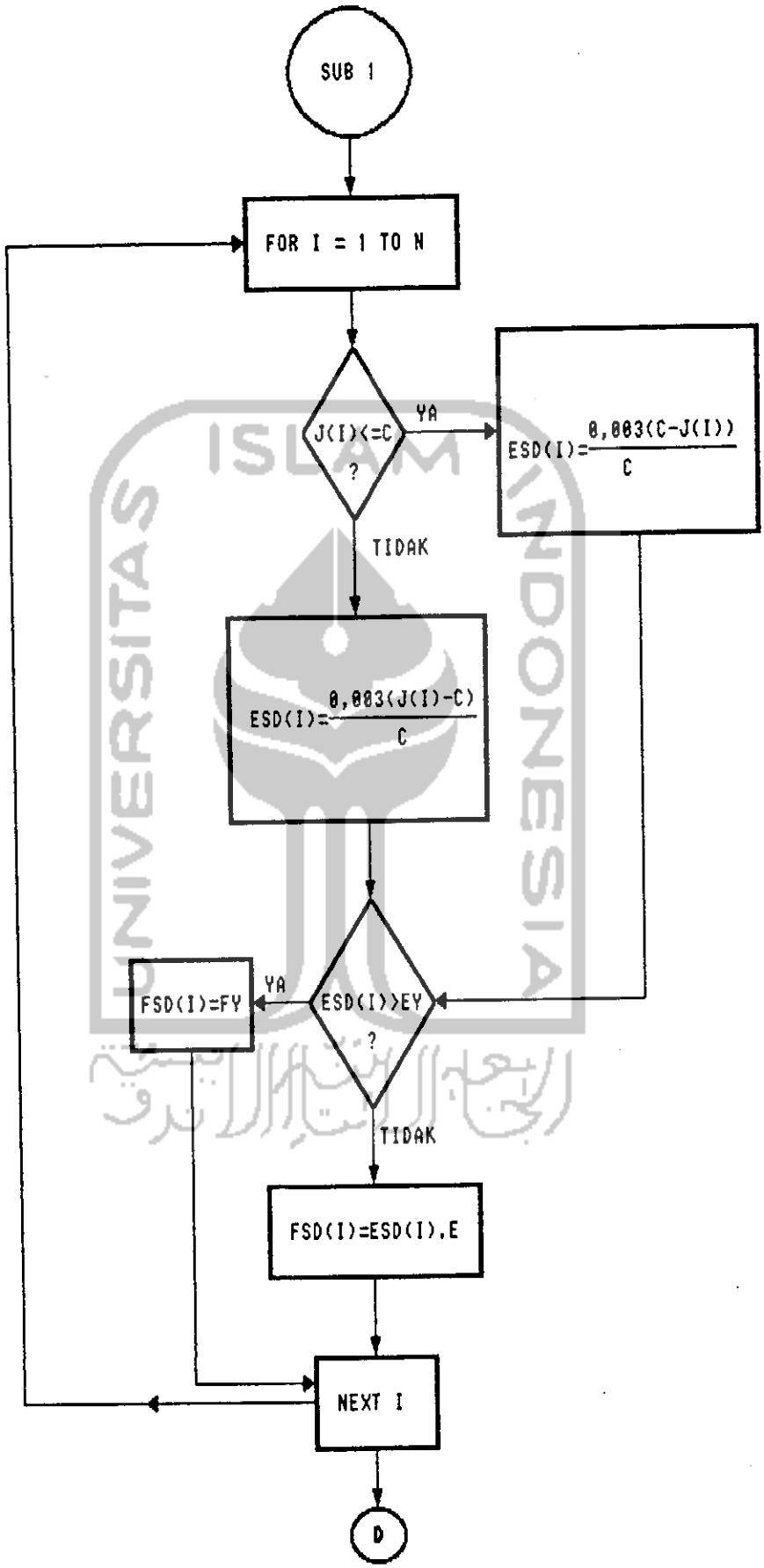
Gambar 3.8. Diagram interaksi P – M

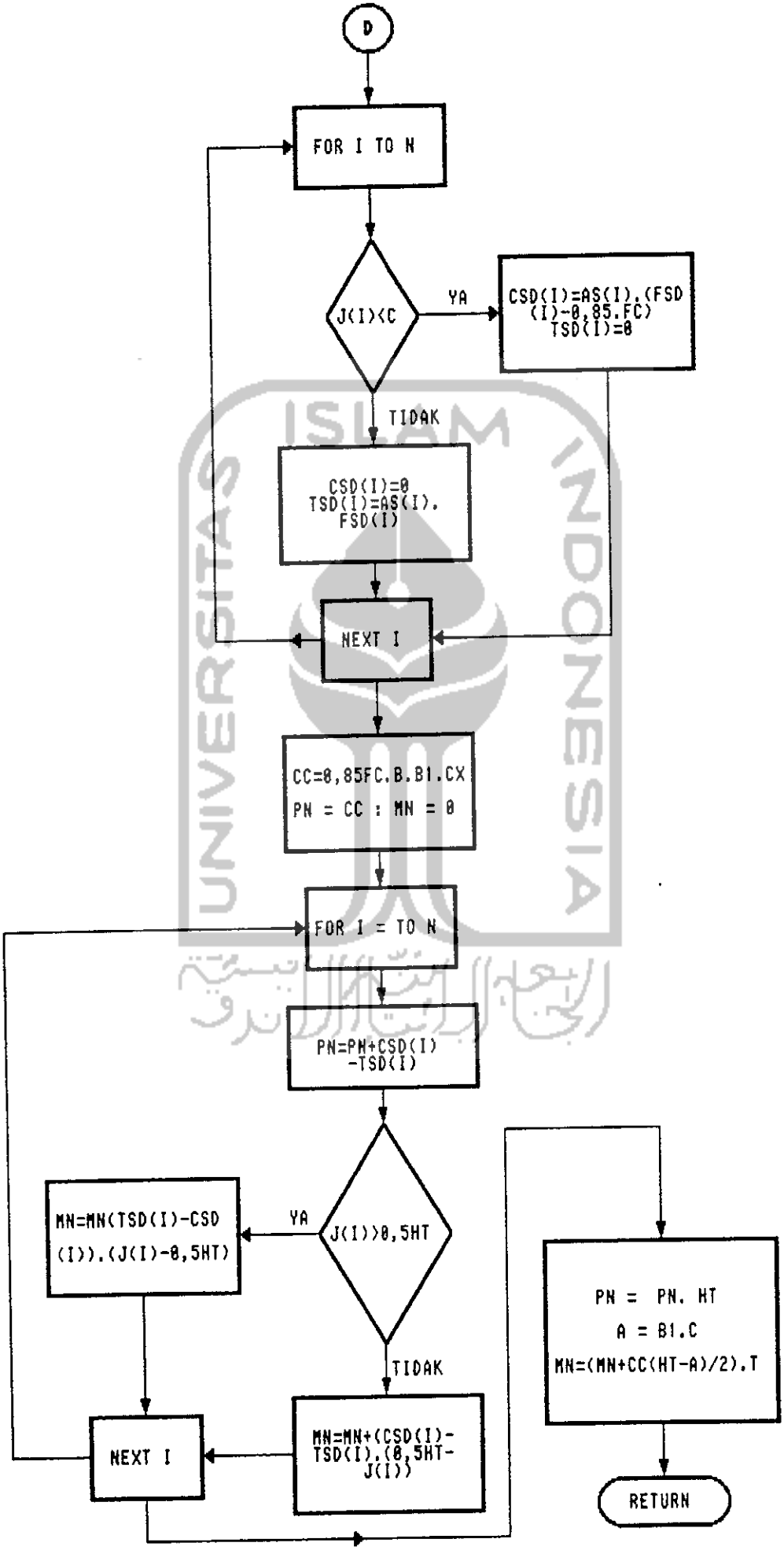
PROGRAM ANALISIS KAPASITAS TAMPANG KOLOM BULAT SECARA ULTIMIT



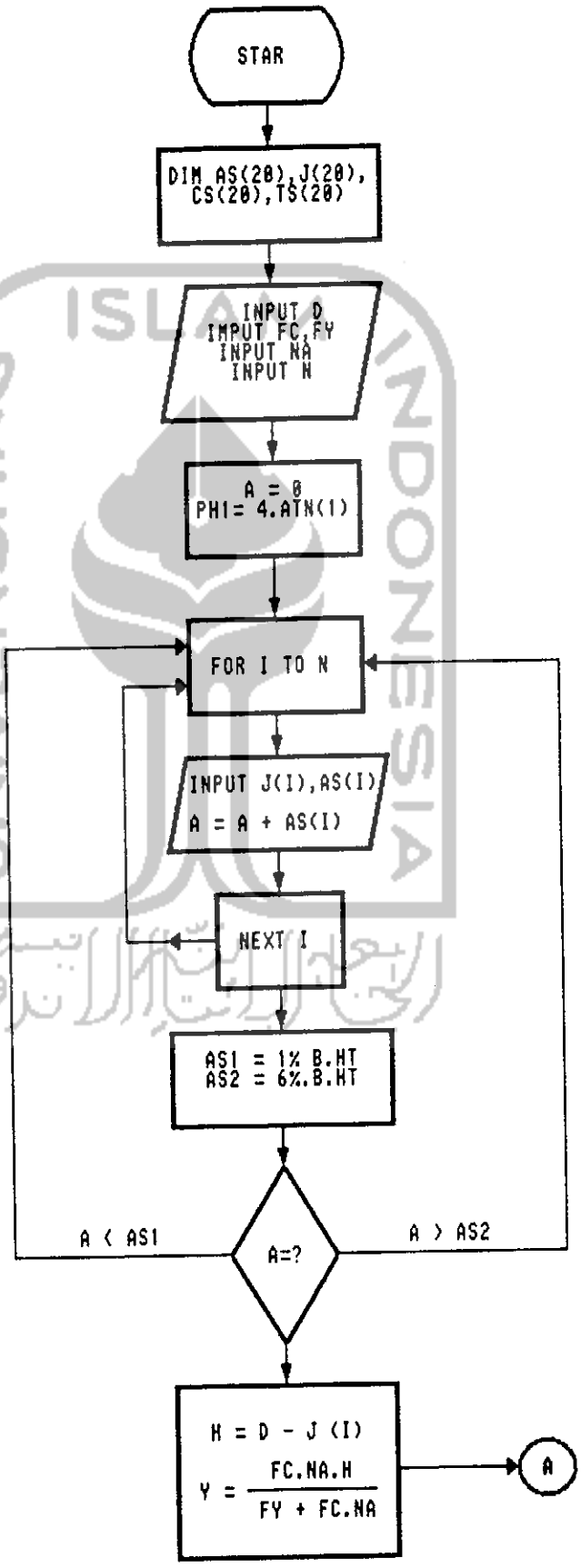

A
H = HT - J(I)
EY = FY/E
CB = H. 0,003 / 0,003 + EY
B
PRINT CB
INPUT CU
C = CB
GOSUB 1
SUB 1
PB = PN
MB = MN
CU=CB ?
TIDAK
GOSUB 1
C = CU
YA
PRINT B,HT
PRINT FC,FY
PRINT E
PRINT N
CU = ?
CU < CB
CU > CB
PRINT "KEADAAN PATAH TARIK"
PRINT MN,PN
PRINT "KEADAAN PATAH DESAK "
PRINT MN
PRINT PN
EN = MN / PN
PRINT EN
EN = MN / PN
PRINT EN
PRINT "KEADAAN SEIMBANG"
PRINT CB
PRINT PB
PRINT MB
GOSUB 2
SUB 2
C

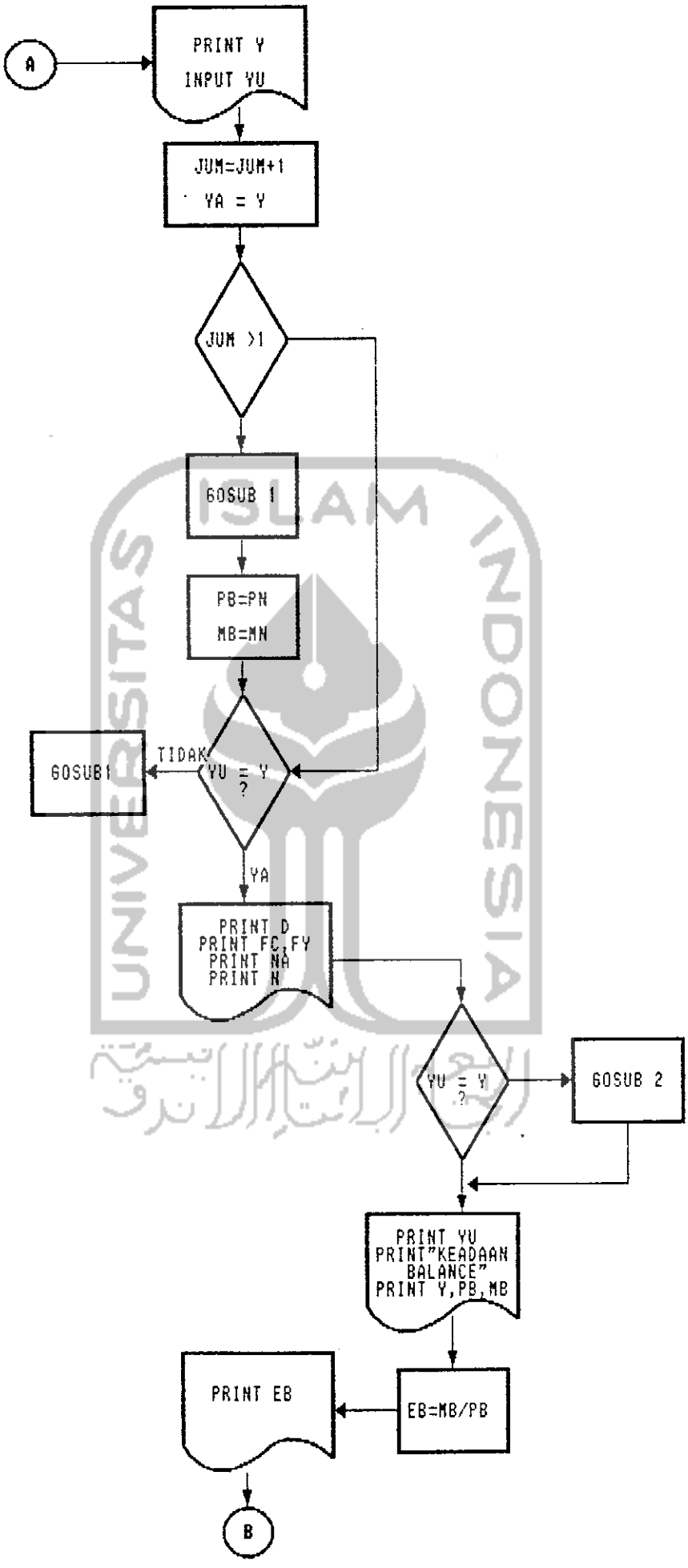

C
EB = MB / PB
PRINT EB
INPUT Y$
Y$= "Y" ?
YA
B
TIDAK
STOP

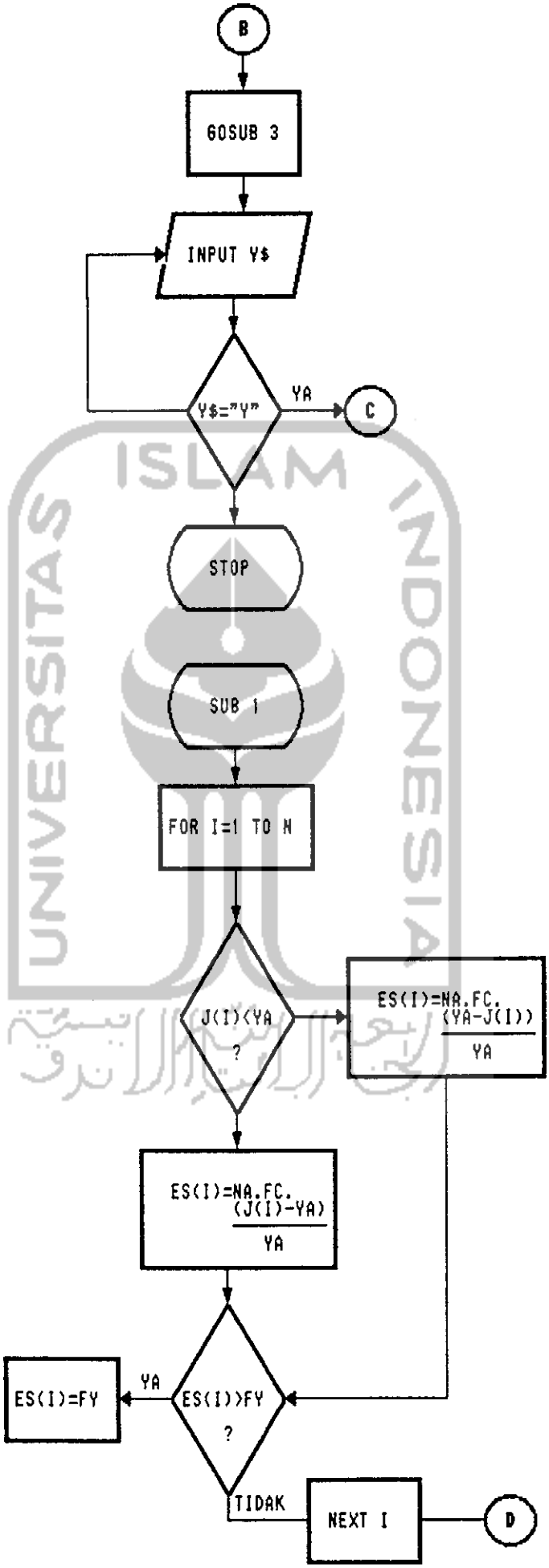

SUB 1
FOR I = 1 TO N
J(I)<=C
?
YA
ESD(I)=0,003(C-J(I))/C
TIDAK
ESD(I)=0,003(J(I)-C)/C
ESD(I)>EY
?
YA
FSD(I)=FY
TIDAK
FSD(I)=ESD(I).E
NEXT I
D

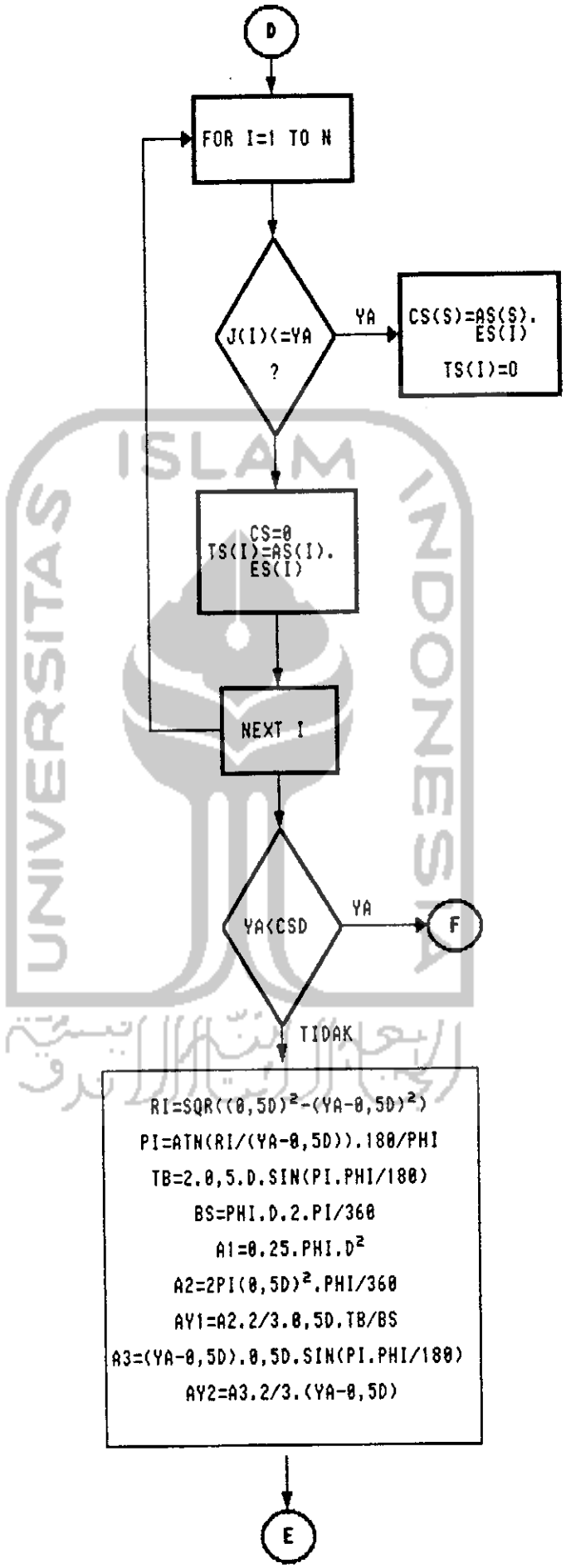

D
FOR I TO N
J(I)<C
YA
CSD(I)=AS(I).(FSD (I)-0,85.FC) TSD(I)=0
TIDAK
CSD(I)=0 TSD(I)=AS(I). FSD(I)
NEXT I
CC=0,85FC.B.B1.CX
PN = CC : MN = 0
FOR I = TO N
PN=PN+CSD(I) -TSD(I)
J(I)>0,5HT
YA
MN=MN(TSD(I)-CSD (I)).(J(I)-0,5HT)
TIDAK
MN=MN+(CSD(I)-TSD(I).(0,5HT-J(I))
NEXT I
PN = PN. HT
A = B1.C
MN=(MN+CC(HT-A)/2).T
RETURN

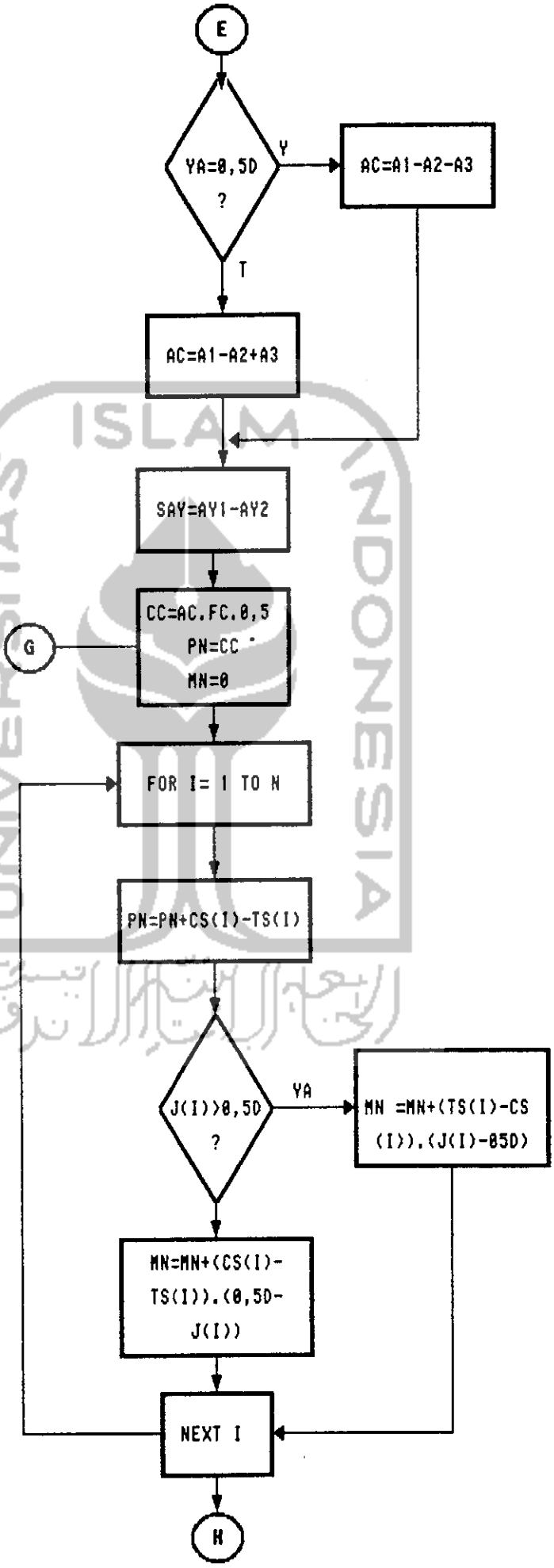
PROGRAM ANALISIS KAPASITAS TAMPANG KOLOM BULAT SECARA ELASTIS

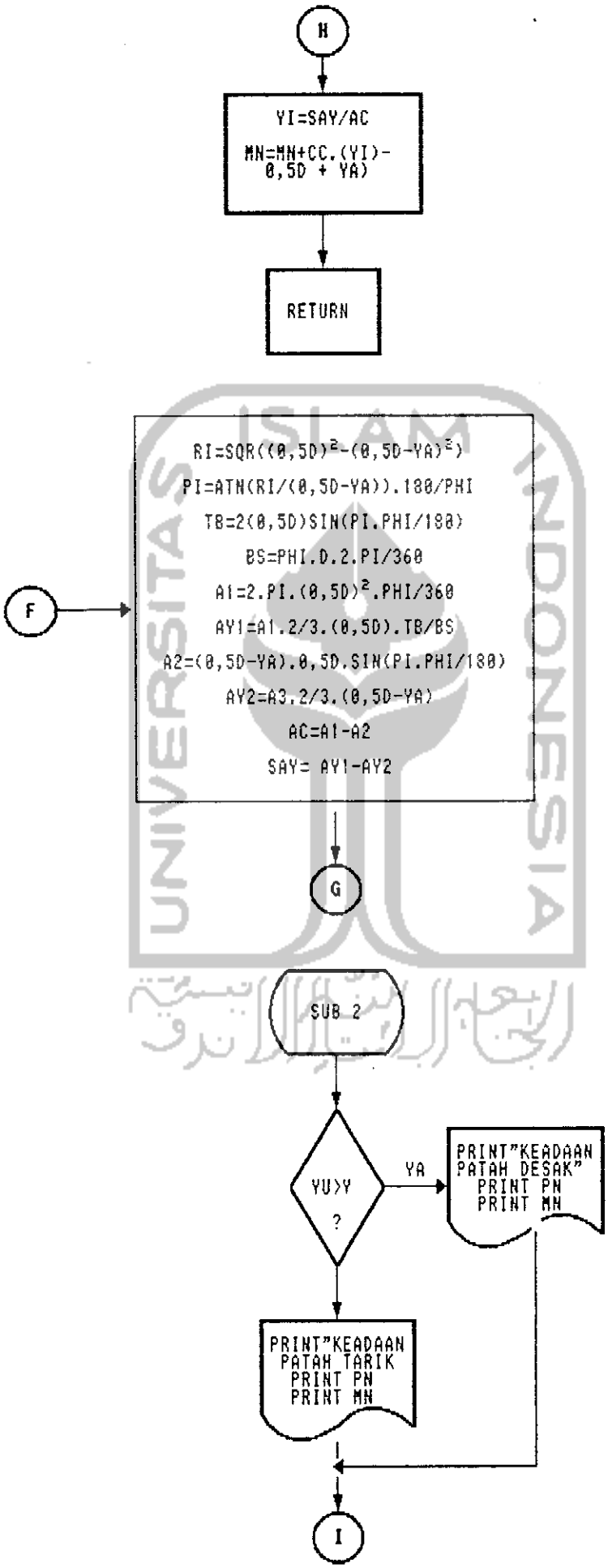


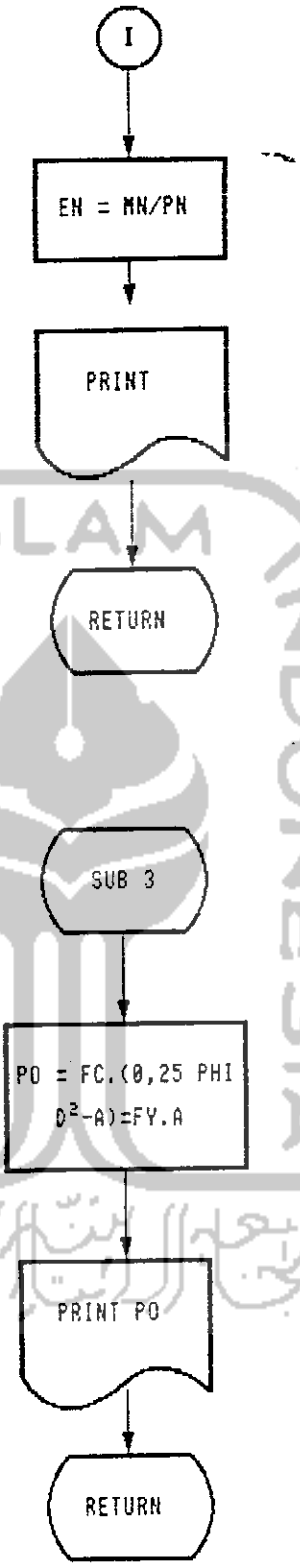

A
PRINT Y
INPUT YU
JUM=JUM+1
YA = Y
JUM >1
GOSUB 1
PB=PN
MB=MN
YU = Y ?
TIDAK
GOSUB1
YA
PRINT D
PRINT FC,FY
PRINT NA
PRINT N
YU = Y ?
GOSUB 2
PRINT YU
PRINT"KEADAAN BALANCE"
PRINT Y,PB,MB
EB=MB/PB
PRINT EB
B


B
GOSUB 3
INPUT Y$
Y$="Y"
YA
C
STOP
SUB 1
FOR I=1 TO N
J(I)<YA
?
ES(I)=NA.FC.
(YA-J(I))
YA
ES(I)=NA.FC.
(J(I)-YA)
YA
ES(I)>FY
?
YA
ES(I)=FY
TIDAK
NEXT I
D


D
FOR I=1 TO N
J(I)(=YA ?
YA
CS(S)=AS(S). ES(I)
TS(I)=0
CS=0
TS(I)=AS(I). ES(I)
NEXT I
YA(CSD
YA
F
TIDAK
RI=SQR((0,5D)²-(YA-0,5D)²)
PI=ATN(RI/(YA-0,5D)).180/PHI
TB=2.0,5.D.SIN(PI.PHI/180)
BS=PHI.D.2.PI/360
A1=0.25.PHI.D²
A2=2PI(0,5D)².PHI/360
AY1=A2.2/3.0,5D.TB/BS
A3=(YA-0,5D).0,5D.SIN(PI.PHI/180)
AY2=A3.2/3.(YA-0,5D)
E


E
YA=0,5D ?
Y
AC=A1-A2-A3
T
AC=A1-A2+A3
SAY=AY1-AY2
CC=AC.FC.0,5
PN=CC
MN=0
G
FOR I= 1 TO N
PN=PN+CS(I)-TS(I)
J(I)>0,5D ?
YA
MN =MN+(TS(I)-CS (I)).(J(I)-05D)
MN=MN+(CS(I)-TS(I)).(0,5D-J(I))
NEXT I
H


H
YI=SAY/AC
MN=MN+CC.(YI)-
0,5D + YA)
RETURN
F
RI=SQR((0,5D)²-(0,5D-YA)²)
PI=ATN(RI/(0,5D-YA)).180/PHI
TB=2(0,5D)SIN(PI.PHI/180)
BS=PHI.D.2.PI/360
A1=2.PI.(0,5D)².PHI/360
AY1=A1.2/3.(0,5D).TB/BS
A2=(0,5D-YA).0,5D.SIN(PI.PHI/180)
AY2=A3.2/3.(0,5D-YA)
AC=A1-A2
SAY= AY1-AY2
G
SUB 2
YU>Y
?
YA
PRINT"KEADAAN
PATAH DESAK"
PRINT PN
PRINT MN
PRINT"KEADAAN
PATAH TARIK
PRINT PN
PRINT MN
I


I
EN = MN/PN
PRINT
RETURN
SUB 3
PO = FC.(0,25 PHI
D²-A)+FY.A
PRINT PO
RETURN

IV.3. Program komputer

Program perhitungan analisis kapasitas tampang kolom bulat dibuat dengan menggunakan bahasa BASIC. Program dibuat guna menghitung kekuatan beban-momen pada kolom bulat dengan menggunakan keserasian regangan, sehingga memberikan hasil yang cukup akurat. Dari hasil ini akan didapat diagram interaksi antara beban dan momen yang dapat didukung.

Program ini pertama kali akan meminta data masukkan kekuatan bahan yang dipakai, dimensi kolom, jumlah baris tulangan, luas tulangan, jarak tiap baris tulangan terhadap tepi beton yang tertekan, besarnya θ dan β_1, selanjutnya akan mengeksekusi dan akan memberikan keluaran harga garis netral dalam keadaan imbang (Cb), sekaligus meminta data masukkan garis netral yang akan ditinjau (Cu). Nilai ~~Harga~~ Cb ini yang akan memberikan pilihan analisis tampang selanjutnya. Program ini mencek juga apakah luas tulangan memenuhi persyaratan 1% - 8% luas total penampang berdasarkan SNI 1991 dan 1% - 6% berdasarkan PBI 1971.

Program akan masuk pada perhitungan analisis patah desak bila data masukkan $Cu > Cb$, dan patah tarik bila sebaliknya, sedangkan keadaan imbang apabila $C = Cb$.

Hasil eksekusi akan menampilkan besarnya beban, momen, dan eksentrisitas beban pada kondisi imbang dan kondisi yang ditinjau.

Secara keseluruhan program ini merupakan program yang cukup interaktif dan sederhana dalam perhitungan analisis kapasitas tampang kolom bulat dengan elastis dan ultimit. Adapun list program komputer dapat dilihat pada lampiran.

BAB V

P E M B A H A S A N

V.1. Data Beban dan Momen pada Struktur

Pembahasan dilakukan untuk menganalisis kapasitas tampang kolom bulat pada struktur portal, guna mendapatkan tingkat efisiensi perencanaan dengan metode elastis dan ultimit. Perhitungan balok dan plat yang membebani kolom dianggap sudah dilakukan, dan menjadikan beban mati yang bekerja pada struktur kolom. Adapun beban-beban hidup yang bekerja diambil sesuai dengan Peraturan Muatan Indonesia tahun 1983.

Beban dan momen maksimum yang terjadi sesungguhnya pada struktur kolom adalah sebagai berikut ini.

- Akibat muatan mati (DL):

  untuk beban (P_{DL}) = 80,987 T

  untuk momen (M_{DL}) = 19,361 Tm

- Akibat muatan hidup (LL):

  untuk beban (P_{LL}) = 23,455 T

  untuk momen (M_{LL}) = 4,5121 Tm

sehingga didapat P dan M maksimum untuk masing-masing metode, yaitu sebagai berikut ini.

a). Metode ultimit

Beban (P) = 1,2 P_{DL} + 1,6 P_{LL} = 134,7124 T

Momen (M) = 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} = 30,4526 Tm

b). Metode elastis

Beban (P) = $P_{DL} + P_{LL}$ = 104,442 T

Momen (M) = $M_{DL} + M_{LL}$ = 23,873 Tm

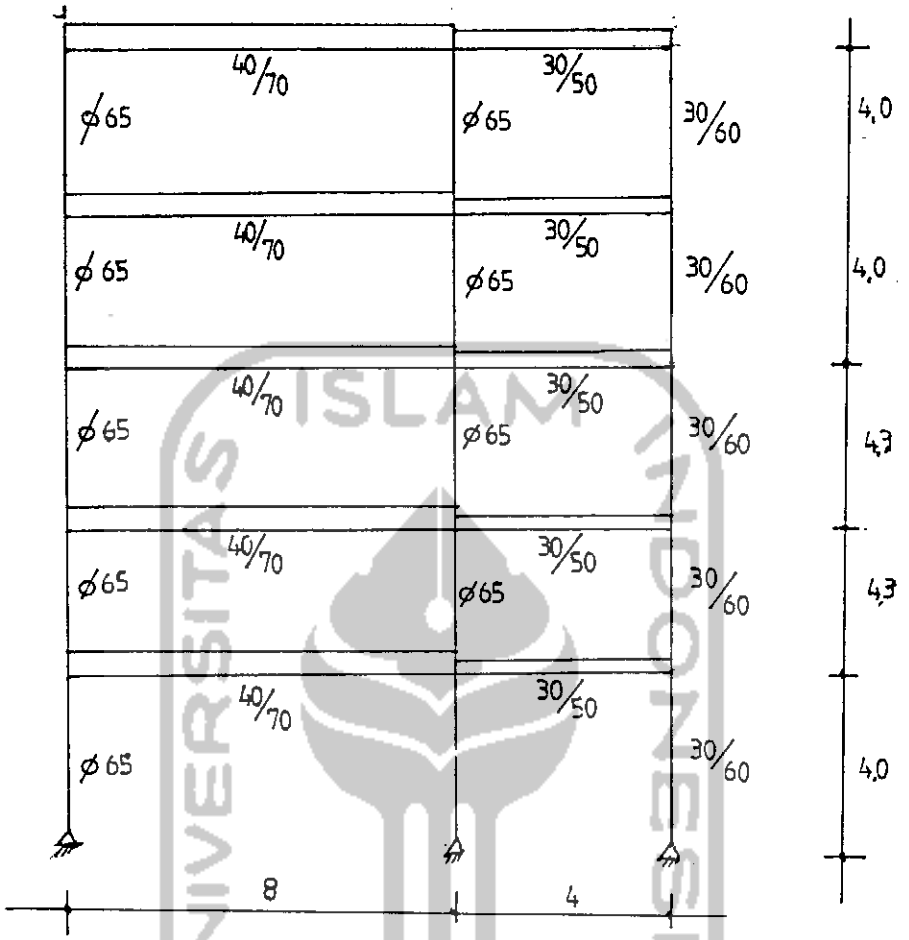
Hasil di atas merupakan hasil dari perhitungan mekanika dengan bantuan komputer (program microfeap), pada kondisi portal dan beban sebagaimana terlihat pada gambar 5.1. Adapun proses perhitungan dalam mendapatkan hasil beban dan momen di atas dapat dilihat pada lampiran.

Perbandingan beban dan momen yang terjadi sesungguhnya antara metode elastis dan ultimit, dipakai dalam menyetarakan beban dan momen perencanaan metode ultimit terhadap perencanaan metode elastis. Besaran nilai banding P dan M adalah sebagai berikut ini.

1. Untuk beban (P): $\ddot{e} = \frac{134,7124}{104,442} = 1,29$

2. Untuk momen (M): $\grave{e} = \frac{30,4526}{23,873} = 1,28$

sehingga dengan menyetarakan hasil yang didapat dari perencanaan dari metode ultimit ke metode elastis, penentuan tingkat efisiensi dari kedua metode dapat dilakukan.



Gambar 5.1. Data dan pembebanan pada struktur portal

V.2. Perhitungan Analisis Kapasitas Tampang

Perhitungan analisis kapasitas tampang dilakukan terhadap satu kolom bulat diameter 65 cm, dengan prosentase penulangan bervariasi, antara 1% sampai 6%. Adapun mutu beton yang dipakai K_{225} dan mutu baja U_{24}, dengan diameter tulangan ø 32 mm.

Dalam bab ini, akan disajikan perhitungan analisis secara manual dengan prosentase tulangan 1,1% dari luas penampang, sedangkan perhitungan analisis untuk prosen-

tase tulangan yang lain dilakukan dengan bantuan program komputer yang telah dibuat.

V.2.1. Analisis dengan metode ultimit

Mutu bahan:

K_{225} ----> f'c = 0,83.225=186,75 kg/cm^2

β1 = 0,85

U_{32} -----> Fy = 3200 kg/cm^2

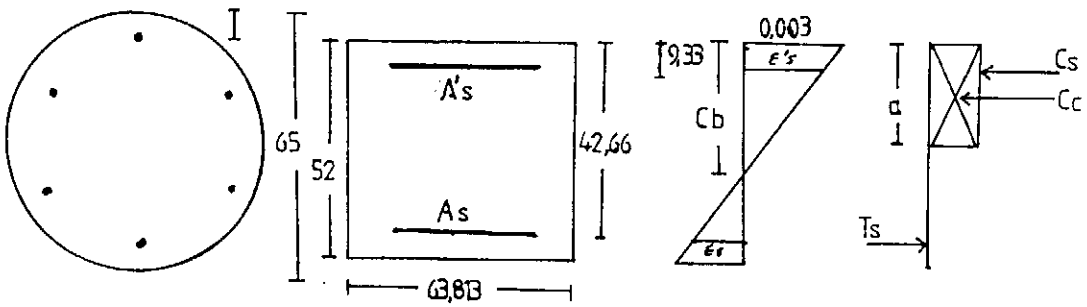
Ey = 2100000 kg/cm^2.

Jumlah tulangan 6, diameter 32 mm (Ast = 1,16% Ab).

Faktor keamanan untuk tekan dan lentur (θ) = 0,65.

1. Dalam keadaam imbang (*balanced*).

Untuk memudahkan perhitungan, analisis dilakukan dengan metode pendekatan Whytney, yaitu dengan membuat penampang persegi ekivalen sebagai pengganti penampang bulat. Prosedur pembuatan penampang persegi ekivalen dapat dilihat pada bab sebelumnya.



Gambar 5.2. Penampang aktual, persegi ekivalen, distribusi regangan-tegangan dan gaya.

- Mencari nilai Cb

$$\epsilon y = \frac{Fy}{Ey} = \frac{3200}{2100000} = 0{,}0015 \text{ (regangan leleh baja)}$$

$$Cb = \frac{0{,}003}{0{,}003 + \epsilon y} \cdot d$$

$$Cb = \frac{0{,}003}{0{,}003 + 0{,}0015} \cdot 42{,}66 \qquad Cb = 28{,}29 \text{ cm}$$

- Mencari nilai regangan baja desak

$$\frac{\epsilon' s}{0{,}003} = \frac{Cb - 9{,}33}{Cb}$$

didapat $\epsilon' s = 0{,}00201 > \epsilon y$ (baja desak sudah luluh)

dipakai $f' s = Fy = 3200 \text{ kg/cm}^2$

- Mencari nilai gaya

$Cs = A's.(f's - 0{,}85.f'c) = 58702{,}45$ kg

$Cc = 0{,}85.f'c.b.a_b$ $\qquad (a_b = \beta 1.Cb, \quad \beta 1 = 0{,}85)$

$Cc = 0{,}85.186{,}75.63{,}814.0{,}85.28{,}29$

$= 243586{,}46$ kg

$Ts = As.Fy = 19{,}302.3200 = 61766{,}4$ kg

- Mencari nilai Pb

$\Sigma V = 0$

$Cs + Cc - Ts - Pb = 0$

didapat $Pb = 240522{,}51$ kg

$\theta.Pb = 0{,}65.240522{,}51 = 156340$ kg

nilai Pb setelah disetarakan terhadap metode elastis adalah = 153640/1,29 = 119100,8 kg

- Mencari nilai Mb

ΣM terhadap titik tengah penampang

Mb = (Cs+Ts).(26-9,33) + Cc.(26 - 0,5.0,85.28,29)

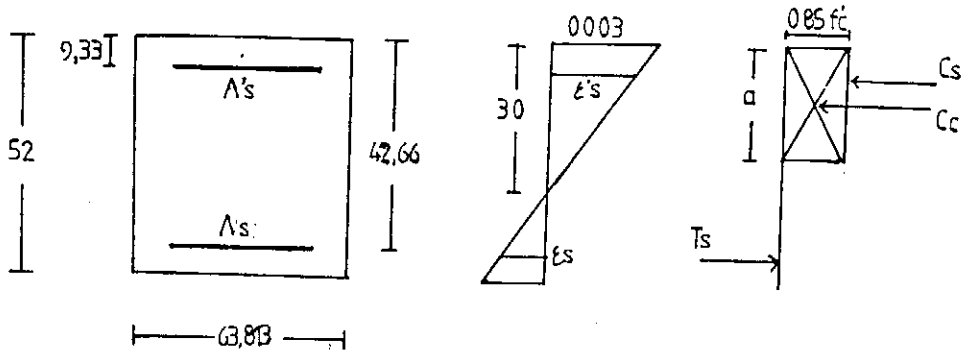
= 5412762,8 kg.cm

θ.Mb = 0,65.Mb = 3518295,8 kg.cm

nilai Mb setelah disetarakan terhadap metode elastis adalah = 3518295,8/1,28 = 2748668,6 kg.cm

2. Keadaan patah desak

Untuk menganalisis penampang kolom dalam keadaan patah desak, garis netral (Cu) yang diambil harus lebih besar dari garis netral dalam keadaan imbang (Cb). Diambil nilai Cu = 30 cm.



Gambar 5.3. Penampang ekivalen, distribusi tegangan-regangan, dan gaya-gaya yang bekerja.

- Mencari nilai regangan

$$\frac{\epsilon' s}{0,003} = \frac{30 - 9,33}{30}$$

didapat $\epsilon' s = 0,002067 > \epsilon y$ (baja desak sudah luluh)

dipakai $f' s = Fy = 3200\ kg/cm^2$

$$\frac{\epsilon s}{0,003} = \frac{42,66 - 30}{30}$$ didapat $\epsilon s = 0,001266 < \epsilon y$

$fs = 0,001266.3200 = 2658,6\ kg/cm^2$

- Mencari nilai-nilai gaya

$Cs = A's.(f's - 0,85.f'c) = 19,302\ (3200 - 158,7)$

$= 58703,173\ kg$

$Cc = 0,85.f'c.b.a = 0,85.f'c.b.\beta 1.Cu$

$= 0,85.186,75.63,814.0,85.25,5$

$= 258650,78\ kg$

$Ts = As.fy = 19,302.2658,6$

$= 51316,297\ kg$

- Mencari nilai Pn

$\Sigma V = 0$

$Pn = Cs + Cc - Ts = 266037,656\ kg$

$\theta.Pn = 172924,576\ kg$

nilai Pn setelah disetarakan terhadap metode elastis adalah = 172924,576/1,29 = 134050,06 kg

- Mencari nilai Mn

ΣM = 0 (terhadap titik tengah penampang)

Mn = Cs.(52/2 - 9,33) + Cc.(52/2 - 25,5/2)

+ Ts.(52/2 - 9,33)

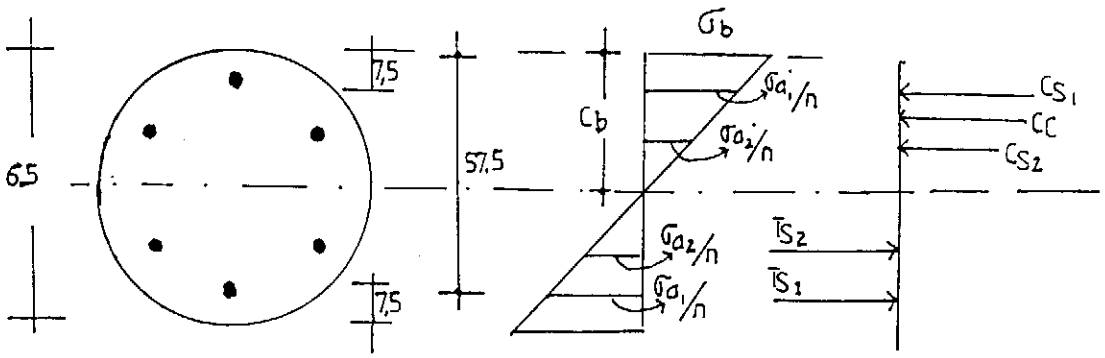
= 5255974,384 kg.cm

θ.Mn = 3416383,35 kg.cm

nilai Mn setelah disetarakan terhadap metode elastis adalah = 3416383,35/1,28 = 2669049,5 kg.cm

V.2.2. Analisis dengan metode elastis

Dalam analisis kolom bulat secara elastis, dipakai penampang aktual, sehingga dalam perhitungan diperlukan pengetahuan tentang luas dan titik berat beton yang tertekan (lihat gambar 5.4). Adapun pengerjaan secara manual dibahas kolom dalam keadaan seimbang, untuk keadaan lain dikerjakan dengan bantuan program komputer.



Gambar 5.4. Penampang aktual, distribusi tegangan dan gaya

Mutu bahan:

K_{225} -------> $\sigma'b = 75\ kg/cm^2$

U_{32} -------> $\sigma a = 1850\ kg/cm^2$

$n = 21$

- Mencari nilai Cb

$$Cb = \frac{\sigma'b}{\sigma'b + \sigma a1/n} \cdot d$$

$$Cb = \frac{75}{75 + 1850/21} \cdot 57,5 = 26,4416\ cm$$

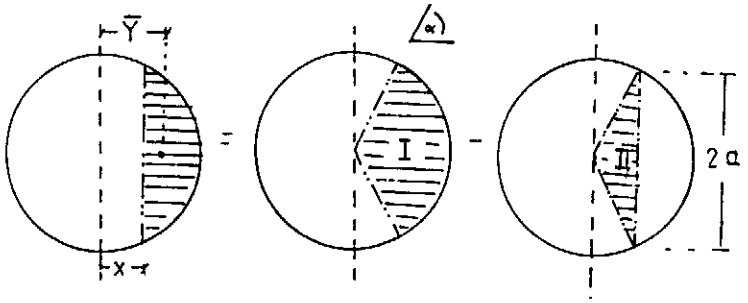
- Mencari nilai tegangan

$$\sigma'a1 = n.\sigma'b. \frac{(26,4416 - 7,5)}{26,4416} = 1128,261\ kg/cm^2 < \sigma a$$

$$\sigma'a2 = n.\sigma'b. \frac{(26,4416 - 24,167)}{26,4416} = 135,51\ kg/cm^2 < \sigma a$$

$\sigma a1 = 1850\ kg/cm^2$

$$\sigma'a1 = n.\sigma'b. \frac{(14,392)}{26,4416} = 857,25\ kg/cm^2 < \sigma a$$



Gambar 5.5. Luasan beton yang terdesak

- Mencari luasan beton yang terdesak (Acc)

Dari gambar terlihat:

$x = 0{,}5D - Cb = 32{,}5 - 26{,}44$

$= 6{,}0584$ cm

$\alpha = \text{arc.cos } x/r = \text{arc. cos } (6{,}0584/32{,}5) = 79{,}2565^{o}$

$a = r.\ \sin \alpha = 32{,}5.\ \sin 79{,}2565^{o}$

$= 31{,}93$ cm

$$\text{luasan I } (A1) = \frac{2.\alpha}{360} . \pi . r = 1461{,}1 \text{ cm}^2$$

$$\text{luasan II } (A2) = 0{,}5.(2a).x = 193{,}4467 \text{ cm}^2$$

sehingga luas beton yang tersedak (Acc) adalah:

$Acc = A1 - A2 = 1267{,}65 \text{ cm}^2$

- Mencari letak titik berat (Y) beton terdesak

$y2 = 2/3.x = 2/3.(6{,}0584) = 4{,}039$

$$y1 = 2/3.r.\frac{tb}{bs}$$ (tb = tali busur, bs = busur)

$$= 2/3.r\ \frac{2.r.\sin\alpha}{2.r.\alpha.\pi/180} = 15{,}39 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma(A_i.y_i)}{\Sigma A}$$

$$= \frac{A1.y1 - A2.y2}{A1 - A2} = 17{,}121 \text{ cm}$$

(dari atas titik tengah penampang)

- Mencari nilai gaya

Cs1 = 1ø32.(σ'a1) = 8,0425.(1128,261) = 9074,0134 kg

Cs2 = 2ø32.(σ'a2) = 16,085.(135,507) = 2179,624 kg

Cc = 0,5.Ac.σ'b = 0,5.1267,65.75 = 47536,88 kg

Ts2 = 2ø32.(σa2) = 16,085.(857,247) = 13788,78 kg

Ts1 = 1ø32.(σa1) = 8,0425.(1850) = 14878,583 kg

- Mencari nilai Pb

Σ V = 0

Cs1 + Cs2 + Cc - Ts1 - Ts2 - Pb = 0

didapat Pb = 30123,15 kg

- mencari nilai Mb

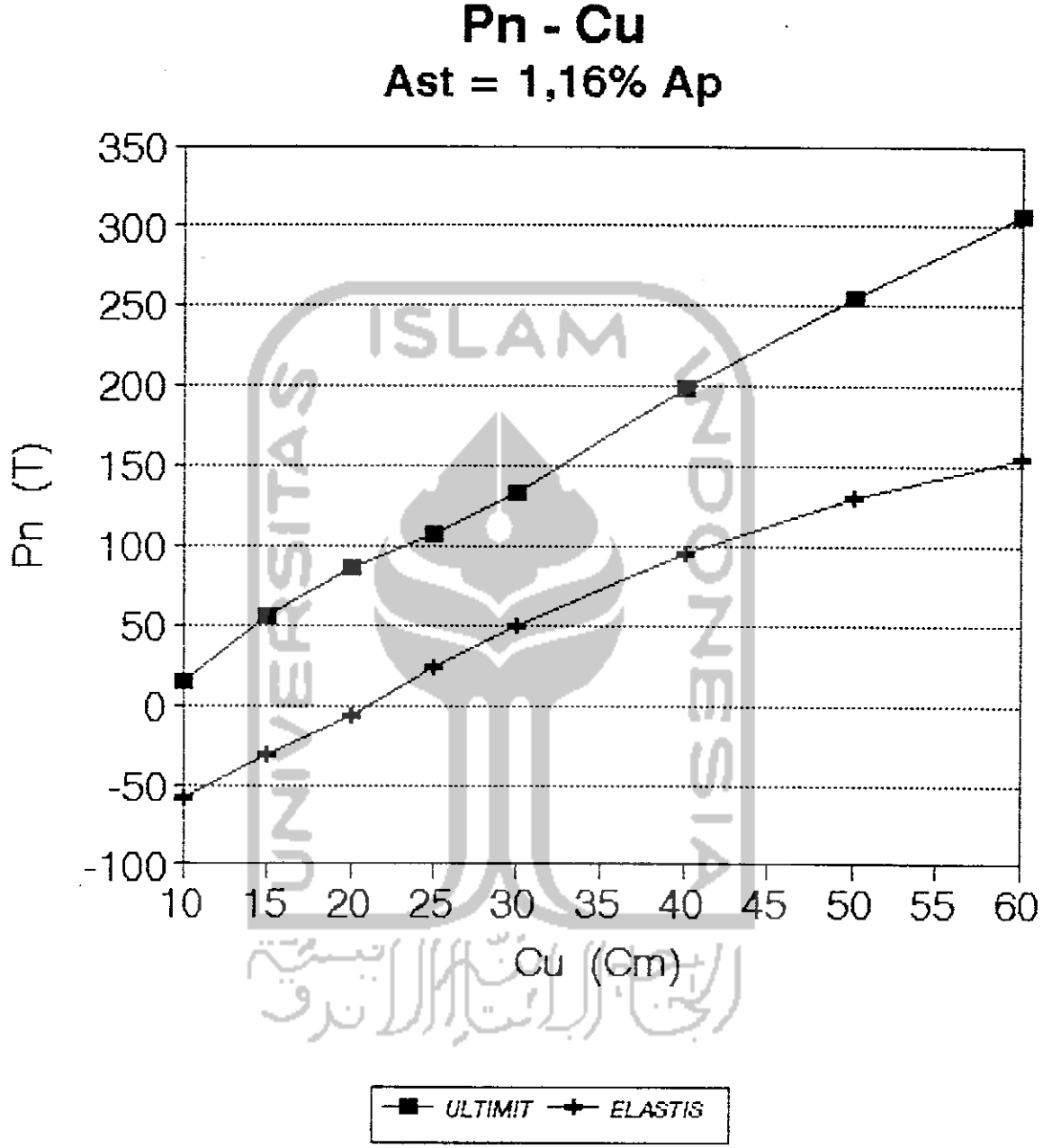
ΣM terhadap titik tengah penampang

Mb = (Cs1+Ts1).(0,5D-7,5) + (Cs2+Ts2).(0,5D-24,1667)
+ Cc.(17,121)
= 1545745,1 kg.cm

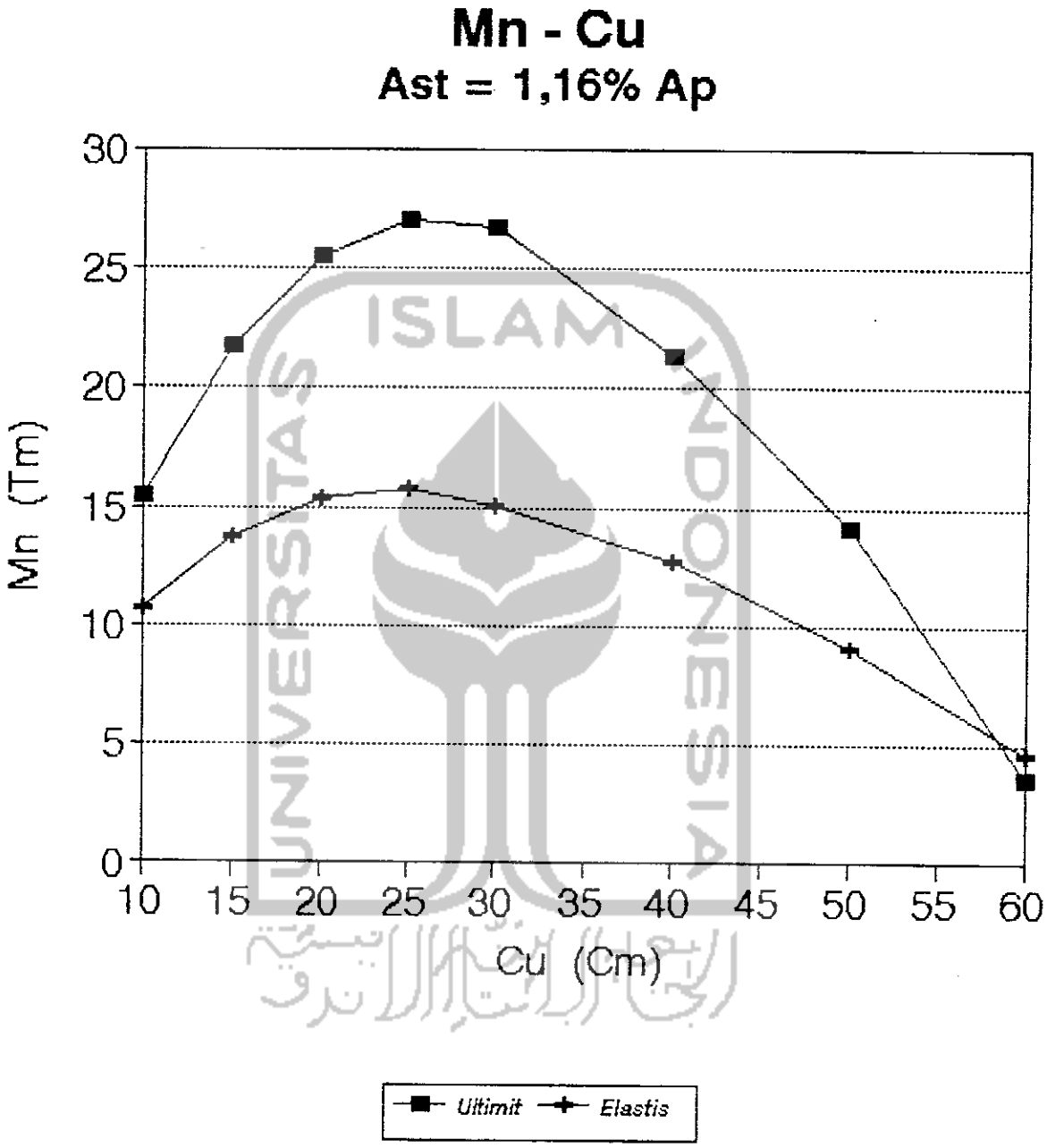
Di bawah ini disajikan tabel hasil hitungan komputer untuk Pn dan Mn. Nilai-nilai pada metode ultimit telah disetarakan terhadap metode elastis dengan membagi hasil hitungan komputer dengan nilai banding. Disajikan pula grafik hubungan Mn - Cu, Pn - Cu, dan diagram interaksi antara Pn dan Mn.

Ultimit				Elastis			
cu (cm)	Mn (Tm)	Pn (T)	e_n (cm)	cu (cm)	Mn (Tm)	Pn (T)	e_n (cm)
60	3,56006	306,05178	1,16320	60	4,524346	154,8689	2,9214
50	14,10267	253,9535	5,55530	50	9,005284	129,3130	6,9639
40	21,39400	199,04350	10,74800	40	12,74369	94,5859	13,4731
30	26,69090	133,87906	19,93650	30	15,00730	49,7968	30,1370
Cb= 28,2970	Mb=27,4802	Pb=121,2434	eb=22,66	Cb= 26,4416	Mb=15,75041	Pb=30,12294	Eb=52,3
25	27,00116	106,91829	25,25400	25	15,69414	22,88831	68,5683
20	25,49815	85,22589	29,91832	20	15,37999	- 6,11097	-251,68
15	21,72843	55,57131	39,10000	15	13,72427	- 32,0606	-42,807
10	15,41220	14,82365	103,9700	10	10,704223	- 59,08401	-18,117
Po = 324,571 , Mo = 10,597				Po = 334,525 , Mo = 15,41977			

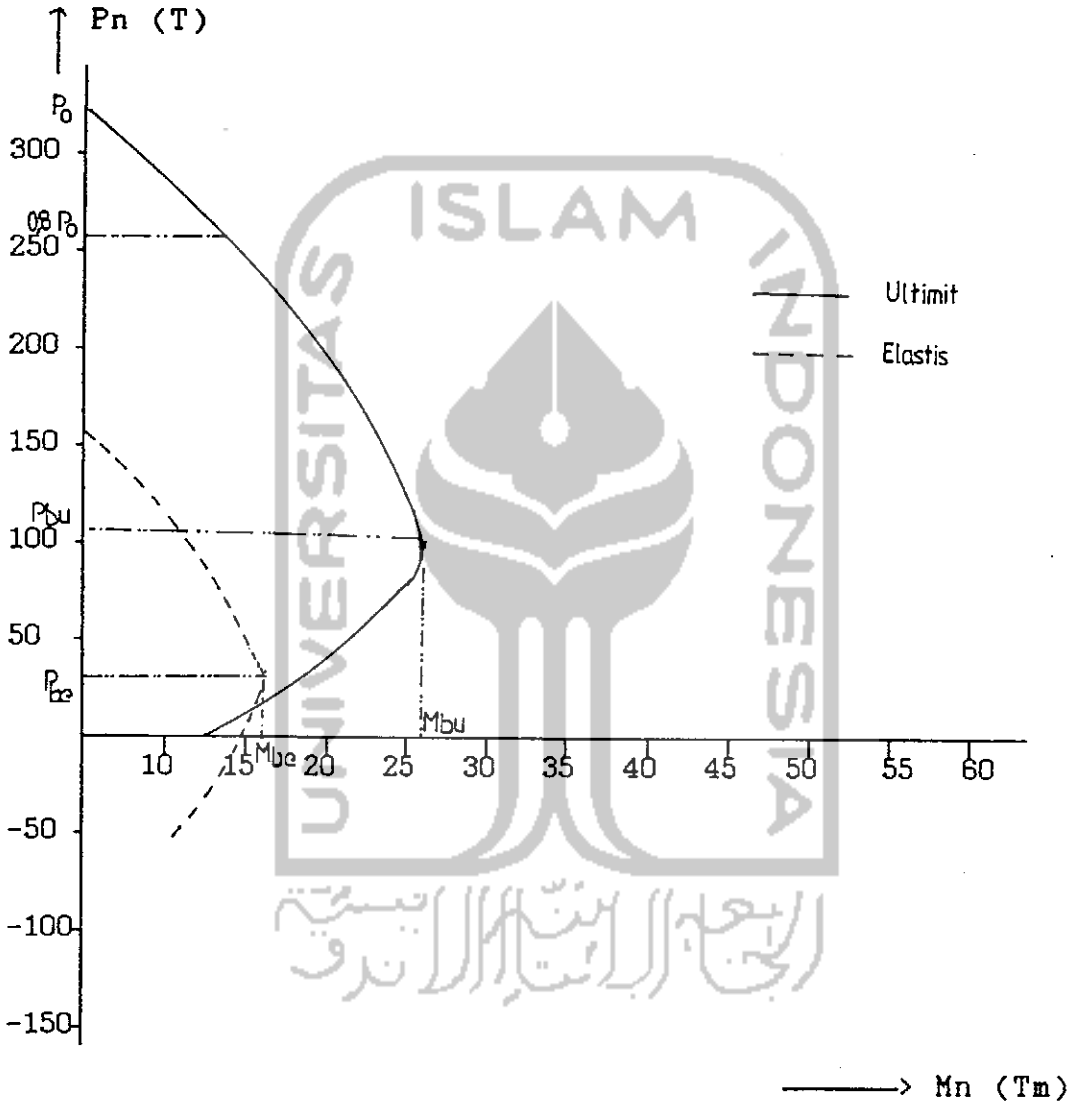
Tabel 5.1. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 1,16% A_p



Gambar 5.6. Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 6ø32 mm (Ast = 1,16% Ap).



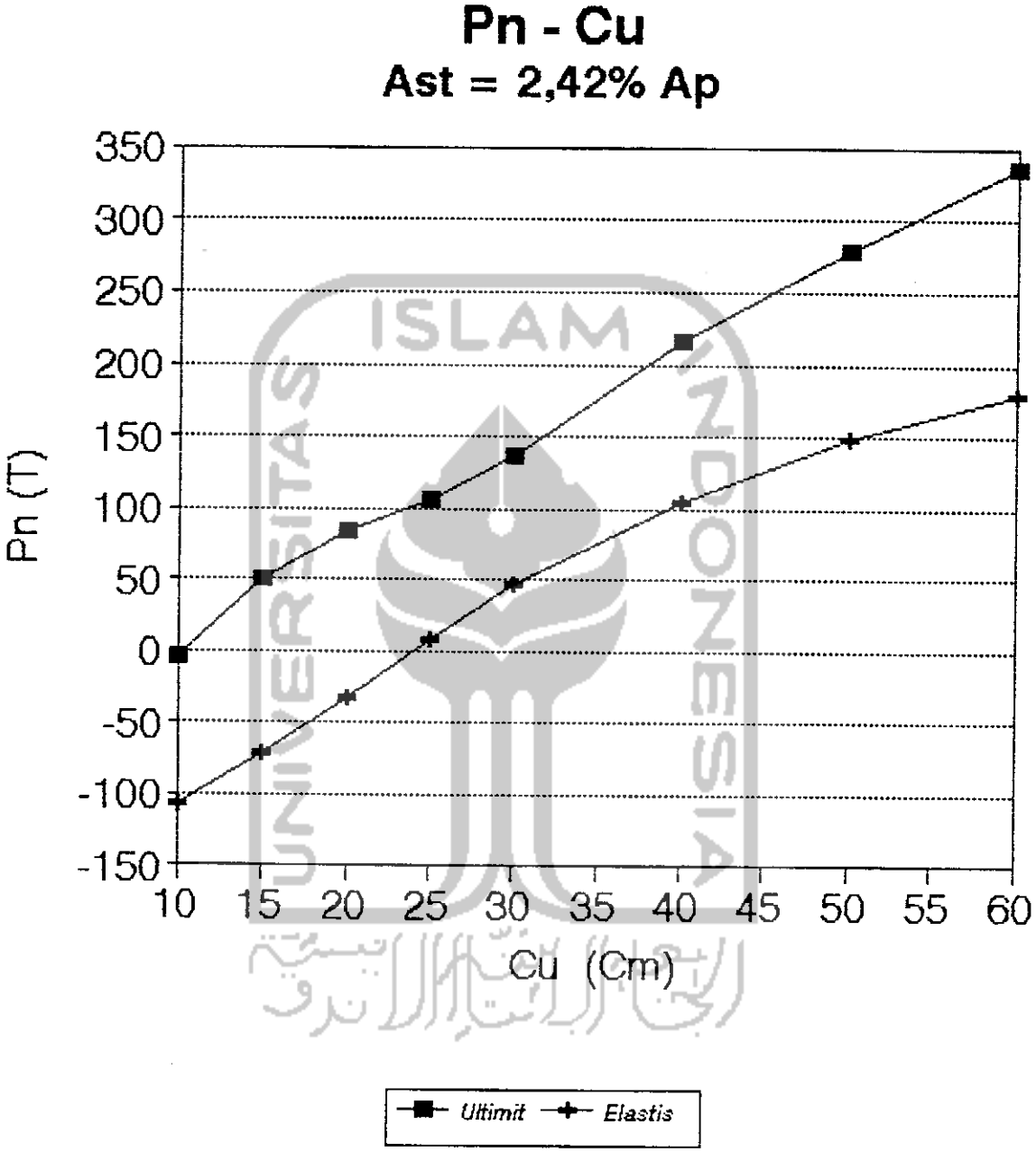
Gambar 5.7. Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 6ø32 mm (Ast = 1,16% Ap).



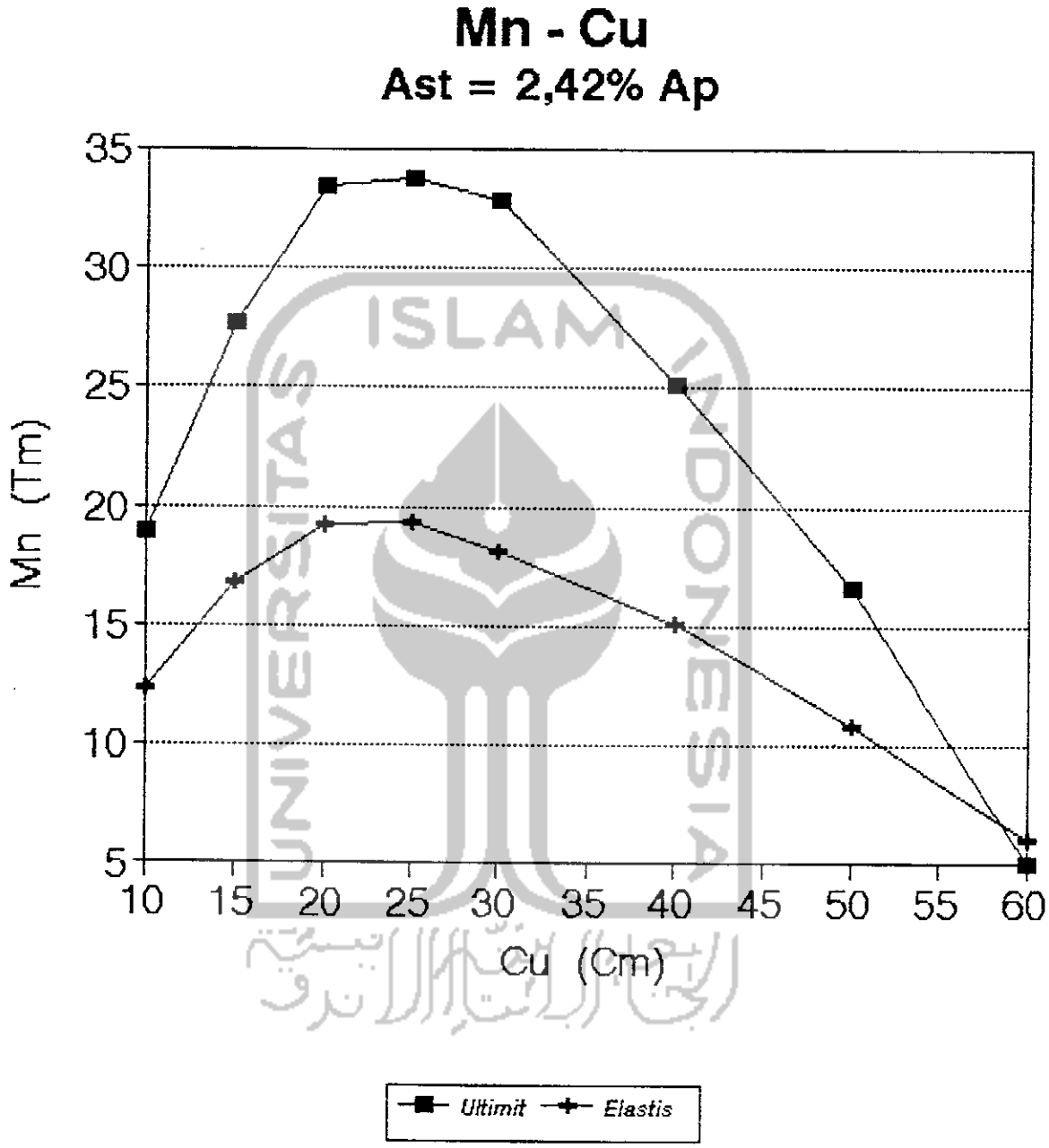
Gambar 5.8. Diagram interaksi antara Pn - Mn.
Jumlah tulangan 6ø32 mm (Ast = 1,16% Ap).

Ultimit				Elastis			
cu (cm)	Mn (Tm)	Pn (T)	e_n (cm)	cu (cm)	Mn (Tm)	Pn (T)	e_n (cm)
60	5,06650	335,7308	1,5091	60	6,04912	178,091	3,3966
50	16,54896	277,9759	5,95330	50	10,8350	147,0468	7,3684
40	25,11360	215,5022	11,6535	40	15,03082	104,0863	14,440
30	32,84359	135,94945	24,1586	30	18,05677	45,5748	39,62
Cb= 28.2970	Mb=34,2201	Pb=119,8434	Eb=28,55	Cb= 26,4416	Mb=19,21026	Pb=18,51414	Eb=103,7
25	33,7456	105,54914	31,9309	25	19,35349	7,66839	251,723
20	33,4834	83,92460	24,7186	20	19,19264	-32,70094	-58,6914
15	27,5929	49,25002	56,0259	15	16,79716	-71,66916	-23,4371
10	18,90655	-4352,9728	-0,4343	10	12,31766	-107,8414	-11,4220
Po = 363,177 , Mo = 17,659				Po = 391,6267 , Mo = 195,128			

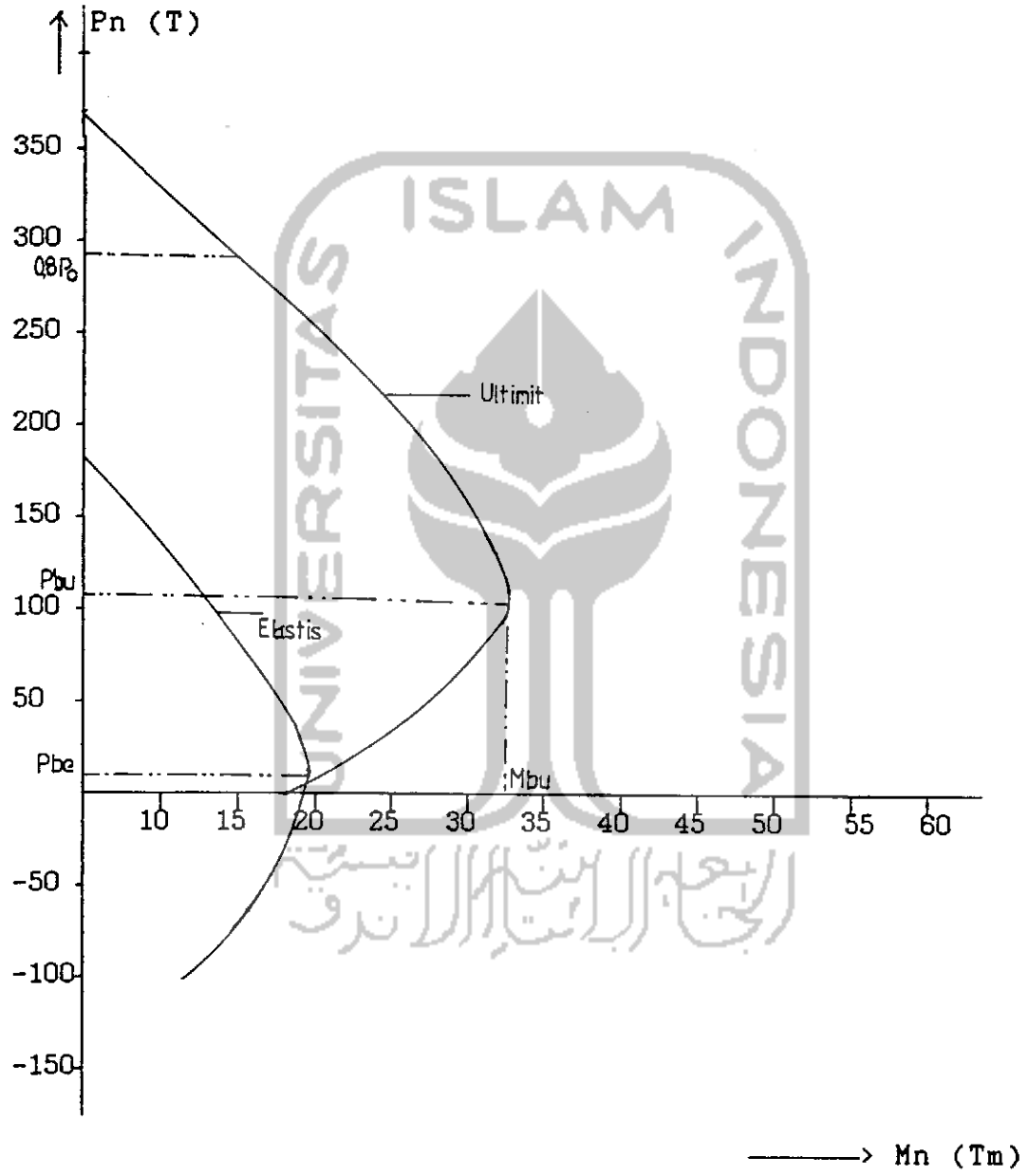
Tabel 5.2. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 2,42% A_p



Gambar 5.9. Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 10ø32 mm (Ast = 2,42% Ap).



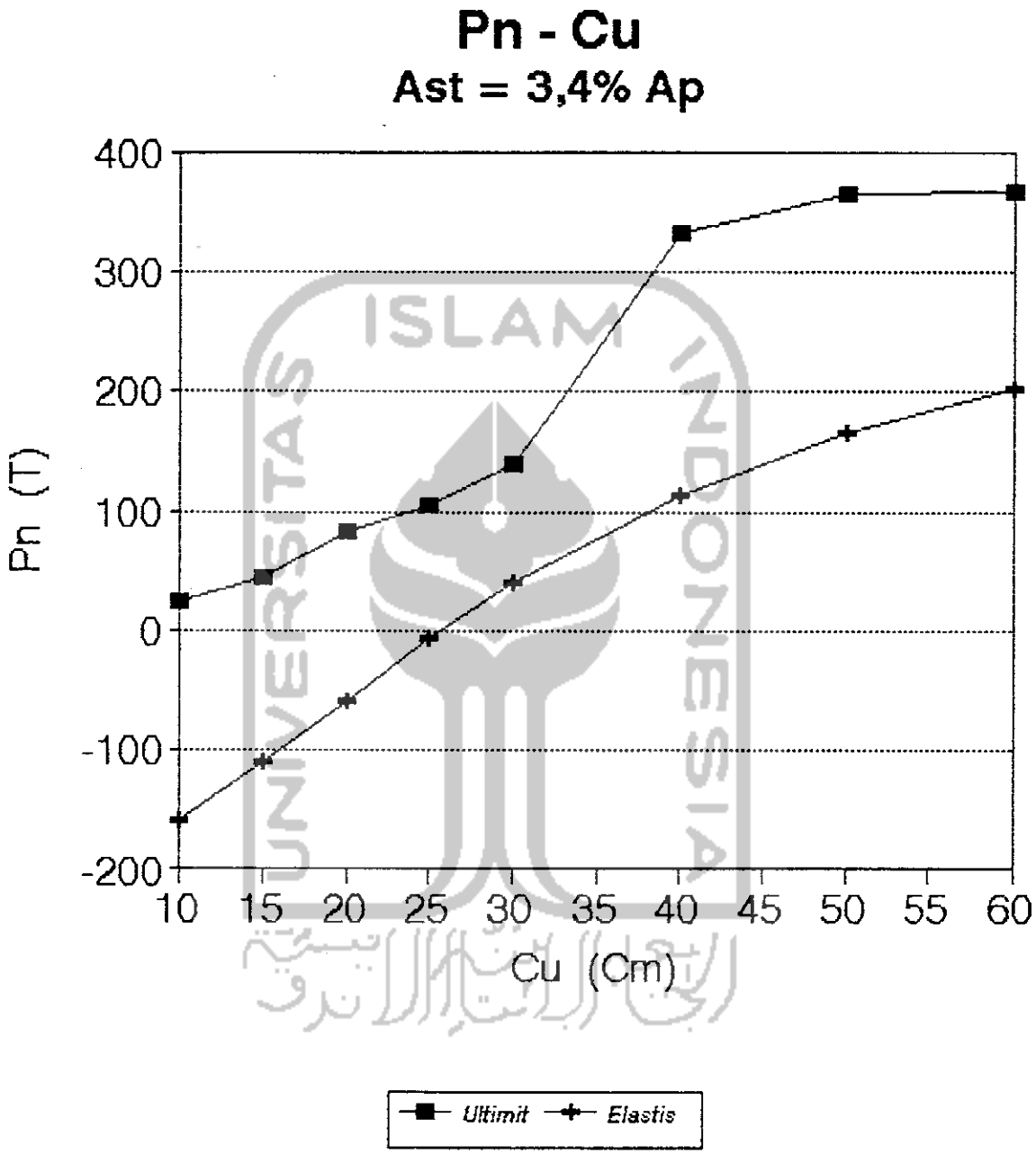
Gambar 5.10. Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 10ø32 mm (Ast = 2,42% Ap).



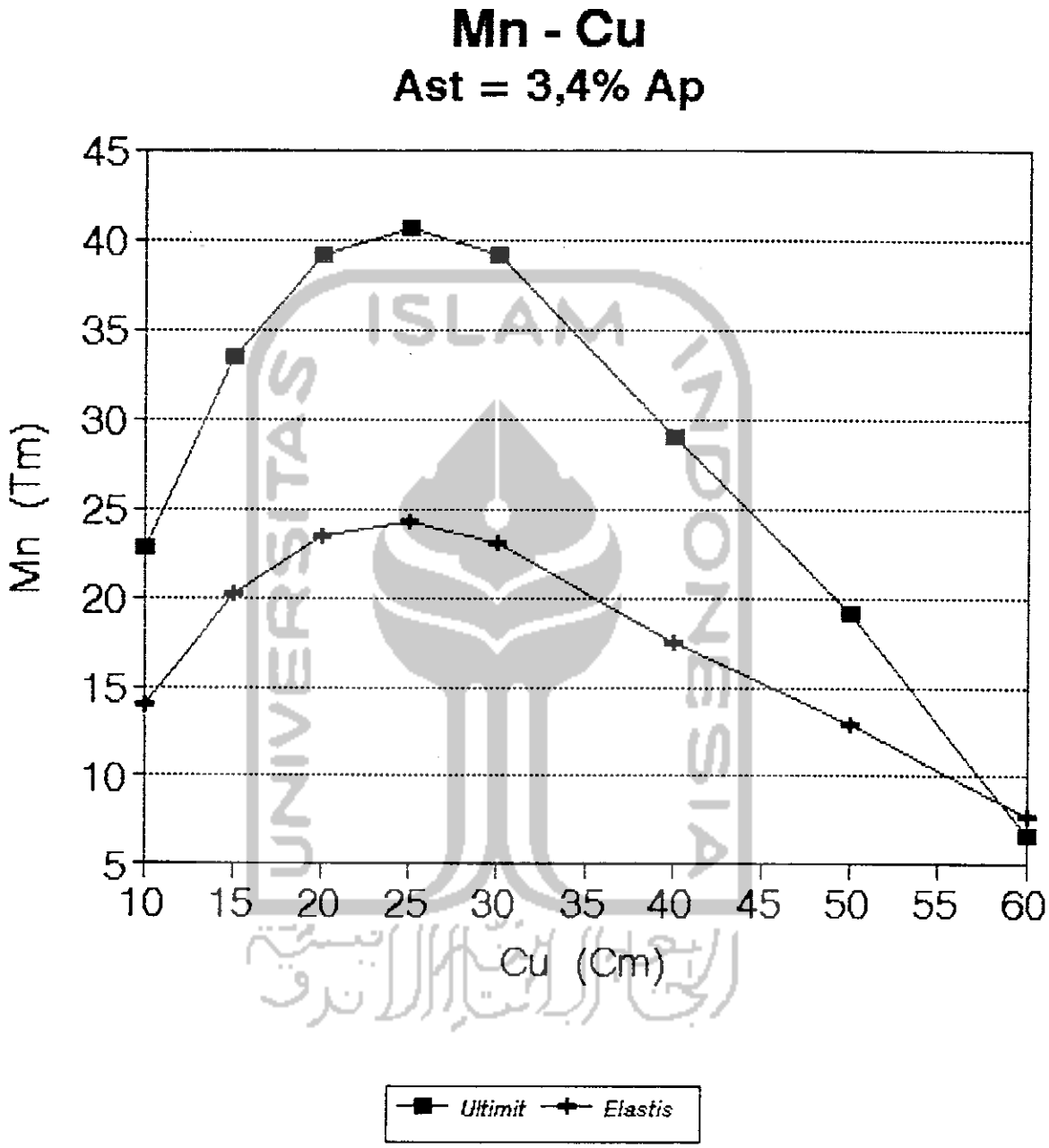
Gambar 5.11. Diagram interaksi antara Pn - Mn.
Jumlah tulangan 10ø32 mm (Ast = 2,42% Ap).

Ultimit				Elastis			
cu (cm)	Mn (Tm)	Pn (T)	e_n (cm)	cu (cm)	Mn (Tm)	Pn (T)	e_n (cm)
60	6,574184	367,0417	1,7911	60	7,70787	201,3141	3,8287
50	19,0603	363,3267	6,28300	50	12,82550	164,7804	7,78340
40	28,93188	333,0488	8,6870	40	17,51895	113,5865	15,4234
30	39,1052	138,8384	28,1660	30	21,37428	41,3525	51,688
Cb= 28.2970	Mb=41,0684	Pb=119,214	Eb=3,449	Cb= 26,4416	Mb=22,97422	Pb= 6,90503	Eb=332,7
25	40,59942	104,8597	38,7128	25	23,33451	-7,5118984	-310,636
20	39,0912	83,16737	47,003	20	23,37759	-60,74899	-38,4826
15	33,53811	42,89803	78,1810	15	20,13908	-110,474	-18,2297
10	22,7069	23,25778	-97,6314	10	13,91753	-160,1173	-8,6921
Po = 403,4466 , Mo = 24,7190				Po = 448,72841 , Mo = 23,25686			

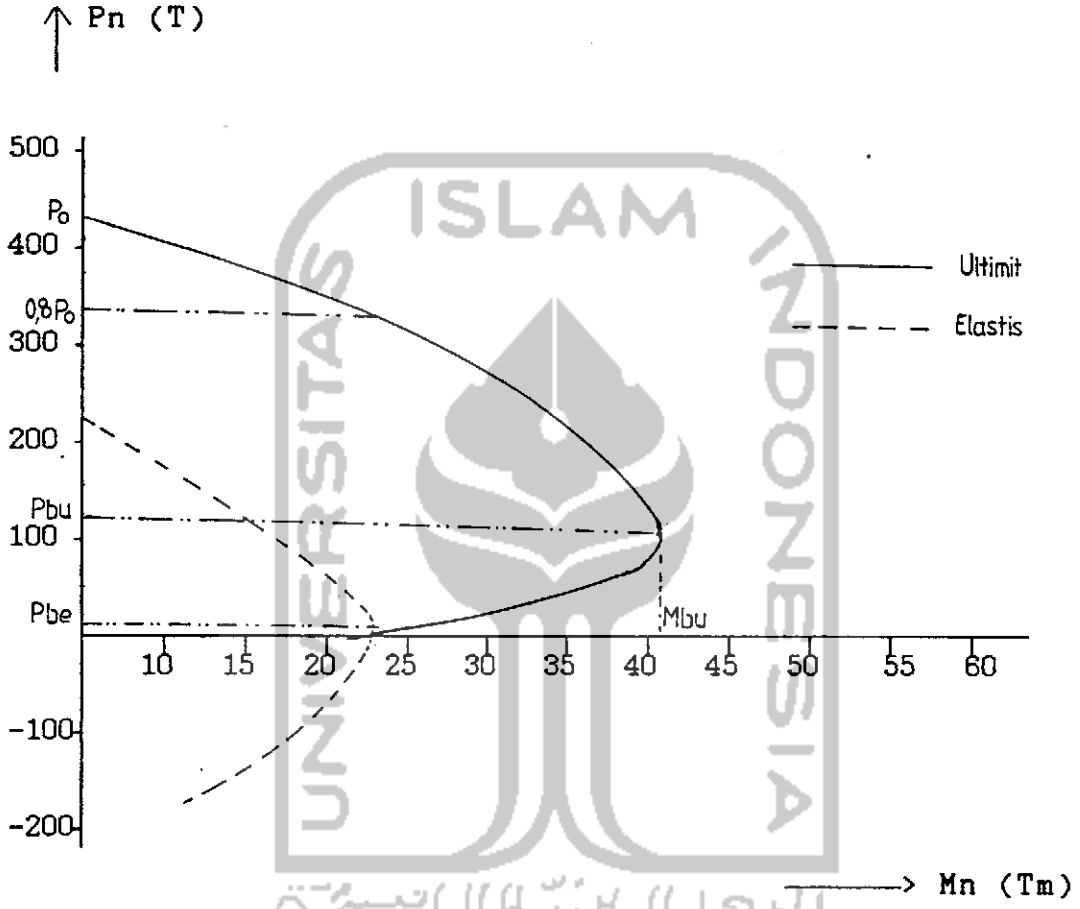
Tabel 5.3. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 3,4% A_p



Gambar 5.12. Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 14ø32 mm (Ast = 3,4% Ap).



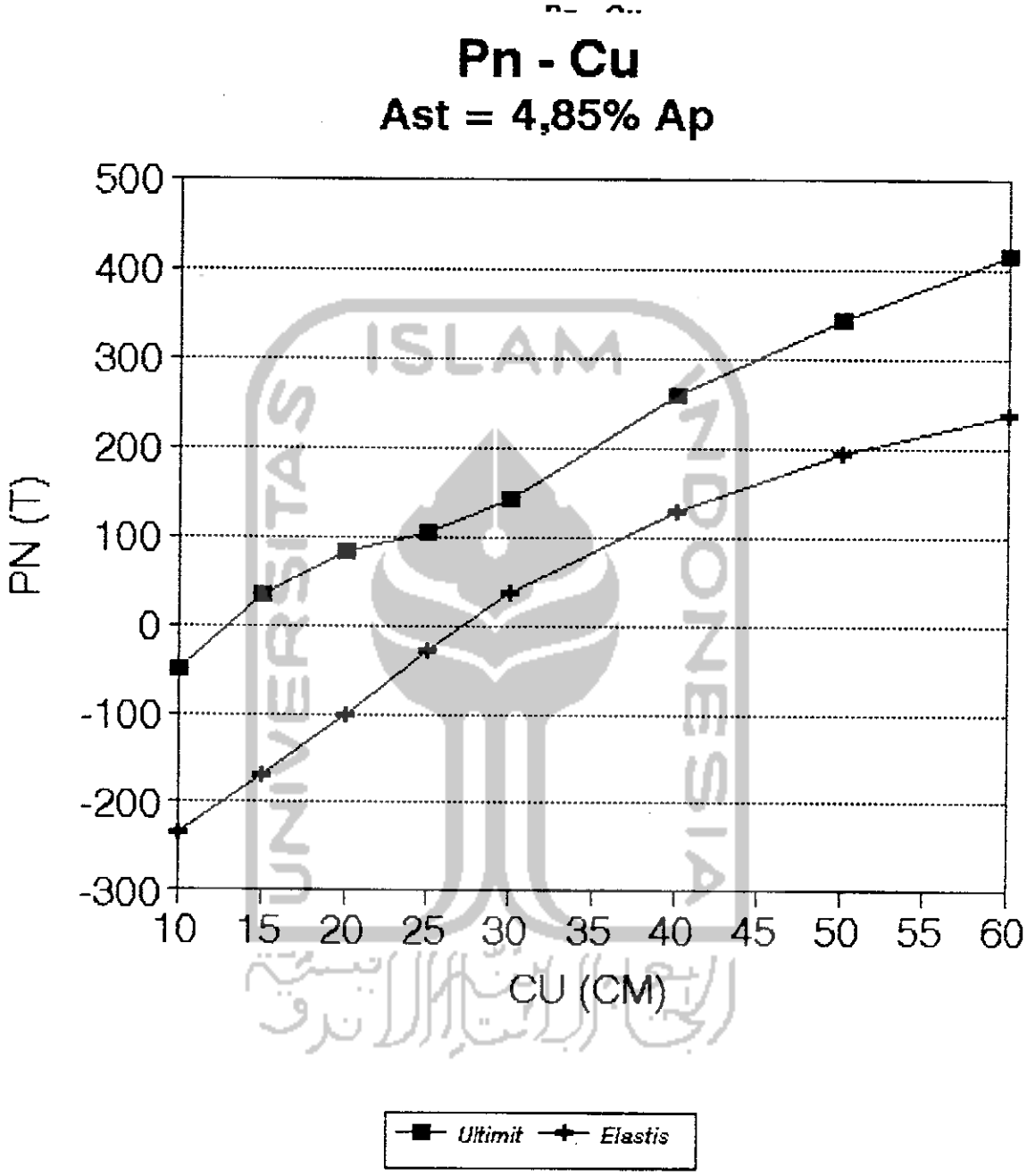
Gambar 5.13. Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 14ø32 mm (Ast = 3,4% Ap).



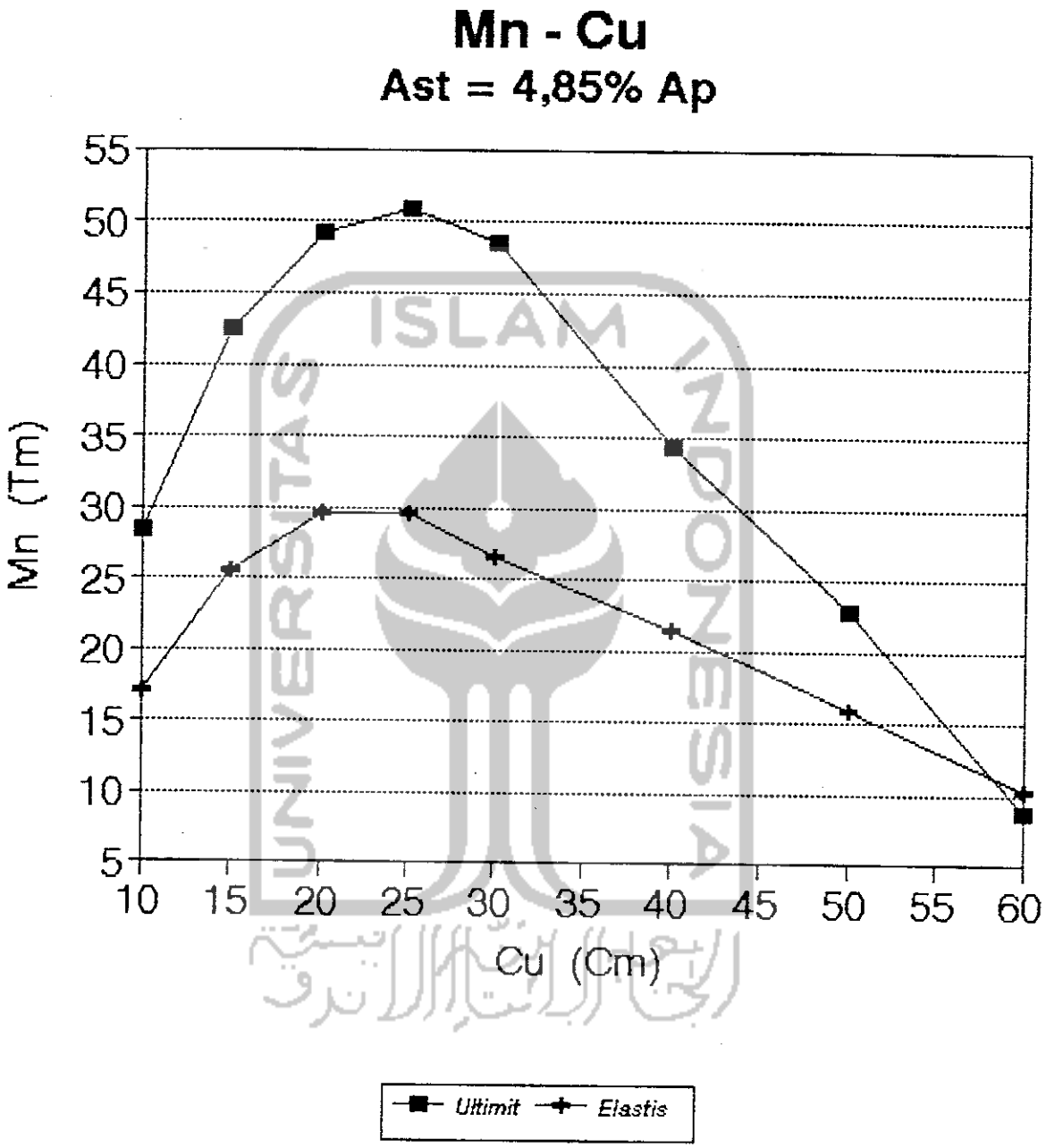
Gambar 5.14. Diagram interaksi antara Pn - Mn.
Jumlah tulangan 14ø32 mm (Ast = 3,4% Ap).

Ultimit				Elastis			
cu (cm)	Mn (Tm)	Pn (T)	e_n (cm)	cu (cm)	Mn (Tm)	Pn (T)	e_n (cm)
60	8,8295	412,7843	2,1224	60	10,27141	236,148	4,3495
50	22,7786	340,3583	6,64070	50	15,90174	191,3808	8,3089
40	34,2692	258,5529	13,2728	40	21,36424	127,8367	16,7121
30	48,4159	142,5601	33,69847	30	26,50133	35,01912	75,6768
Cb= 28.2970	Mb=51,2598	Pb=117,6919	Eb=43,21	Cb= 28.2970	Mb=28,79125	Pb=-10,50855	Eb=-273,9
25	50,8589	103,3159	48,7785	25	29,48697	-30,31213	-97,27776
20	49,2860	81,62356	59,914	20	29,57744	-100,4585	-29,4424
15	42,3953	33,07657	125,9758	15	25,30204	-169,1838	-14,9553
10	28,3627	-51,8188	-54,3101	10	17,00237	-233,203	-7,2908
Po = 462,6043 , Mo = 35,305				Po = 534,3801 , Mo = 28,46633			

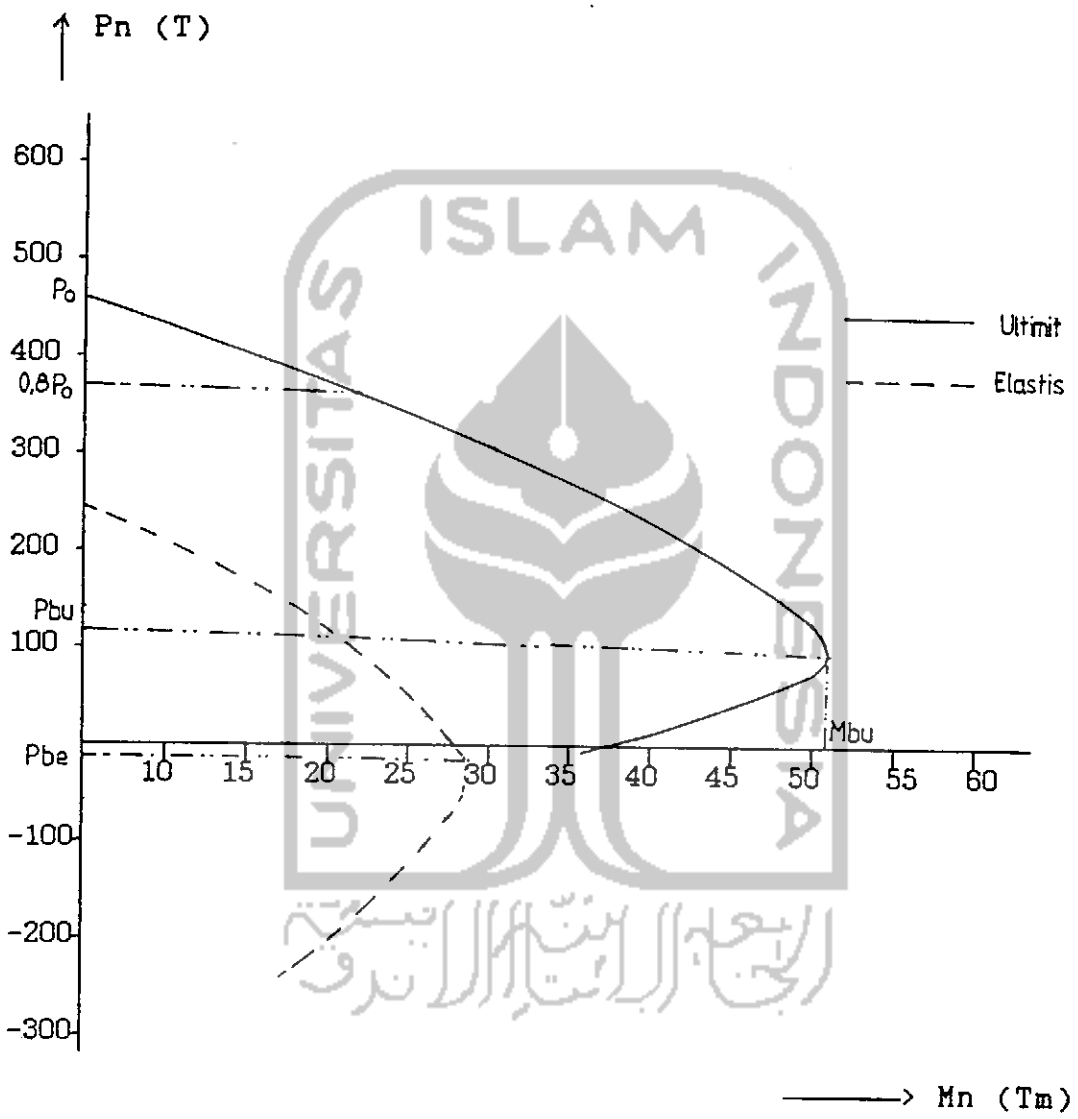
Tabel 5.4. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 4,85% A_p



Gambar 5.15. Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 20ø32 mm (Ast = 4,85% Ap).



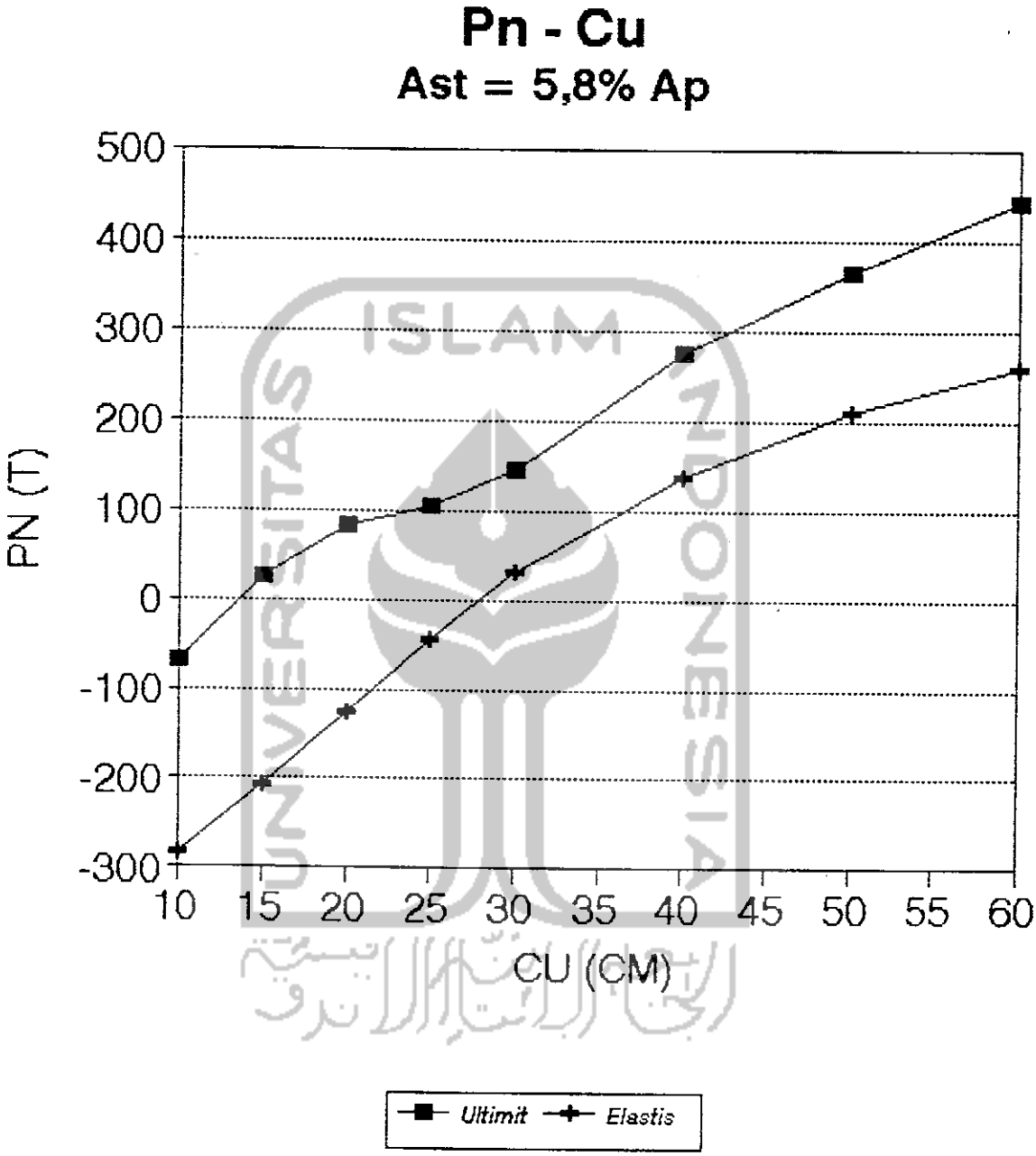
Gambar 5.16. Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 20ø32 mm (Ast = 4,85% Ap).



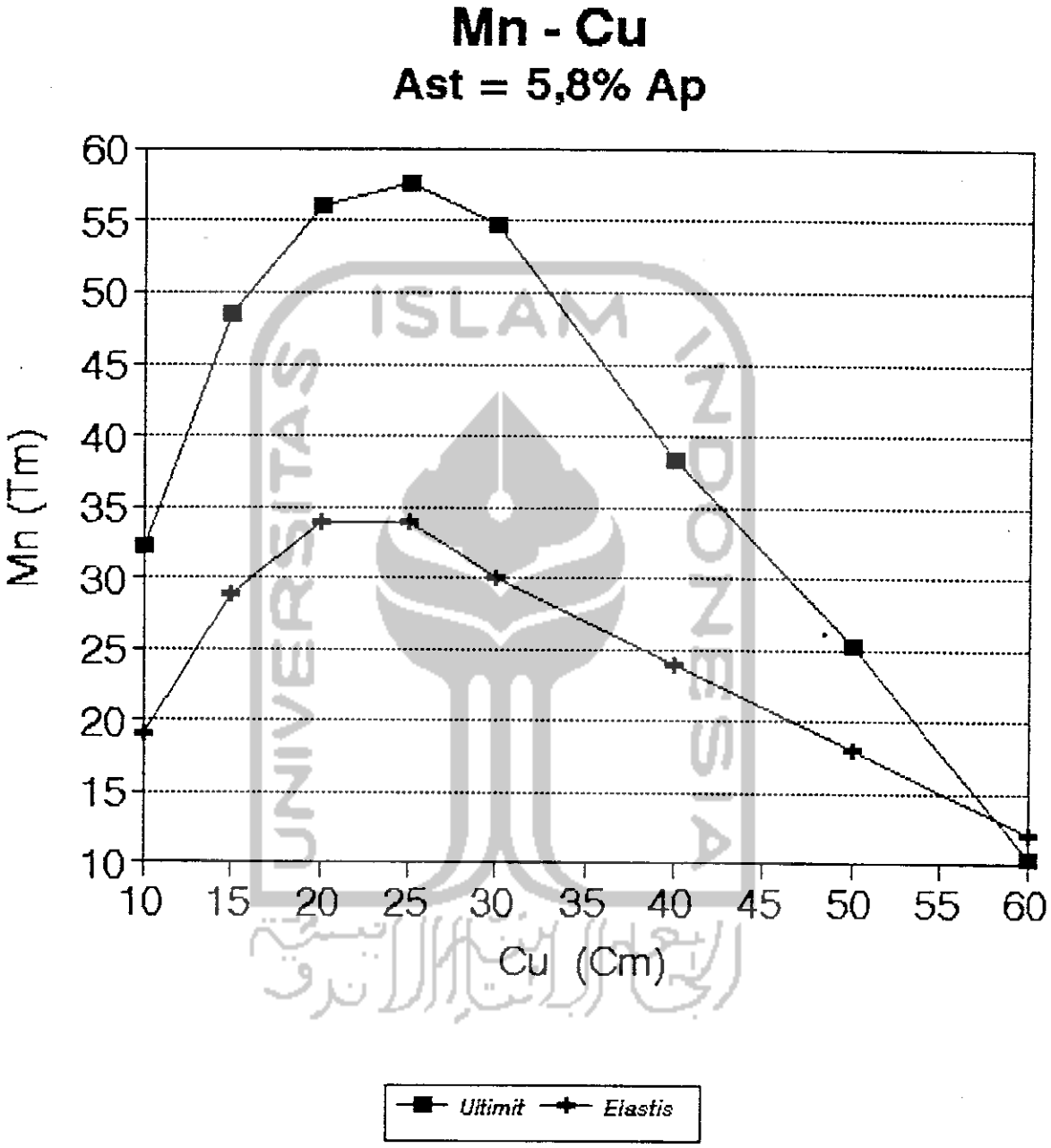
Gambar 5.17. Diagram interaksi antara Pn - Mn.
Jumlah tulangan 20ø32 mm (Ast = 4,85% Ap).

Ultimit				Elastis			
cu (ca)	Mn (Ta)	Pn (T)	e_n (ca)	cu (ca)	Mn (Ta)	Pn (T)	e_n (ca)
60	10,3330	443,2793	2,312986	60	12,00137	259,3705	4,62711
50	25,2574	365,0428	6,865402	50	17,97770	209,1144	8,59706
40	38,3543	275,5555	13,81098	40	23,95919	137,3368	17,4456
30	54,6230	145,0413	37,36841	30	29,96127	30,7968	97,2870
Cb= 28.2970	Mb=58,0538	Pb=116,6771	Eb=49,37	Cb= 28.2970	Mb=32,71681	Pb=-22,11771	Eb=-147,9
25	57,5855	102,2867	55,86176	25	33,63889	-45,51241	-73,912
20	56,0825	80,5937	69,04683	20	33,77712	-127,0489	-26,586
15	48,3002	27,0557	177,1372	15	28,78711	-207,3855	-13,881
10	32,1333	-70,8596	-44,9963	10	19,07331	-281,9604	-6,7645
Po = 502,0426 , Mo = 42,3597				Po = 591,4815 , Mo = 31,83035			

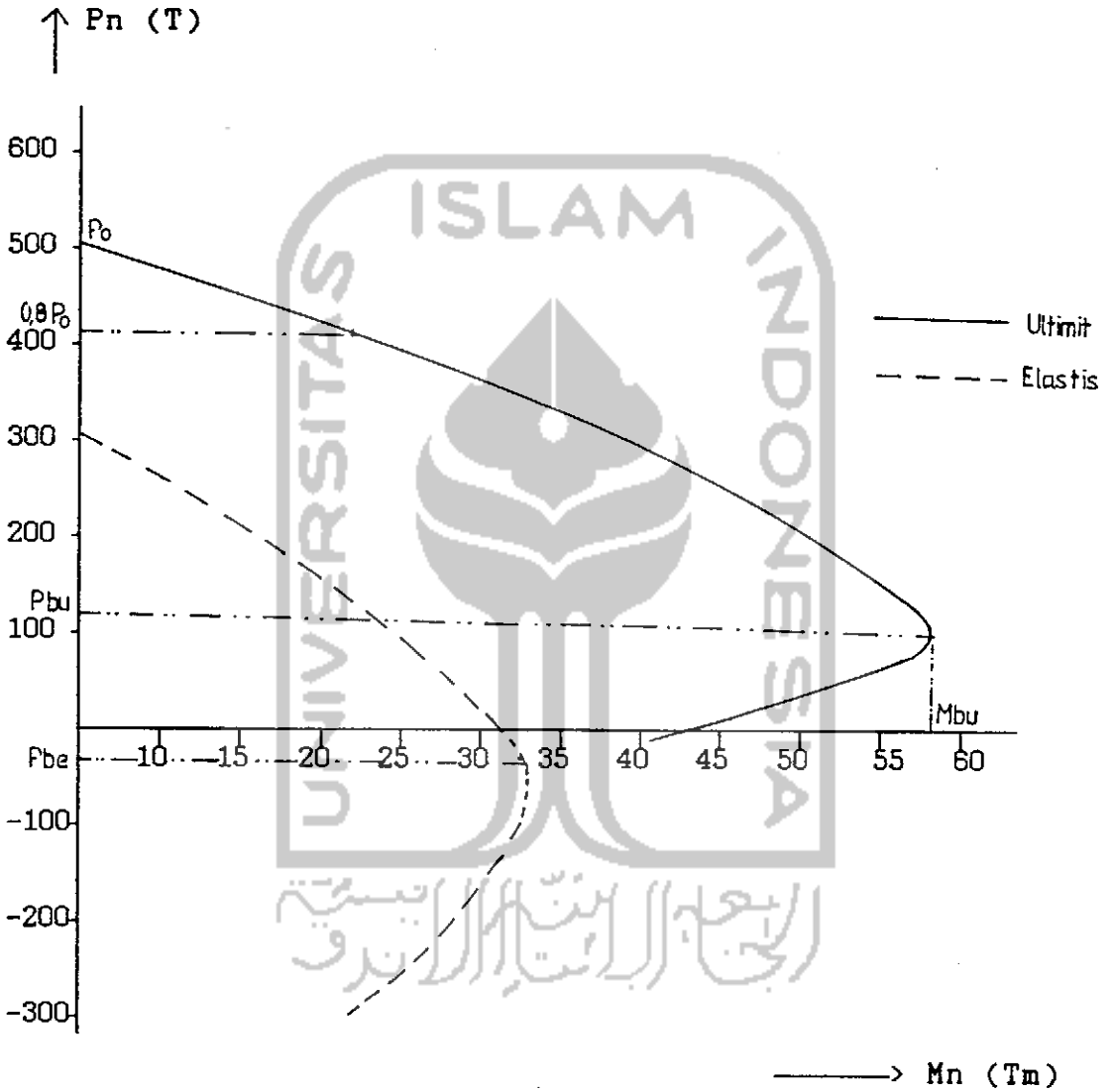
Tabel 5.5. Hasil Mn dan Pn dengan A_{st} = 5,8% A_p



Gambar 5.18. Hubungan antara beban perencanaan kolom (Pn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 24ø32 mm (Ast = 5,8% Ap).



Gambar 5.19. Hubungan antara momen perencanaan kolom (Mn) dengan garis netral kolom (Cu), jumlah tulangan 24ø32 mm (Ast = 5,8% Ap).



Gambar 5.20. Diagram interaksi antara Pn - Mn.
Jumlah tulangan 24ø32 mm (Ast = 5,8% Ap).

Dari gambar hubungan Pn - Cu dan Mn - Cu dengan prosentase tulangan 1,16% sampai 5,8%, terlihat bahwa beban dan momen yang dapat didukung oleh kolom dengan perhitungan metode ultimit lebih besar dibanding dengan hitungan elastis.

Pada perhitungan elastis, nilai Cu kecil menghasilkan beban negatif, hal ini menunjukkan eksentrisitas beban yang terjadi sangat besar, sehingga faktor yang berpengaruh pada kolom hanya berupa momen, aksial tekan dianggap tidak berpengaruh.

Dari hubungan Pn - Cu dan Mn - Cu, dapat diambil prosentase pertambahan beban dan momen dari perhitungan dengan metode ultimit terhadap metode elastis, dan dapat ditentukan pada prosentase tulangan berapa perhitungan dengan metode ultimit akan sangat efisien dalam mampu menahan beban dan momen. Dalam menentukan besar pertambahan beban dan momen, pada Cu yang menghasilkan Pn negatif, tidak disertakan/ tidak diperhitungkan. Adapun prosentase pertambahan ini disajikan pada tabel 5.6.

Dari gambar hubungan Pn - Mn, pada metode ultimit terlihat jelas batasan antara daerah patah tarik dan patah desak untuk semua prosentase tulangan. Pada perhitungan elastis hanya sampai 3,4% yang masih menunjukkan batasan yang jelas, sedangkan pada prosentase tulangan 4,85% dan 5,8%, kondisi sudah merupakan patah desak semua.

Pertambahan ($\tilde{N}$)		
Cu	$\tilde{N}_1$(%)	$\tilde{N}_2$(%)
60	97,6	-27,1
50	96,38	56,5
40	110	67,87
30	168	77,85
25	366	72,1
20	-	65,7
15	-	58,3
10	-	43,8
$\Sigma\tilde{N}_1$= 837,98		$\Sigma\tilde{N}_2$=415,02

(a)

Pertambahan ($\tilde{N}$)		
Cu	$\tilde{N}_1$(%)	$\tilde{N}_2$(%)
60	88,5	-19,4
50	88,9	52,74
40	107,0	67,1
30	198,3	81,9
25	1270,7	74,36
20	-	74,46
15	-	64,27
10	-	53,49
$\Sigma\tilde{N}_1$= 1753,4		$\Sigma\tilde{N}_2$=448,92

(b)

Pertambahan ($\tilde{N}$)		
Cu	$\tilde{N}_1$(%)	$\tilde{N}_2$(%)
60	82,32	-17,24
50	120,49	48,61
40	193,2	65,15
30	235,7	82,95
25	-	73,99
20	-	67,21
15	-	66,53
10	-	63,15
$\Sigma\tilde{N}_1$= 631,71		$\Sigma\tilde{N}_2$= 450,35

(c)

Pertambahan ($\tilde{N}$)		
Cu	$\tilde{N}_1$(%)	$\tilde{N}_2$(%)
60	74,79	-16,33
50	77,84	43,24
40	102,25	60,40
30	307,10	82,70
25	-	72,48
20	-	66,63
15	-	67,56
10	-	66,82
$\Sigma\tilde{N}_1$= 561,98		$\Sigma\tilde{N}_2$= 443,5

(d)

Pertambahan ($\tilde{N}$)		
Cu	$\tilde{N}_1$(%)	$\tilde{N}_2$(%)
60	70,91	-16,15
50	74,57	40,50
40	100,64	60,08
30	370,96	82,31
25	-	71,20
20	-	66,04
15	-	67,78
10	-	68,47
$\Sigma\tilde{N}_1$= 617,08		$\Sigma\tilde{N}_2$= 440,27

(e)

Tabel 5.6. Pertambahan beban dan momen: (a) Ast=1,16% Ap, (b) Ast=2,42% Ap, (c) Ast=3,4% Ap, (d) Ast=4,85% Ap, dan (e) Ast= 5,8% Ap

keterangan:

$$Ñ_1 = \frac{Pnu - Pne}{Pne} \cdot 100\%$$

$$Ñ_2 = \frac{Mnu - Mne}{Mne} \cdot 100\%$$

Pnu = beban perencanaan ultimit

Pne = beban perencanaan elastis

Mnu = momen perencanaan ultimit

Mne = momen perencanaan elastis

$Ñ_1$ = pertambahan beban

$Ñ_2$ = pertambahan momen

Tabel di atas dapat disimpulkan menjadi tabel pertambahan beban dan momen untuk setiap prosentase tulangan seperti dibawah ini.

Ast	Pertambahan beban (%)	Pertambahab momen (%)
1,16% Ap	$\frac{837,98}{5} = 167,596$	$\frac{443,5}{8} = 55,44$
2,42% Ap	$\frac{1753,4}{5} = 350,68$	$\frac{448,92}{8} = 56,115$
3,4% Ap	$\frac{631,71}{4} = 157,93$	$\frac{450,35}{8} = 56,3$
4,85% Ap	$\frac{561,98}{4} = 140,5$	$\frac{443,5}{8} = 55,44$
5,8% Ap	$\frac{617,08}{4} = 154,27$	$\frac{440,27}{8} = 55,04$

Tabel 5.7. Pertambahan beban dan momen dari metode ultimit ke metode elastis.

Dari tabel 5.7. terlihat bahwa pertambahan beban dari metode ultimit terhadap metode elastis paling besar terjadi pada prosentase tulangan 2,42% Ap, sedangkan untuk momen terjadi pada 3,4% Ap.

Pada kondisi beban hidup bernilai sebanding dengan beban mati yang terjadi sesungguhnya.

($P_{DL} = P_{LL}$ dan $M_{DL} = M_{LL}$).

- Ultimit

$Pn = 1,2\ P_{DL} + 1,6\ P_{LL}$ (misal: $P_{DL} = P_{LL} = A$)

$= 2,8\ A$

- Elastis

$Pn = P_{DL} + LL$

$= 2\ A$

didapat nilai banding ultimit terhadap elastis sebesar:

$$= \frac{2,8\ A}{2\ A} = 1,4$$

Terlihat nilai banding yang didapat lebih besar dari nilai banding sebelumnya (1,28 dan 1,29).

Dengan bertambah nilai banding, nilai-nilai beban dan momen ultimit yang disetarakan dengan elastis semakin berkurang, hal ini mengakibatkan efisiensi perencanaan metode ultimit terhadap metode elastis semakin berkurang pula, tetapi tetap metode ultimit menunjukkan lebih efisien. Dengan perkataan lain, bahwa perbandingan beban hidup dan mati yang terjadi sesungguhnya, hanya berpengaruh terhadap prosentase pertambahan beban dan momen.

dahulu beban dan momen yang terjadi sesungguhnya.

2. Dari gambar hubungan Pn - Cu, Mn - Cu dengan variasi tulangan 1,16% - 5,8%, dapat disimpulkan bahwa kolom bulat dengan perencanaan ultimit, dalam hal mendukung beban (Pn) dan momen (Mn), lebih besar dibanding dengan perencanaan elastis.
3. Pertambahan beban yang maksimal dari perhitungan ultimit terhadap elastis, tercapai pada prosentase luas tulangan sebesar 2,42% luas penampang, sedangkan untuk pertambahan momen yang maksimal tercapai pada 3,4% luas penampang.
4. Dari gambar diagram interaksi Pn - Mn, dapat disimpulkan bahwa perencanaan dengan metode ultimit dapat lebih jelas dalam memberikan keterangan terhadap kondisi kolom.

VI.2. Saran

Dari hasil kesimpulan di atas, maka dapat diberikan saran sebagai berikut ini.

1. Dalam merencananakan struktur kolom, khususnya kolom bulat, disarankan untuk merencanakan dengan metode ultimit (SK-SNI 1991), karena akan lebih efisien dalam menahan beban dan momen bila dibandingakan dengan metode elastis (PBI 1971).
2. Sehubungan perencanaan dengan metode ultimit menitik-beratkan terhadap kekuatan batas, maka perlu diadakan pengawasan yang lebih teliti, baik sewaktu perencanaan maupun dalam pelaksanaan di lapangan.
3. Dalam perencanaan dengan metode ultimit, sebaiknya dipakai tulangan dengan prosentase 2% sampai 3,5% terhadap luas penampang, karena pada kondisi demikian akan mencapai efisiensi yang maksimal terhadap perencanaan secara elastis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, Binsar Harianja, 1987, Disain Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
2. Edward G. Nawy, 1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Eresco, Bandung.
3. Phil M. Ferguson, Budianto Susanto, Kris Setianto, 1986, Dasar-Dasar Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
4. ————, 1971, Peraturan Beton Bertulang Indonesia, NI-2, Direktorat Penyilidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jendral Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
5. ————, 1991, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum, Badung.
6. R. Segel, P. Kole, Gideon Kusuma, 1993, Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03, Erlangga, Jakarta.
7. George Winter, Arthur H. Nilson, 1993, Perencanaan Struktur Beton Bertulang, Pradnya Paramita, Jakarta.
8. Sudarmoko, 1994, Perancangan Dan Analisis Kolom Beton Bertulang, Biro Penerbit UGM, Yogyakarta.

L A M P I R A N

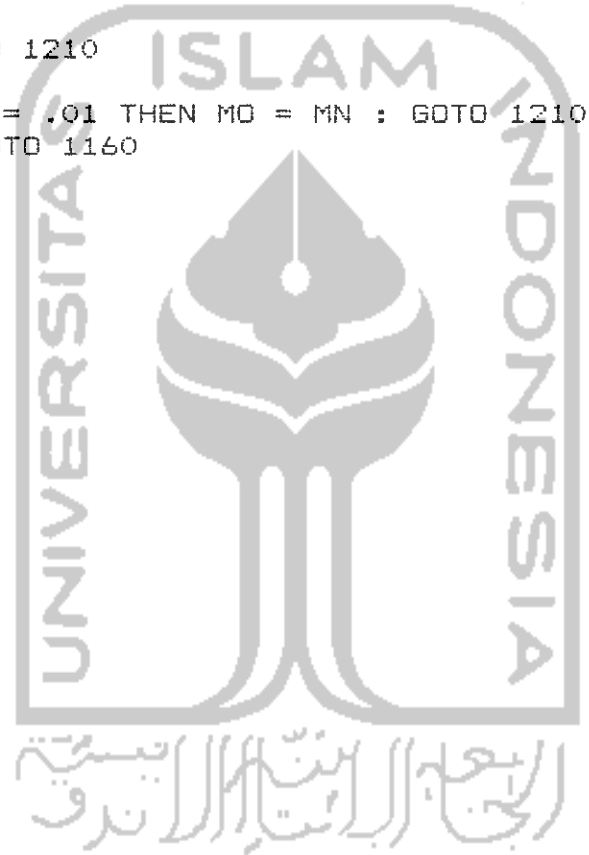
List Program Komputer Analisis Kapasitas Tampang Kolom

Bulat Dengan Metode Elastis

```
10 DIM AS(20),J(20),CS(20),TS(20),ES(20)
20 CLS
30 INPUT "Dimensi kolom (D) - cm : ";D
40 INPUT "Mutu bahan (beton , baja) - kg/cm^2 : ";FC,FY
50 INPUT "Nilai n : ";NA
60 INPUT "Jumlah baris tulangan : ";N
70 A = 0 : PHI = 4 * ATN (1) : JUM = 0
80 FOR I=1 TO N
90 PRINT "Jarak baris tulangan ke";I;" dari sisi daerah desak : ":INPUT J(
100 INPUT "luas : ";AS(I)
110 A = A + AS(I)
120 NEXT I
130 AS1 = .01*.25*PHI*D^2 : AS2 = .06*.25*PHI*D^2
140 IF A<AS1 THEN CLS : PRINT "Luas tulangan ditambah !" : GOTO 70
150 IF A>AS2 THEN CLS : PRINT "Luas tulangan dikurangi !" : GOTO 70
160 H = D - J(1)
170 Y = FC * NA * H / (FY + FC * NA)
180 PRINT "Yb = ";Y;" cm"
190 PRINT "1. Bila Y > Yb kondisi patah desak"
200 PRINT "2. Bila Y < Yb kondisi patah tarik"
210 INPUT "Y : ";YU
220 IF YU <= 0 THEN PRINT "Nilai Y <= 0, tidak boleh !" : GOTO 180
230 IF YU >= D THEN PRINT "Nilai Y >=";D;", tidak boleh !" : GOTO 180
240 CLS : PRINT : PRINT : PRINT : PRINT
250 PRINT TAB(15);"***** ***** ***** PROSES PERHITUNGAN ***** ***** *****"
260 YA = Y
270 JUM = JUM + 1
280 IF JUM > 1 GOTO 330
290 GOSUB 540
300 PB = PN
310 MB = MN
320 GOSUB 1140
330 IF YU <> Y THEN YA = YU : GOSUB 540
340 CLS
350 PRINT "Dimensi kolom (D) : ";D;"cm"
360 PRINT "Mutu bahan (beton , baja) - kg/cm^2 : ";FC;"dan";FY
370 PRINT "Nilai n : ";NA
380 PRINT "Jumlah baris tulangan : ";N
390 IF YU <> Y THEN GOSUB 1010
400 PRINT "Y  = ";YU
410 PRINT "     Keadaan balance !"
420 PRINT "Yb = ";Y
430 PRINT "Pb = ";PB;" kg."
440 PRINT "Mb = ";MB;" kg cm."
450 EB = MB / PB
460 PRINT "eb = ";EB;" cm."
470 PRINT "Po = ";PO;" kg."
480 PRINT "Mo = ";MO;" kg cm."
490 INPUT "Apakah akan menghitung dengan data Y lainnya ? (Y/T)";Y$
500 IF Y$="y" OR Y$="Y" THEN CLS : GOTO 160
510 IF Y$="t" OR Y$="T" THEN GOTO 530
```

```
520 GOTO 490
530 END
540 FOR I=1 TO N
550 IF J(I) <= YA THEN ES(I) = NA * FC * (YA - J(I)) / YA : GOTO 570
560 ES(I) = NA * FC * (J(I) - YA) / YA
570 IF ES(I) > FY THEN ES(I) = FY : GOTO 580
580 NEXT I
590 FOR I=1 TO N
600 IF J(I) <= YA THEN CS(I) = AS(I) * ES(I) : TS(I) = 0 : GOTO 630
610 CS(I) = 0
620 TS(I) = AS(I) * ES(I)
630 NEXT I
640 IF YA<.5*D GOTO 780
650 R1 = SQR((.5*D)^2-(YA-.5*D)^2)
660 PI = ABS(ATN(R1/(YA-.5*D)) *  180 / PHI)
670 TB = 2 * (.5*D) * SIN(PI*PHI/180)
680 BS = PHI * D * 2 * PI / 360
690 A1 = .25*PHI*D^2
700 A2 = 2*PI*(.5*D)^2*PHI/360
710 AY1 = A2 * 2/3 * (.5*D) * TB/BS
720 A3 = (YA-.5*D)*R1
730 AY2 = A3 * 2/3 * (YA-.5*D)
740 IF YA = .5*D THEN AC = A1 - A2 - A3 : SAY = AY1 - AY2 : GOTO 880
750 AC = A1 - A2 + A3
760 SAY = AY1 - AY2
770 GOTO 880
780 R1 = SQR((.5*D)^2-(.5*D-YA)^2)
790 PI = ABS(ATN(R1/(.5*D-YA)) *  180 / PHI)
800 TB = 2 * (.5*D) * SIN(PI*PHI/180)
810 BS = PHI * D * 2 * PI / 360
820 A1 = 2*PI*(.5*D)^2*PHI/360
830 AY1 = A1 * 2/3 * (.5*D) * TB/BS
840 A2 = (.5*D-YA)*R1
850 AY2 = A3 * 2/3 * (.5*D-YA)
860 AC = A1 - A2 : SAY = AY1 - AY2
870 SAY = AY1 - AY2
880 CC = AC * FC * .5
890 PN = CC : MN = 0
900 FOR I=1 TO N
910 PN = PN + CS(I) - TS(I)
920 IF J(I)>.5*D THEN MN = MN+(TS(I)-CS(I))*(J(I)-.5*D) : GOTO 940
930 MN = MN + (CS(I) - TS(I)) * (.5*D - J(I))
940 NEXT I
950 YI = SAY / AC
960 MN = MN + CC * YI
970 A1 = 0 : A2 = 0 : A3 = 0
980 AY1 = 0 : AY2 = 0
990 AC =  0 : SAY = 0
1000 RETURN
1010 IF YU > Y GOTO 1080
1020 PRINT "    Keadaan patah tarik !"
1030 PRINT "Pn = ";PN;" kg."
1040 PRINT "Mn = ";MN;" kg cm."
1050 EN = MN / PN
1060 PRINT "en = ";EN;" cm."
1070 GOTO 1130
```

```
1090 PRINT "Pn = ";PN;" kg."
1100 PRINT "Mn = ";MN;" kg cm."
1110 EN = MN / PN
1120 PRINT "en = ";EN;" cm."
1130 RETURN
1140 PO = FC * (.25*PHI*D^2 - A) + FY * A
1150 X = .1
1160 YA = X
1170 IF YA >= D GOTO 1210
1180 GOSUB 540
1190 IF ABS(PN/PO) <= .01 THEN MO = MN : GOTO 1210
1200 X = X + .1 : GOTO 1160
1210 RETURN
```



List Program Komputer Analisis Kapasitas Tampang Kolom Bulat Dengan Metode Ultimit

```
10 DIM AS(20),J(20),CSD(20),TSD(20),FSD(20),EST(20),CAS(20)
20 CLS
30 INPUT "Dimensi kolom (b,h) - cm : ";B,HT
40 INPUT "Mutu bahan (beton , baja) - kg/cm^2 : ";FC,FY
50 INPUT "Modulus elastis baja (E) - kg/cm^2 : ";E
60 INPUT "Jumlah baris tulangan : ";N
70 A = 0
80 FOR I=1 TO N
90 PRINT "Jarak baris tulangan ke";I;" dari sisi daerah desak : ":INPUT J(
100 INPUT "luas : ";AS(I)
110 A = A + AS(I)
120 NEXT I
130 AS1 = .01*B*HT : AS2 = .08*B*HT
140 IF A<AS1 THEN CLS : PRINT "Luas tulangan ditambah !" : GOTO 70
150 IF A>AS2 THEN CLS : PRINT "Luas tulangan dikurangi !" : GOTO 70
160 INPUT "B1 : ";B1
170 INPUT "Teta : ";T
180 H = HT - J(1)
190 EY = FY/E
200 CB = H * .003 / (.003 + EY)
210 PRINT "Cb = ";CB;" cm"
220 PRINT "1. Bila Cu > Cb kondisi patah desak"
230 PRINT "2. Bila Cu < Cb kondisi patah tarik"
240 INPUT "Cu : ";CU
250 C = CB
260 GOSUB 500
270 PB = PN
280 MB = MN
290 IF CU <> CB THEN C = CU : GOSUB 500
300 CLS
310 PRINT "Dimensi kolom (b,h) - cm : ";B;"x";HT
320 PRINT "Mutu bahan (beton , baja) - kg/cm^2 : ";FC;"dan";FY
330 PRINT "Modulus elastis baja (E) - kg/cm^2 : ";E
340 PRINT "Jumlah baris tulangan : ";N
350 IF CU > CB THEN GOSUB 710
360 IF CU < CB THEN GOSUB 840
370 PRINT "Cu : ";CU
380 PRINT "     Keadaan balance !"
390 PRINT "Cb = ";CB
400 PRINT "Pb = ";PB;" kg."
410 PRINT "Mb = ";MB;" kg cm."
420 GOSUB 900
430 EB = MB / PB
440 PRINT "eb = ";EB;" cm."
450 INPUT "Apakah akan menghitung dengan data Cu lainnya ? (Y/T)";Y$
460 IF Y$="y" OR Y$="Y" THEN CLS : GOTO 210
470 IF Y$="t" OR Y$="T" THEN GOTO 490
480 GOTO 450
490 END
500 FOR I=1 TO N
```

```
510 IF J(I) <= C THEN ESD(I) = .003 * (C -J(I)) / C : GOTO 530
520 ESD(I) = .003 * (J(I) - C) / C
530 IF ESD(I) > EY THEN FSD(I) = FY : GOTO 550
540 FSD(I) = ESD(I) * E
550 NEXT I
560 FOR I=1 TO N
570 IF J(I) <= C THEN CSD(I) = AS(I)*(FSD(I) - .85*FC) : TSD(I) = 0 : GOTO
580 CSD(I) = 0
590 TSD(I) = AS(I) * FSD(I)
600 NEXT I
610 CC = .85 * FC * B * B1 * C
620 PN = CC : MN = 0
630 FOR I=1 TO N
640 PN = PN + CSD(I) - TSD(I)
650 IF J(I)>.5*HT THEN MN =MN+(TSD(I)-CSD(I)) * (J(I) - .5*HT) : GOTO 670
660 MN = MN + (CSD(I) - TSD(I)) * (.5*HT - J(I))
670 NEXT I
680 PN = PN * T : A = B1 * C
690 MN = (MN + CC * ( HT - A ) / 2) * T
700 RETURN
710 PRINT "    Keadaan patah desak !"
720 PRINT "Mn = ";MN;" kg cm."
730 PRINT "Pn = ";PN;" kg."
740 PO = 0
750 FOR X=1 TO N
760 PO = PO + (AS(X) * (FY - .85 * FC))
770 NEXT X
780 CCT = .85 * FC * B * HT
790 PO = (CCT + PO ) * T
800 PRINT "Po = ";PO;" kg."
810 EN = MN / PN
820 PRINT "en = ";EN;" cm."
830 RETURN
840 PRINT "    Keadaan patah tarik !"
850 PRINT "Mn = ";MN;" kg cm."
860 PRINT "Pn = ";PN;" kg."
870 EN = MN / PN
880 PRINT "en = ";EN;" cm."
890 RETURN
900 TS = 0
910 FOR I=2 TO N
920 ST(I) = AS(I) * FY
930 TS = TS + ST(I)
940 NEXT I
950 CS = AS(1) * (FY - .85 * FC)
960 X = (TS - CS)/(.85 * FC * B1 * B)
970 K = 0
980 FOR I=1 TO N
990 IF J(I) <= X THEN EST(I) = .003 * (X - J(I)) / X : GOTO 1010
1000 EST(I) = .003 * (J(I) - X) / X
1010 IF EST(I) < EY THEN FS = EST(I) * E : GOSUB 1130 : GOTO 1020
1020 NEXT I
1030 IF K=0 GOTO 1050
1040 GOTO 970
1050 MO = CS * (.5*HT - J(1)) + .85*FC*B*B1*X*(.5*HT-B1*X/2)
1060 FOR I=2 TO N
```

```
1070 IF J(I) <= .5*HT THEN MO=MO+(CAS(I)-TS(I))*(.5*HT - J(I)) : GOTO 1090
1080 MO = MO + (ST(I) - CAS(I)) * (J(I) - .5*HT)
1090 NEXT I
1100 MO = MO * T
1110 PRINT "Mo = ";MO;" kg cm."
1120 RETURN
1130 IF J(I) > X THEN ST(I)=AS(I)*(FS-.85 * FC):CAS(I)=0:GOTO 1150
1140 CAS(I)= AS(I) * (FS - .85 * FC) : TS(I) = 0
1150 IF I=1 THEN CS = AS(I) * (FS - .85*FC) : CAS(I) = 0 : GOTO 1210
1160 TS = 0
1170 R = I+1
1180 FOR I=R TO N
1190 TS = TS + ST(I) - CAS(I)
1200 NEXT I
1210 X = (TS - CS)/(.85 * FC * B1 * B)
1220 D = D + 1
1230 RETURN
```

PERHITUNGAN MEKANIKA

Data Material :

- Balok 1 s/d 5 (40/70) cm

  A = 0,4 x 0,7 = 0,28 m^2

  Ix = 1/6.(0,4)(0,7)^3 = 0,011433 m^4

- Balok 6 s/d 10 (30/50) cm

  A = 0,15 m^2

  Ix = 0,003125 m^4

- Kolom 11 s/d 20 (diameter = 65 cm)

  A = 0,33183 m^2

  Ix = Iy = 0,1402 m^4

- Kolom 21 s/d 25 (30/60) cm

  A = 0,18 m^2

  Ix = 0,0054 m^4

- Modulus Elastis beton

  Ec = 6400 $\sqrt{\sigma' bk}$ = 96000 kg/cm^2 (elastis).

  Ec = 4700 $\sqrt{f'c}$ = 64228,56 kg/cm^2 (ultimit).

1. Perhitungan pembebanan plat atap (tebal = 10 cm).

   - berat sendiri plat = 0,1.2400 = 240 kg/cm^2
   - berat eternit + plafond = 18 kg/cm^2
   - berat finishing = 42 kg/cm^2

   ---------- +

   q_{DL} = 300 kg/cm^2

   - beban hidup (q_{LL}) = 100 kg/cm^2

2. Perhitungan pembebanan plat lantai (tebal = 14 cm).

- berat sendiri plat = 0,14.2400 = 288 kg/m^2
- berat pasir (5 cm) = 0,05.1600 = 80 kg/m^2
- berat spesi (2 cm) = 0,02.2100 = 42 kg/m^2
- berat tegel (3 cm) = 0,03.2400 = 72 kg/m^2

---------- +

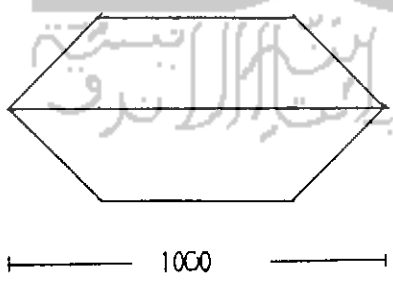
q_{DL} = 482 kg/m^2

- beban hidup (q_{LL}) = 250 kg/m^2

3. Perhitungan pembebanan balok atap

3.1. Akibat beban mati

- Balok L_6 - L_7



$q_{plat} = q_{DL}$ = 300 kg/m^2

$M = 2.0,0208.q.lx.(3.ly^2 - lx^2)$

$= 2.0,0208.300.4.(3.10^2 - 4^2)$ = 1417680 kg.m

$M = 1/8.q_{balok}.l^2$

$1/8.q.10^2$ = 14177,3 kg.m

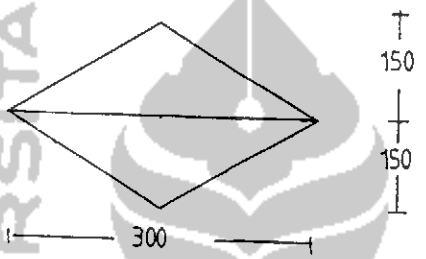
q = 1134,2 kg/m

- q (akibat plat) = 1134,2 kg/m
- bs balok (40/70) = 0,4(0,7-0,1).2400 = 576 kg/m

---

q (balok) = 1710,2 kg/m

- Balok L_7 - L_8



$q_{plat} = q_{DL} = 300 \text{ kg/m}^2$

$M = 2.0,0417.q.lx^2$

$= 2.0,0417.300.(3)^3 = 675,54 \text{ kg.m}$

$M = 1/8.q.lx^2$

$1/8.q.(3)^2 = 675,54 \text{ kg.m}$

- q (akibat plat) = 600,48 kg/m
- bs balok (30/50) = 0,3(0,5-0,1).2400 = 288 kg/m

---

q (balok) = 888,48 kg/m

3.2. Akibat beban hidup

- Balok L_6 - L_7

$q_{plat} = q_{LL} = 100 \text{ kg/m}^2$

$M = 2.0,0208.100.4.(3.10^2 - 4^2) = 4725,76 \text{ kg.m}$

$M = 1/8.q.l^2 = 4725,76 \text{ kg.m}$ ----> *q = 378,1 kg/m*

- Balok $L_7 - L_8$

$q_{plat} = q_{LL} = 100\ kg/m^2$

$M = 2.0,0417.100.(3)^3 = 225,2\ kg.m$

$M = 1/8.q.1^2 = 225,2\ kg.m$

$q = 200,2\ kg/m$

4. Perhitungan balok lantai

4.1. Akibat beban mati

- Balok $L_6 - L_7$

$q_{plat} = q_{DL} = 482\ kg/m^2$

$M = 2.0,0208.482.4.(3.10^2 - 4^2) = 22778,2\ kg.m$

$M = 1/8.q.1^2 = 22778,2\ kg.m$

- q (akibat plat) = 1822,3 kg/m
- q tembok = 900 kg/m
- bs balok (40/70)= 0,4(0,7-0,14).2400= 537,6 kg/m

---

q balok = 3259,9 kg/m

- Balok $L_7 - L_8$

$q_{plat} = q_{DL} = 482\ kg/m^2$

$M = 2.0,0417.482.(3)^2 = 1085,5\ kg.m$

$1/8.q.1^2 = 1085,5\ kg.m$

- q (akibat plat) = 964,9 kg/m
- q tembok = 900 kg/m
- bs balok (30/50) = 0,3(0,5-0,14).2400 = 259,2 kg/m

---

q (balok) = 2124,1 kg/m

4.2. Akibat beban hidup

- Balok L_6 - L^7

  $q_{plat} = q_{LL} = 250\ kg/m^2$

  $M = 2.0,0208.250.4.(3.100-16) = 11814,4\ kg.m$

  $1/8.q.l^2 = 11814,4\ kg.m$

  $q = 945,2\ kg/m$

- Balok L_7 - L_8

  $q_{plat} = q_{LL} = 300\ kg/m^2$ (selasar)

  $M = 2.0,0417.300.3^3 = 675,54\ kg.m$

  $1/8.q.l^2 = 675,54\ kg.m$

  $q = 600,48\ kg/m$

```
==========================================================================
    MICROFEAP-P1          DATE: 02-22-1980              <DATA> F
PROJECT  : PORTAL LINTANG AKIBAT BEBAN MATI              FILENAME: DEA
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986          ENGINEER: ZEN'S + YAN'S
==========================================================================
```

****
* *
* STRUCTURE DATA *
* *
****

COORDINATE DATA (M)

NODE	1-COOR	2-COOR
1	0.00	0.00
2	10.00	0.00
3	13.00	0.00
4	0.00	4.00
5	10.00	4.00
6	13.00	4.00
7	0.00	8.30
8	10.00	8.30
9	13.00	8.30
10	0.00	12.60
11	10.00	12.60
12	13.00	12.60
13	0.00	16.60
14	10.00	16.60
15	13.00	16.60
16	0.00	20.60
17	10.00	20.60
18	13.00	20.60

BOUNDARY DATA

1-B	2-B	3-B
L	L	F
L	L	F
L	L	F

ELEMENT DATA

ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
1	4	5		1
2	7	8		1
3	10	11		1
4	13	14		1
5	16	17		1
6	17	18		2
7	14	15		2
8	11	12		2
9	8	9		2
10	5	6		2
11	1	4		3
12	2	5		3
13	4	7		3
14	5	8		3
15	7	10		3

```
==========================================================================
     MICROFEAP-P1          DATE: 02-22-1980          <DATA> F
PROJECT  : PORTAL LINTANG AKIBAT BEBAN MATI          FILENAME: DEA
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986          ENGINEER: ZEN'S + YAN'S
==========================================================================
```

ELEMENT DATA

ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
16	8	11		3
17	10	13		3
18	11	14		3
19	13	16		3
20	14	17		3
21	3	6		4
22	6	9		4
23	9	12		4
24	12	15		4
25	15	18		4

MATERIAL DATA

MATE	E-MODULUS (T/M^2)	AXIAL-AREA (M^2)	INERTIA (M^4)
1	9.600D+05	2.800D-01	1.143D-02
2	9.600D+05	1.500D-01	3.125D-03
3	9.600D+04	3.318D-01	1.402D-01
4	9.600D+05	1.800D-01	5.400D-03

LOAD CASE #1 : BEBAN MATI

UNIFORM LOAD DATA

ELEM	1-UNIFORM (T/M)	2-UNIFORM (T/M)
1	0.000D+00	-3.260D+00
2	0.000D+00	-3.260D+00
3	0.000D+00	-3.260D+00
4	0.000D+00	-3.260D+00
5	0.000D+00	-1.702D+00
6	0.000D+00	-8.885D-01
7	0.000D+00	-2.124D+00
8	0.000D+00	-2.124D+00
9	0.000D+00	-2.124D+00
10	0.000D+00	-2.124D+00

****
* *
* COMBINATION *
* *
****

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
1	1		0.00	5.2019D+00	1.7220D+01	-2.9742D+01
			0.48	5.2019D+00	1.5667D+01	-2.1911D+01
			0.95	5.2019D+00	1.4115D+01	-1.4820D+01
			1.43	5.2019D+00	1.2562D+01	-8.4687D+00
			1.90	5.2019D+00	1.1010D+01	-2.8563D+00
			2.38	5.2019D+00	9.4576D+00	2.0170D+00
			2.86	5.2019D+00	7.9053D+00	6.1510D+00
			3.33	5.2019D+00	6.3529D+00	9.5458D+00
			3.81	5.2019D+00	4.8005D+00	1.2201D+01
			4.29	5.2019D+00	3.2481D+00	1.4118D+01
			4.76	5.2019D+00	1.6957D+00	1.5295D+01
			5.24	5.2019D+00	1.4335D-01	1.5733D+01
			5.71	5.2019D+00	-1.4090D+00	1.5431D+01
			6.19	5.2019D+00	-2.9614D+00	1.4391D+01
			6.67	5.2019D+00	-4.5138D+00	1.2611D+01
			7.14	5.2019D+00	-6.0662D+00	1.0092D+01
			7.62	5.2019D+00	-7.6186D+00	6.8337D+00
			8.10	5.2019D+00	-9.1709D+00	2.8362D+00
			8.57	5.2019D+00	-1.0723D+01	-1.9006D+00
			9.05	5.2019D+00	-1.2276D+01	-7.3765D+00
			9.52	5.2019D+00	-1.3828D+01	-1.3592D+01
			10.00	5.2019D+00	-1.5380D+01	-2.0546D+01
2	1		0.00	-1.5036D-01	1.7612D+01	-3.2139D+01
			0.48	-1.5036D-01	1.6059D+01	-2.4122D+01
			0.95	-1.5036D-01	1.4507D+01	-1.6844D+01
			1.43	-1.5036D-01	1.2955D+01	-1.0
			1.90	-1.5036D-01	1.1402D+01	-4.
			2.38	-1.5036D-01	9.8499	
			2.86	-1.5036D-01	8.	
			3.33	-1.5036D-01		
			3.81	-1.		
			4.29			

TRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
OAD FACTOR : 1

LEM	MA	HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
2	1		6.19	-1.5036D-01	-2.5691D+00	1.4422D+01
			6.67	-1.5036D-01	-4.1215D+00	1.2829D+01
			7.14	-1.5036D-01	-5.6739D+00	1.0496D+01
			7.62	-1.5036D-01	-7.2262D+00	7.4250D+00
			8.10	-1.5036D-01	-8.7786D+00	3.6143D+00
			8.57	-1.5036D-01	-1.0331D+01	-9.3556D-01
			9.05	-1.5036D-01	-1.1883D+01	-6.2247D+00
			9.52	-1.5036D-01	-1.3436D+01	-1.2253D+01
			10.00	-1.5036D-01	-1.4988D+01	-1.9021D+01
3	1		0.00	1.1592D+00	1.7941D+01	-3.3701D+01
			0.48	1.1592D+00	1.6388D+01	-2.5527D+01
			0.95	1.1592D+00	1.4836D+01	-1.8093D+01
			1.43	1.1592D+00	1.3284D+01	-1.1398D+01
			1.90	1.1592D+00	1.1731D+01	-5.4417D+00
			2.38	1.1592D+00	1.0179D+01	-2.2508D-01
			2.86	1.1592D+00	8.6264D+00	4.2523D+00
			3.33	1.1592D+00	7.0740D+00	7.9905D+00
			3.81	1.1592D+00	5.5216D+00	1.0989D+01
			4.29	1.1592D+00	3.9692D+00	1.3249D+01
			4.76	1.1592D+00	2.4168D+00	1.4770D+01
			5.24	1.1592D+00	8.6446D-01	1.5551D+01
			5.71	1.1592D+00	-6.8792D-01	1.5593D+01
			6.19	1.1592D+00	-2.2403D+00	1.4896D+01
			6.67	1.1592D+00	-3.7927D+00	1.3459D+01
			7.14	1.1592D+00	-5.3451D+00	1.1284D+01
			7.62	1.1592D+00	-6.8974D+00	8.3688D+00
			8.10	1.1592D+00	-8.4498D+00	4.7147D+00
			8.57	1.1592D+00	-1.0002D+01	3.2138D-01
			9.05	1.1592D+00	-1.1555D+01	-4.8112D+00
			9.52	1.1592D+00	-1.3107D+01	-1.0683D+01
			10.00	1.1592D+00	-1.4659D+01	-1.7294D+01
4	1		0.00	7.7948D-01	1.8122D+01	-3.4676D+01
			0.48	7.7948D-01	1.6569D+01	-2.6416D+01
			0.95	7.7948D-01	1.5017D+01	-1.8896D+01
			1.43	7.7948D-01	1.3465D+01	-1.2114D+01
			1.90	7.7948D-01	1.1912D+01	-6.0723D+00
			2.38	7.7948D-01	1.0360D+01	-7.6949D-01
			2.86	7.7948D-01	8.8074D+00	3.7941D+00
			3.33	7.7948D-01	7.2550D+00	7.6185D+00
			3.81	7.7948D-01	5.7026D+00	1.0704D+01
			4.29	7.7948D-01	4.1503D+00	1.3050D+01
			4.76	7.7948D-01	2.5979D+00	1.4656D+01
			5.24	7.7948D-01	1.0455D+00	1.5524D+01
			5.71	7.7948D-01	-5.0688D-01	1.5652D+01

COMBINATION

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
1	1		0.00	5.2019D+00	1.7220D+01	-2.9742D+01
			0.48	5.2019D+00	1.5667D+01	-2.1911D+01
			0.95	5.2019D+00	1.4115D+01	-1.4820D+01
			1.43	5.2019D+00	1.2562D+01	-8.4687D+00
			1.90	5.2019D+00	1.1010D+01	-2.8563D+00
			2.38	5.2019D+00	9.4576D+00	2.0170D+00
			2.86	5.2019D+00	7.9053D+00	6.1510D+00
			3.33	5.2019D+00	6.3529D+00	9.5458D+00
			3.81	5.2019D+00	4.8005D+00	1.2201D+01
			4.29	5.2019D+00	3.2481D+00	1.4118D+01
			4.76	5.2019D+00	1.6957D+00	1.5295D+01
			5.24	5.2019D+00	1.4335D-01	1.5733D+01
			5.71	5.2019D+00	-1.4090D+00	1.5431D+01
			6.19	5.2019D+00	-2.9614D+00	1.4391D+01
			6.67	5.2019D+00	-4.5138D+00	1.2611D+01
			7.14	5.2019D+00	-6.0662D+00	1.0092D+01
			7.62	5.2019D+00	-7.6186D+00	6.8337D+00
			8.10	5.2019D+00	-9.1709D+00	2.8362D+00
			8.57	5.2019D+00	-1.0723D+01	-1.9006D+00
			9.05	5.2019D+00	-1.2276D+01	-7.3765D+00
			9.52	5.2019D+00	-1.3828D+01	-1.3592D+01
			10.00	5.2019D+00	-1.5380D+01	-2.0546D+01
2	1		0.00	-1.5036D-01	1.7612D+01	-3.2139D+01
			0.48	-1.5036D-01	1.6059D+01	-2.4122D+01
			0.95	-1.5036D-01	1.4507D+01	-1.6844D+01
			1.43	-1.5036D-01	1.2955D+01	-1.0306D+01
			1.90	-1.5036D-01	1.1402D+01	-4.5066D+00
			2.38	-1.5036D-01	9.8499D+00	5.5342D-01
			2.86	-1.5036D-01	8.2976D+00	4.8743D+00
			3.33	-1.5036D-01	6.7452D+00	8.4559D+00
			3.81	-1.5036D-01	5.1928D+00	1.1298D+01
			4.29	-1.5036D-01	3.6404D+00	1.3401D+01
			4.76	-1.5036D-01	2.0880D+00	1.4765D+01
			5.24	-1.5036D-01	5.3566D-01	1.5390D+01
			5.71	-1.5036D-01	-1.0167D+00	1.5275D+01

	5.71	7.7948D-01	-5.0688D-01	1.5652D+01

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
4	1	6.19	7.7948D-01	-2.0593D+00	1.5041D+01
		6.67	7.7948D-01	-3.6116D+00	1.3691D+01
		7.14	7.7948D-01	-5.1640D+00	1.1601D+01
		7.62	7.7948D-01	-6.7164D+00	8.7727D+00
		8.10	7.7948D-01	-8.2688D+00	5.2048D+00
		8.57	7.7948D-01	-9.8212D+00	8.9769D-01
		9.05	7.7948D-01	-1.1374D+01	-4.1487D+00
		9.52	7.7948D-01	-1.2926D+01	-9.9343D+00
		10.00	7.7948D-01	-1.4478D+01	-1.6459D+01
5	1	0.00	-9.5853D+00	1.0093D+01	-2.0096D+01
		0.48	-9.5853D+00	9.2830D+00	-1.5482D+01
		0.95	-9.5853D+00	8.4725D+00	-1.1255D+01
		1.43	-9.5853D+00	7.6620D+00	-7.4133D+00
		1.90	-9.5853D+00	6.8516D+00	-3.9577D+00
		2.38	-9.5853D+00	6.0411D+00	-8.8799D-01
		2.86	-9.5853D+00	5.2306D+00	1.7958D+00
		3.33	-9.5853D+00	4.4201D+00	4.0936D+00
		3.81	-9.5853D+00	3.6097D+00	6.0054D+00
		4.29	-9.5853D+00	2.7992D+00	7.5313D+00
		4.76	-9.5853D+00	1.9887D+00	8.6713D+00
		5.24	-9.5853D+00	1.1782D+00	9.4253D+00
		5.71	-9.5853D+00	3.6776D-01	9.7934D+00
		6.19	-9.5853D+00	-4.4271D-01	9.7756D+00
		6.67	-9.5853D+00	-1.2532D+00	9.3718D+00
		7.14	-9.5853D+00	-2.0637D+00	8.5821D+00
		7.62	-9.5853D+00	-2.8741D+00	7.4064D+00
		8.10	-9.5853D+00	-3.6846D+00	5.8448D+00
		8.57	-9.5853D+00	-4.4951D+00	3.8973D+00
		9.05	-9.5853D+00	-5.3056D+00	1.5638D+00
		9.52	-9.5853D+00	-6.1160D+00	-1.1557D+00
		10.00	-9.5853D+00	-6.9265D+00	-4.2610D+00
6	2	0.00	-3.5708D+00	-4.0594D+00	8.0865D+00
		0.43	-3.5708D+00	-4.4402D+00	6.2652D+00
		0.86	-3.5708D+00	-4.8210D+00	4.2806D+00
		1.29	-3.5708D+00	-5.2018D+00	2.1329D+00
		1.71	-3.5708D+00	-5.5826D+00	-1.7804D-01
		2.14	-3.5708D+00	-5.9634D+00	-2.6522D+00
		2.57	-3.5708D+00	-6.3441D+00	-5.2895D+00

		3.00	-3.5708D+00	-6.7249D+00	-8.0900D+00
7	2	0.00	9.5361D-01	-3.5863D+00	8.5934D+00
		0.43	9.5361D-01	-4.4967D+00	6.8613D+00
		0.86	9.5361D-01	-5.4070D+00	4.7391D+00
		1.29	9.5361D-01	-6.3173D+00	2.2267D+00

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
7	2	1.71	9.5361D-01	-7.2276D+00	-6.7575D-01
		2.14	9.5361D-01	-8.1380D+00	-3.9684D+00
		2.57	9.5361D-01	-9.0483D+00	-7.6511D+00
		3.00	9.5361D-01	-9.9586D+00	-1.1724D+01
8	2	0.00	3.7952D-01	-2.8276D+00	7.5142D+00
		0.43	3.7952D-01	-3.7380D+00	6.1073D+00
		0.86	3.7952D-01	-4.6483D+00	4.3103D+00
		1.29	3.7952D-01	-5.5586D+00	2.1230D+00
		1.71	3.7952D-01	-6.4690D+00	-4.5429D-01
		2.14	3.7952D-01	-7.3793D+00	-3.4218D+00
		2.57	3.7952D-01	-8.2896D+00	-6.7794D+00
		3.00	3.7952D-01	-9.1999D+00	-1.0527D+01
9	2	0.00	6.0233D-01	-1.4982D+00	5.4409D+00
		0.43	6.0233D-01	-2.4085D+00	4.6037D+00
		0.86	6.0233D-01	-3.3188D+00	3.3764D+00
		1.29	6.0233D-01	-4.2292D+00	1.7590D+00
		1.71	6.0233D-01	-5.1395D+00	-2.4857D-01
		2.14	6.0233D-01	-6.0498D+00	-2.6463D+00
		2.57	6.0233D-01	-6.9602D+00	-5.4341D+00
		3.00	6.0233D-01	-7.8705D+00	-8.6121D+00
10	2	0.00	1.2182D+00	1.7915D+00	5.8848D-02
		0.43	1.2182D+00	8.8122D-01	6.3158D-01
		0.86	1.2182D+00	-2.9110D-02	8.1418D-01
		1.29	1.2182D+00	-9.3944D-01	6.0663D-01
		1.71	1.2182D+00	-1.8498D+00	8.9452D-03
		2.14	1.2182D+00	-2.7601D+00	-9.7888D-01
		2.57	1.2182D+00	-3.6704D+00	-2.3569D+00
		3.00	1.2182D+00	-4.5808D+00	-4.1250D+00
11	3	0.00	-8.0987D+01	-2.5952D+00	-1.4901D-06
		2.00	-8.0987D+01	-2.5952D+00	-5.1903D+00
		4.00	-8.0987D+01	-2.5952D+00	-1.0381D+01

12	3	0.00	-5.6253D+01	2.1778D+00	0.0000D+00
		2.00	-5.6253D+01	2.1778D+00	4.3557D+00
		4.00	-5.6253D+01	2.1778D+00	8.7114D+00
13	3	0.00	-6.3768D+01	-7.7970D+00	1.9361D+01
		2.15	-6.3768D+01	-7.7970D+00	2.5973D+00
		4.30	-6.3768D+01	-7.7970D+00	-1.4166D+01
14	3	0.00	-3.9081D+01	6.1615D+00	-1.1894D+01
		2.15	-3.9081D+01	6.1615D+00	1.3536D+00

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
14	3	4.30	-3.9081D+01	6.1615D+00	1.4601D+01
15	3	0.00	-4.6156D+01	-7.6467D+00	1.7973D+01
		2.15	-4.6156D+01	-7.6467D+00	1.5325D+00
		4.30	-4.6156D+01	-7.6467D+00	-1.4908D+01
16	3	0.00	-2.5591D+01	5.4088D+00	-9.8608D+00
		2.15	-2.5591D+01	5.4088D+00	1.7682D+00
		4.30	-2.5591D+01	5.4088D+00	1.3397D+01
17	3	0.00	-2.8215D+01	-8.8058D+00	1.8793D+01
		2.00	-2.8215D+01	-8.8058D+00	1.1810D+00
		4.00	-2.8215D+01	-8.8058D+00	-1.6431D+01
18	3	0.00	-1.3759D+01	6.1884D+00	-1.1411D+01
		2.00	-1.3759D+01	6.1884D+00	9.6564D-01
		4.00	-1.3759D+01	6.1884D+00	1.3342D+01
19	3	0.00	-1.0093D+01	-9.5853D+00	1.8245D+01
		2.00	-1.0093D+01	-9.5853D+00	-9.2522D-01
		4.00	-1.0093D+01	-9.5853D+00	-2.0096D+01
20	3	0.00	-2.8671D+00	6.0144D+00	-1.1710D+01
		2.00	-2.8671D+00	6.0144D+00	3.1878D-01
		4.00	-2.8671D+00	6.0144D+00	1.2348D+01
21	4	0.00	-3.8335D+01	4.1733D-01	-2.3842D-07
		2.00	-3.8335D+01	4.1733D-01	8.3466D-01
		4.00	-3.8335D+01	4.1733D-01	1.6693D+00
22	4	0.00	-3.3754D+01	1.6355D+00	-2.4556D+00
		2.15	-3.3754D+01	1.6355D+00	1.0608D+00

		4.30	-3.3754D+01	1.6355D+00	4.5772D+00
23	4	0.00	-2.5884D+01	2.2379D+00	-4.0349D+00
		2.15	-2.5884D+01	2.2379D+00	7.7648D-01
		4.30	-2.5884D+01	2.2379D+00	5.5879D+00
24	4	0.00	-1.6684D+01	2.6174D+00	-4.9393D+00
		2.00	-1.6684D+01	2.6174D+00	2.9562D-01
		4.00	-1.6684D+01	2.6174D+00	5.5305D+00
25	4	0.00	-6.7249D+00	3.5709D+00	-6.1936D+00
		2.00	-6.7249D+00	3.5709D+00	9.4822D-01
		4.00	-6.7249D+00	3.5709D+00	8.0900D+00



DISPLACEMENT COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

NODE	1-DISP (M)	2-DISP (M)	3-DISP (Rad)

DISPLACEMENT COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

NODE	1-DISP (M)	2-DISP (M)	3-DISP (Rad)
1	0.0000D+00	0.0000D+00	1.6298D-03
2	0.0000D+00	0.0000D+00	6.3576D-04
3	0.0000D+00	0.0000D+00	8.4623D-04
4	-4.4625D-03	-1.0170D-02	8.7275D-05
5	-4.2690D-03	-7.0641D-03	1.9302D-03
6	-4.2436D-03	-8.8738D-04	1.4903D-03
7	-1.0460D-02	-1.8779D-02	9.1706D-04
8	-1.0466D-02	-1.2340D-02	2.3627D-03
9	-1.0453D-02	-1.7273D-03	2.3701D-03
10	-1.9220D-02	-2.5009D-02	1.4067D-03
11	-1.9177D-02	-1.5794D-02	2.9276D-03
12	-1.9169D-02	-2.3714D-03	3.0142D-03
13	-2.9038D-02	-2.8553D-02	1.7577D-03
14	-2.9009D-02	-1.7522D-02	3.2146D-03
15	-2.8990D-02	-2.7576D-03	3.2423D-03
16	-3.9317D-02	-2.9820D-02	1.4827D-03
17	-3.9674D-02	-1.7882D-02	3.3093D-03
18	-3.9748D-02	-2.9133D-03	3.9740D-03

SUPPORT REACTIONS <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

NODE	1-REACTION (T)	2-REACTION (T)	3-REACTION (T-M)
1	2.5952D+00	8.0987D+01	0.0000D+00
2	-2.1778D+00	5.6253D+01	0.0000D+00
3	-4.1733D-01	3.8335D+01	0.0000D+00

VOLUME OF MATERIALS <2D-FRAME SYSTEM>

SETS	VOLUME (M^3)
1	1.4000D+01
2	2.2500D+00
3	1.3670D+01
4	3.7080D+00

STRUCTURE DATA

:COORDINATE DATA (M)** ODE	1-COOR	2-COOR	**BOUNDARY DATA** 1-B	2-B	3-B
1	0.00	0.00	L	L	F
2	10.00	0.00	L	L	F
3	13.00	0.00	L	L	F
4	0.00	4.00			
5	10.00	4.00			
6	13.00	4.00			
7	0.00	8.30			
8	10.00	8.30			
9	13.00	8.30			
10	0.00	12.60			
11	10.00	12.60			
12	13.00	12.60			
13	0.00	16.60			
14	10.00	16.60			
15	13.00	16.60			
16	0.00	20.60			
17	10.00	20.60			
18	13.00	20.60			

:*ELEMENT DATA** LEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
1	4	5		1
2	7	8		1
3	10	11		1
4	13	14		1
5	16	17		1
6	17	18		2
7	14	15		2
8	11	12		2
9	8	9		2
10	5	6		2
11	1	4		3
12	2	5		3
13	4	7		3
14	5	8		3
15	7	10		3

ELEMENT DATA

ELEM	1-NODE	2-NODE	HINGE	MATERIAL
16	8	11		3
17	10	13		3
18	11	14		3
19	13	16		3
20	14	17		3
21	3	6		4
22	6	9		4
23	9	12		4
24	12	15		4
25	15	18		4

MATERIAL DATA

MATE	E-MODULUS (T/M^2)	AXIAL-AREA (M^2)	INERTIA (M^4)
1	9.600D+05	2.800D-01	1.143D-02
2	9.600D+05	1.500D-01	3.125D-03
3	9.600D+05	3.318D-01	1.402D-01
4	9.600D+05	1.800D-01	5.400D-03

LOAD CASE #1 : BEBAN HIDUP

UNIFORM LOAD DATA

ELEM	1-UNIFORM (T/M)	2-UNIFORM (T/M)
1	0.000D+00	-9.450D-01
2	0.000D+00	-9.450D-01
3	0.000D+00	-9.450D-01
4	0.000D+00	-9.450D-01
5	0.000D+00	-3.780D-01
6	0.000D+00	-2.002D-01
7	0.000D+00	-6.005D-01
8	0.000D+00	-6.005D-01
9	0.000D+00	-6.005D-01
10	0.000D+00	-6.005D-01

COMBINATION

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
1	1		0.00	1.0231D+00	4.7646D+00	-8.0092D+00
			0.48	1.0231D+00	4.3146D+00	-5.8475D+00
			0.95	1.0231D+00	3.8646D+00	-3.9001D+00
			1.43	1.0231D+00	3.4146D+00	-2.1669D+00
			1.90	1.0231D+00	2.9646D+00	-6.4807D-01
			2.38	1.0231D+00	2.5146D+00	6.5650D-01
			2.86	1.0231D+00	2.0646D+00	1.7468D+00
			3.33	1.0231D+00	1.6146D+00	2.6228D+00
			3.81	1.0231D+00	1.1646D+00	3.2845D+00
			4.29	1.0231D+00	7.1459D-01	3.7319D+00
			4.76	1.0231D+00	2.6459D-01	3.9650D+00
			5.24	1.0231D+00	-1.8541D-01	3.9839D+00
			5.71	1.0231D+00	-6.3542D-01	3.7884D+00
			6.19	1.0231D+00	-1.0854D+00	3.3787D+00
			6.67	1.0231D+00	-1.5354D+00	2.7547D+00
			7.14	1.0231D+00	-1.9854D+00	1.9164D+00
			7.62	1.0231D+00	-2.4354D+00	8.6385D-01
			8.10	1.0231D+00	-2.8854D+00	-4.0302D-01
			8.57	1.0231D+00	-3.3354D+00	-1.8842D+00
			9.05	1.0231D+00	-3.7854D+00	-3.5796D+00
			9.52	1.0231D+00	-4.2354D+00	-5.4893D+00
			10.00	1.0231D+00	-4.6854D+00	-7.6133D+00
2	1		0.00	4.3671D-02	4.7755D+00	-8.0804D+00
			0.48	4.3671D-02	4.3255D+00	-5.9135D+00
			0.95	4.3671D-02	3.8755D+00	-3.9609D+00
			1.43	4.3671D-02	3.4255D+00	-2.2226D+00
			1.90	4.3671D-02	2.9755D+00	-6.9855D-01
			2.38	4.3671D-02	2.5255D+00	6.1119D-01
			2.86	4.3671D-02	2.0755D+00	1.7066D+00
			3.33	4.3671D-02	1.6255D+00	2.5878D+00
			3.81	4.3671D-02	1.1755D+00	3.2547D+00
			4.29	4.3671D-02	7.2546D-01	3.7073D+00
			4.76	4.3671D-02	2.7546D-01	3.9456D+00
			5.24	4.3671D-02	-1.7454D-01	3.9696D+00
			5.71	4.3671D-02	-6.2454D-01	3.7794D+00

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
2	1		6.19	4.3671D-02	-1.0745D+00	3.3748D+00
			6.67	4.3671D-02	-1.5245D+00	2.7560D+00
			7.14	4.3671D-02	-1.9745D+00	1.9229D+00
			7.62	4.3671D-02	-2.4245D+00	8.7550D-01
			8.10	4.3671D-02	-2.8745D+00	-3.8619D-01
			8.57	4.3671D-02	-3.3245D+00	-1.8622D+00
			9.05	4.3671D-02	-3.7745D+00	-3.5524D+00
			9.52	4.3671D-02	-4.2245D+00	-5.4570D+00
			10.00	4.3671D-02	-4.6745D+00	-7.5758D+00
3	1		0.00	2.0352D-01	4.7858D+00	-8.1359D+00
			0.48	2.0352D-01	4.3358D+00	-5.9641D+00
			0.95	2.0352D-01	3.8858D+00	-4.0066D+00
			1.43	2.0352D-01	3.4358D+00	-2.2633D+00
			1.90	2.0352D-01	2.9858D+00	-7.3434D-01
			2.38	2.0352D-01	2.5358D+00	5.8034D-01
			2.86	2.0352D-01	2.0858D+00	1.6807D+00
			3.33	2.0352D-01	1.6358D+00	2.5668D+00
			3.81	2.0352D-01	1.1858D+00	3.2387D+00
			4.29	2.0352D-01	7.3583D-01	3.6962D+00
			4.76	2.0352D-01	2.8583D-01	3.9395D+00
			5.24	2.0352D-01	-1.6417D-01	3.9684D+00
			5.71	2.0352D-01	-6.1417D-01	3.7831D+00
			6.19	2.0352D-01	-1.0642D+00	3.3835D+00
			6.67	2.0352D-01	-1.5142D+00	2.7696D+00
			7.14	2.0352D-01	-1.9642D+00	1.9414D+00
			7.62	2.0352D-01	-2.4142D+00	8.9898D-01
			8.10	2.0352D-01	-2.8642D+00	-3.5777D-01
			8.57	2.0352D-01	-3.3142D+00	-1.8288D+00
			9.05	2.0352D-01	-3.7642D+00	-3.5141D+00
			9.52	2.0352D-01	-4.2142D+00	-5.4137D+00
			10.00	2.0352D-01	-4.6642D+00	-7.5276D+00
4	1		0.00	-3.3439D-01	4.7919D+00	-8.1528D+00
			0.48	-3.3439D-01	4.3419D+00	-5.9781D+00
			0.95	-3.3439D-01	3.8919D+00	-4.0177D+00
			1.43	-3.3439D-01	3.4419D+00	-2.2716D+00
			1.90	-3.3439D-01	2.9919D+00	-7.3973D-01
			2.38	-3.3439D-01	2.5419D+00	5.7783D-01
			2.86	-3.3439D-01	2.0919D+00	1.6811D+00
			3.33	-3.3439D-01	1.6419D+00	2.5701D+00
			3.81	-3.3439D-01	1.1919D+00	3.2448D+00
			4.29	-3.3439D-01	7.4188D-01	3.7052D+00
			4.76	-3.3439D-01	2.9188D-01	3.9514D+00
			5.24	-3.3439D-01	-1.5812D-01	3.9832D+00

		5.71	-3.3439D-01	-6.0812D-01	3.8008D+00

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
4	1		6.19	-3.3439D-01	-1.0581D+00	3.4040D+00
			6.67	-3.3439D-01	-1.5081D+00	2.7930D+00
			7.14	-3.3439D-01	-1.9581D+00	1.9677D+00
			7.62	-3.3439D-01	-2.4081D+00	9.2815D-01
			8.10	-3.3439D-01	-2.8581D+00	-3.2572D-01
			8.57	-3.3439D-01	-3.3081D+00	-1.7939D+00
			9.05	-3.3439D-01	-3.7581D+00	-3.4763D+00
			9.52	-3.3439D-01	-4.2081D+00	-5.3730D+00
			10.00	-3.3439D-01	-4.6581D+00	-7.4840D+00
5	1		0.00	-1.8102D+00	1.9581D+00	-3.4433D+00
			0.48	-1.8102D+00	1.7781D+00	-2.5537D+00
			0.95	-1.8102D+00	1.5981D+00	-1.7498D+00
			1.43	-1.8102D+00	1.4181D+00	-1.0317D+00
			1.90	-1.8102D+00	1.2381D+00	-3.9922D-01
			2.38	-1.8102D+00	1.0581D+00	1.4750D-01
			2.86	-1.8102D+00	8.7812D-01	6.0851D-01
			3.33	-1.8102D+00	6.9812D-01	9.8381D-01
			3.81	-1.8102D+00	5.1812D-01	1.2734D+00
			4.29	-1.8102D+00	3.3812D-01	1.4773D+00
			4.76	-1.8102D+00	1.5812D-01	1.5954D+00
			5.24	-1.8102D+00	-2.1878D-02	1.6279D+00
			5.71	-1.8102D+00	-2.0188D-01	1.5746D+00
			6.19	-1.8102D+00	-3.8188D-01	1.4356D+00
			6.67	-1.8102D+00	-5.6188D-01	1.2109D+00
			7.14	-1.8102D+00	-7.4188D-01	9.0046D-01
			7.62	-1.8102D+00	-9.2188D-01	5.0433D-01
			8.10	-1.8102D+00	-1.1019D+00	2.2483D-02
			8.57	-1.8102D+00	-1.2819D+00	-5.4508D-01
			9.05	-1.8102D+00	-1.4619D+00	-1.1984D+00
			9.52	-1.8102D+00	-1.6419D+00	-1.9373D+00
			10.00	-1.8102D+00	-1.8219D+00	-2.7620D+00
6	2		0.00	-2.2776D-01	3.9838D-02	2.9733D-01
			0.43	-2.2776D-01	-4.5962D-02	2.9602D-01
			0.86	-2.2776D-01	-1.3176D-01	2.5793D-01
			1.29	-2.2776D-01	-2.1756D-01	1.8308D-01
			1.71	-2.2776D-01	-3.0336D-01	7.1453D-02
			2.14	-2.2776D-01	-3.8916D-01	-7.6945D-02
			2.57	-2.2776D-01	-4.7496D-01	-2.6211D-01
			3.00	-2.2776D-01	-5.6076D-01	-4.8406D-01

7	2	0.00	2.2633D-02	6.1637D-01	7.8190D-03
		0.43	2.2633D-02	3.5901D-01	2.1683D-01
		0.86	2.2633D-02	1.0166D-01	3.1555D-01
		1.29	2.2633D-02	-1.5570D-01	3.0396D-01

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
7	2		1.71	2.2633D-02	-4.1306D-01	1.8209D-01
			2.14	2.2633D-02	-6.7041D-01	-5.0084D-02
			2.57	2.2633D-02	-9.2777D-01	-3.9255D-01
			3.00	2.2633D-02	-1.1851D+00	-8.4532D-01
8	2		0.00	3.0806D-02	6.4909D-01	-3.7342D-02
			0.43	3.0806D-02	3.9174D-01	1.8569D-01
			0.86	3.0806D-02	1.3438D-01	2.9843D-01
			1.29	3.0806D-02	-1.2298D-01	3.0087D-01
			1.71	3.0806D-02	-3.8034D-01	1.9302D-01
			2.14	3.0806D-02	-6.3769D-01	-2.5126D-02
			2.57	3.0806D-02	-8.9505D-01	-3.5357D-01
			3.00	3.0806D-02	-1.1524D+00	-7.9231D-01
9	2		0.00	4.2565D-02	7.4153D-01	-1.8381D-01
			0.43	4.2565D-02	4.8418D-01	7.8839D-02
			0.86	4.2565D-02	2.2682D-01	2.3120D-01
			1.29	4.2565D-02	-3.0539D-02	2.7325D-01
			1.71	4.2565D-02	-2.8790D-01	2.0502D-01
			2.14	4.2565D-02	-5.4525D-01	2.6487D-02
			2.57	4.2565D-02	-8.0261D-01	-2.6234D-01
			3.00	4.2565D-02	-1.0600D+00	-6.6147D-01
10	2		0.00	8.8964D-02	9.0355D-01	-4.4397D-01
			0.43	8.8964D-02	6.4619D-01	-1.1188D-01
			0.86	8.8964D-02	3.8884D-01	1.0991D-01
			1.29	8.8964D-02	1.3148D-01	2.2141D-01
			1.71	8.8964D-02	-1.2588D-01	2.2261D-01
			2.14	8.8964D-02	-3.8323D-01	1.1351D-01
			2.57	8.8964D-02	-6.4059D-01	-1.0588D-01
			3.00	8.8964D-02	-8.9795D-01	-4.3557D-01
11	3		0.00	-2.1076D+01	-8.7427D-01	-2.2352D-07
			2.00	-2.1076D+01	-8.7427D-01	-1.7485D+00
			4.00	-2.1076D+01	-8.7427D-01	-3.4971D+00
12	3		0.00	-2.3455D+01	8.3148D-01	-2.3842D-07

		2.00	-2.3455D+01	8.3148D-01	1.6630D+00
		4.00	-2.3455D+01	8.3148D-01	3.3259D+00
13	3	0.00	-1.6311D+01	-1.8974D+00	4.5121D+00
		2.15	-1.6311D+01	-1.8974D+00	4.3270D-01
		4.30	-1.6311D+01	-1.8974D+00	-3.6467D+00
14	3	0.00	-1.7866D+01	1.7656D+00	-3.8434D+00
		2.15	-1.7866D+01	1.7656D+00	-4.7277D-02

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA HINGE	SECTION (M)	AXIAL F. (T)	SHEAR (T)	MOMENT (T-M)
14	3	4.30	-1.7866D+01	1.7656D+00	3.7489D+00
15	3	0.00	-1.1536D+01	-1.9411D+00	4.4337D+00
		2.15	-1.1536D+01	-1.9411D+00	2.6038D-01
		4.30	-1.1536D+01	-1.9411D+00	-3.9129D+00
16	3	0.00	-1.2449D+01	1.7668D+00	-3.6431D+00
		2.15	-1.2449D+01	1.7668D+00	1.5540D-01
		4.30	-1.2449D+01	1.7668D+00	3.9539D+00
17	3	0.00	-6.7500D+00	-2.1446D+00	4.2230D+00
		2.00	-6.7500D+00	-2.1446D+00	-6.6155D-02
		4.00	-6.7500D+00	-2.1446D+00	-4.3553D+00
18	3	0.00	-7.1362D+00	1.9395D+00	-3.5364D+00
		2.00	-7.1362D+00	1.9395D+00	3.4256D-01
		4.00	-7.1362D+00	1.9395D+00	4.2215D+00
19	3	0.00	-1.9581D+00	-1.8102D+00	3.7975D+00
		2.00	-1.9581D+00	-1.8102D+00	1.7713D-01
		4.00	-1.9581D+00	-1.8102D+00	-3.4433D+00
20	3	0.00	-1.8617D+00	1.5824D+00	-3.2704D+00
		2.00	-1.8617D+00	1.5824D+00	-1.0550D-01
		4.00	-1.8617D+00	1.5824D+00	3.0594D+00
21	4	0.00	-4.8562D+00	4.2785D-02	1.4901D-08
		2.00	-4.8562D+00	4.2785D-02	8.5569D-02
		4.00	-4.8562D+00	4.2785D-02	1.7114D-01
22	4	0.00	-3.9583D+00	1.3175D-01	-2.6443D-01
		2.15	-3.9583D+00	1.3175D-01	1.8832D-02
		4.30	-3.9583D+00	1.3175D-01	3.0209D-01

23	4	0.00	-2.8983D+00	1.7431D-01	-3.5937D-01
		2.15	-2.8983D+00	1.7431D-01	1.5403D-02
		4.30	-2.8983D+00	1.7431D-01	3.9018D-01
24	4	0.00	-1.7459D+00	2.0512D-01	-4.0213D-01
		2.00	-1.7459D+00	2.0512D-01	8.1110D-03
		4.00	-1.7459D+00	2.0512D-01	4.1835D-01
25	4	0.00	-5.6076D-01	2.2775D-01	-4.2696D-01
		2.00	-5.6076D-01	2.2775D-01	2.8546D-02
		4.00	-5.6076D-01	2.2775D-01	4.8406D-01

DISPLACEMENT COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

NODE	1-DISP (M)	2-DISP (M)	3-DISP (Rad)

DISPLACEMENT COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

NODE	1-DISP (M)	2-DISP (M)	3-DISP (Rad)
1	0.0000D+00	0.0000D+00	4.9995D-05
2	0.0000D+00	0.0000D+00	6.6830D-06
3	0.0000D+00	0.0000D+00	6.8523D-07
4	-1.3069D-04	-2.6467D-04	-1.9709D-06
5	-9.2629D-05	-2.9454D-04	5.6106D-05
6	-9.0775D-05	-1.1241D-04	6.6711D-05
7	-2.4534D-04	-4.8486D-04	1.1853D-05
8	-2.4372D-04	-5.3571D-04	5.4595D-05
9	-2.4283D-04	-2.1091D-04	8.2331D-05
10	-4.0975D-04	-6.4059D-04	2.0172D-05
11	-4.0218D-04	-7.0378D-04	5.9560D-05
12	-4.0154D-04	-2.8303D-04	9.5108D-05
13	-5.7149D-04	-7.2536D-04	1.8206D-05
14	-5.8393D-04	-7.9339D-04	6.9741D-05
15	-5.8345D-04	-3.2345D-04	1.0137D-04
16	-7.2657D-04	-7.4995D-04	2.3470D-05
17	-7.9391D-04	-8.1677D-04	6.6605D-05
18	-7.9866D-04	-3.3643D-04	1.2339D-04

SUPPORT REACTIONS <2D-FRAME SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

NODE	1-REACTION (T)	2-REACTION (T)	3-REACTION (T-M)
1	8.7427D-01	2.1076D+01	0.0000D+00
2	-8.3148D-01	2.3455D+01	0.0000D+00
3	-4.2785D-02	4.8562D+00	0.0000D+00

VOLUME OF MATERIALS <2D-FRAME SYSTEM>

SETS	VOLUME (M^3)
1	1.4000D+01
2	2.2500D+00
3	1.3670D+01
4	3.7080D+00