

TUGAS AKHIR

**KOMPUTERISASI PERENCANAAN
GEDUNG BERTINGKAT TAHAN GEMPA
METODE DESAIN KAPASITAS
(SK SNI T-15-1991-03 DAN NEW ZEALAND CODE)**



Winarno

No. Mhs. : 89 310 143
NIRM : 890051013114120135

Purwanto

No. Mhs. : 90 310 143
NIRM : 900051013114120124

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1998**

TUGAS AKHIR

**TERISASI PERENCANAAN GEDUNG BERTINGKAT
HAN GEMPA METODE DESAIN KAPASITAS
SNI T-15-1991-03 DAN NEW ZEALAND CODE)**

Disusun oleh :

Winarno

No. Mhs. : 89 310 143
NIRM : 890051013114120135

Purwanto

No. Mhs. : 90 310 143
NIRM : 900051013114120124

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

g l

Dosen Pembimbing II

Ir. A Kadir Aboc, MS

Tanggal :

TUGAS AKHIR

**KOMPUTERISASI PERENCANAAN GEDUNG BERTINGKAT
TAHAN GEMPA METODE DESAIN KAPASITAS
(SK SNI T-15-1991-03 DAN NEW ZEALAND CODE)**

Disusun oleh :

Winarno

No. Mhs. : 89 310 143
NIRM : 890051013114120135

Purwanto

No. Mhs. : 90 310 143
NIRM : 900051013114120124

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

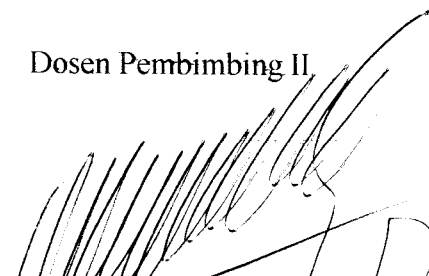
Dosen Pembimbing I



Ir. Widodo, MSCE, PhD

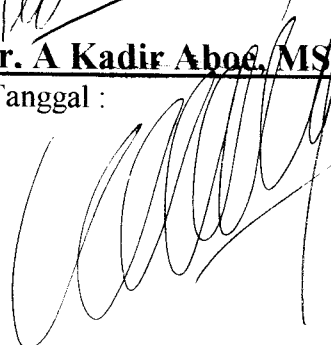
Tanggal :

Dosen Pembimbing II



Ir. A Kadir Aboc, MS

Tanggal :



KATA PENGANTAR

2. Bapc
3. Baj
4. Ba
5. K
6. Se

السُّكْرُومُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Uni
3. Baj
4. Ba
5. K
6. Se

Segala puji kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan banyak kenikmatan serta kemudahan hingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

5. K
6. Se

Ilmu teknik sipil sangat berperan pada era pembangunan saat ini dan dalam era tersebut globalisasi dalam bidang komputer tidak dapat dihindari.

6. Se

Penggunaan komputer sebagai alat bantu sering terhambat karena software atau program yang ada tidak sesuai dengan peraturan yang ditetapkan di Indonesia. Oleh karena itu pembuatan software yang mengacu pada peraturan yang berlaku di Indonesia sangat dibutuhkan.

Dalam tugas akhir ini kami mencoba melanjutkan pembuatan program yang sesuai dengan peraturan yang berlaku tersebut.

Selama penyusunan tugas akhir ini kami mendapat banyak masukan, petunjuk serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu kami ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB. I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Maksud dan Tujuan	4
1.5. Manfaat	5
BAB. II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum	6
2.2. Microfeap II	7
2.3. Framex	7
2.4. Procon	8
2.5. UNIITS	8
2.6. Program-Program Lain	9

BAB. III LANDASAN TEORI

3.1. Struktur Beton di Daerah rawan Gempa	11
3.1.1. Pembagian Peta Wilayah Gempa di Indonesia	11
3.1.2. Faktor-Faktor Penentu Beban Gempa Rencana	11
3.1.2.1. Koefisien Gempa Dasar (C)	11
3.1.2.2. Faktor Keutamaan (I)	12
3.1.2.3. Faktor Jenis Struktur (K)	12
3.1.2.4. Analisis Beban Ekiuvalen Statik	13
3.1.2.5. Waktu Getar Alami Gedung	13
3.1.2.6. Distribusi Beban Geser Akibat Gempa	14
3.2. Struktur Beton Dengan Konsep Desain Kapasitas	14
3.2.1. Prinsip-Prinsip Dasar Konsep Desain Kapasitas	14
3.2.2. Karakteristik Desain Kapasitas	16
3.3. Analisis Struktur	17
3.4. Redistribusi Momen	19
3.4.1. Tujuan Redistribusi Momen	20
3.4.2. Syarat Keseimbangan dan Batas Redistribusi Momen.....	21
3.4.3. Definisi dan Hubungan Kerja	23
3.5. Perencanaan Beton	25
3.5.1. Perencanaan Balok	27
3.5.1.1. Perencanaan Balok Portal Terhadap Lentur	28
3.5.1.1.1. Balok Bertulangan Sebelah	30

3.5.1.1.2. Balok bertulangan Rangkap	33
3.5.1.2. Perencanaan Balok Portal Terhadap Beban Geser	36
3.5.2. Perencanaan Kolom	37
3.5.3. Perencanaan Plat	40
BAB. IV METODA ANALISIS DAN PROSESE PEMROGRAMAN	
4.1. Umum	45
4.2. Perhitungan Beban Gempa	45
4.2.1. Langkah-Langkah Perhitungan Beban Gempa	45
4.2.2. Flow Chart Perhitungan Gempa	50
4.3. Perhitungan Analisis Struktur	50
4.3.1. Langkah-Langkah Perhitungan Analisis Struktur	50
4.3.2. Flow Chart Perhitungan Analisis Struktur	52
4.4. Redistribusi Momen	52
4.4.1. Langkah-Langkah Redistribusi Momen	53
4.4.2. Flow Chart Redistribusi Momen	75
4.5. Perencanaan Balok	75
4.5.1. Langkah-langkah Perencanaan Balok	75
4.5.1.1. Desain Balok Bertulangan Sebelah	77
4.5.1.2. Desain Balok Bertulangan Rangkap	77
4.5.2. Langkah-Langkah Analisis Balok	81
4.5.3. Flow Chart Perencanaan Balok	84
4.6. Perencanaan Kolom	84

2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Widodo, MSCE, PhD. selaku Dosen pembimbing I.
4. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MS. selaku Dosen Pembimbing II.
5. Kepada kedua orang tua dan keluarga penyusun, yang telah memberikan dorongan moril dan materiil selama ini.
6. Kepada semua pihak yang langsung maupun tidak langsung turut membantu kelancaran penyusunan tugas akhir ini.

Semoga atas segala bantuannya, mendapat ridho dari Allah dan dicatat sebagai amal kebaikan.

وَالشُّكْرُ لِلَّهِ وَالرَّحْمَةُ لِلرَّحْمَنِ

Yogyakarta, 29 Desember 1997

Penyusun

Winarno dan Purwanto

4.6.1. Langkah-Langkah Analisis Kolom	84
4.6.2. Flow Chart Analisis Kolom	90
4.7. Perencanaan Plat	90
4.7.1. Langkah-Langkah Perencanaan Plat	90
4.7.2. Flow Chart Perencanaan Plat	96
 BAB. V MODEL KAJIAN DAN PEMBAHASAN	
5.1. Data Struktur	97
5.2. Perhitungan Beban	97
5.3. Validasi Program	101
5.3.1. Gaya Gempa	101
5.3.2. Analisis Struktur	102
5.4. Pembahasan	106
5.4.1. Gaya Gempa	107
5.4.2. Analisis Struktur	108
5.4.3. Perencanaan Beton	108
 BAB. VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1. Kesimpulan	110
6.2. Saran	110

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Keterangan	Halaman
3.1.	Pengaruh Beban Pada Bentang	18
3.2.	Keseimbangan Momen Pada Sebuah Subrangka	22
3.3.	Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Bertulangan Sebelah	31
3.4.	Balok Dengan Tulangan Rangkap	33
3.5.	Tegangan dan Gaya-Gaya Pada Kolom	37
4.1.	Redistribusi Momen Balok Pada Muka Kolom	53
4.2.	Jarak Momen Nol ke Pusat kolom	56
4.3.	Momen Balok Pada Muka Kolom Yang Sebenarnya	57
4.4.	Momen gempa Balok Pada Muka Kolom	59
4.5.	Kuat Geser Balok	71
4.6.	Kuat Lentur Kolom	72
4.7.	Kuat Geser Kolom	74
5.1.	Denah Bangunan	98
5.2.	Beban Ekiuvalen	99

DAFTAR TABEL

Tabel	Keterangan	Halaman
3.1.	Koefisien Momen Plat	41
3.2.	Tebal Minimum Plat satu Arah	43
5.1.	Validasi Berat Lantai	101
5.2.	Validasi Kekakuan	101
5.3.	Validasi Gaya Horisontal Gempa	101
5.4.	Validasi Kekakuan Relatif	102
5.5.	Validasi Faktor Distribusi	102
5.6.	Validasi Distribusi Momen Beban Mati	103
5.7.	Validasi Distribusi Momen Penggoyangan Beban Gempa	104
5.8.	Validasi Momen Akhir	405

DAFTAR NOTASI

a = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen

A_s = luas tulangan tarik

A'_s = luas tulangan desak

α_k = faktor distribusi momen

b = lebar penampang beton

BS = berat sendiri elemen struktur

β_1 = konstante yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

c = jarak dari serat desak terluar ke garis netral

C = resultante gaya tekan dalam

C_c = resultante gaya tekan dalam bagian beton

C_s = resultante gaya tekan dalam bagian baja

d = jarak dari serat desak terluar ke pusat tulangan tarik

d' = jarak titik berat kelompok tulangan desak dari serat desak terluar beton

e = jarak antara gaya yang terjadi ke titik berat kolom (tampak atas elemen)

eb = eksentrisitas kondisi balanced

E = modulus elastisitas

ϵ_c = regangan desak beton

- ϵ_s = regangan tarik baja
- ϵ'_s = regangan desak baja
- f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan
- f_s = tegangan baja bagian tarik
- f_y = tegangan luluh baja
- F_i = beban gempa horisontal pada tingkan ke-i
- g = percepatan gravitasi bumi
- h = tinggi penampang beton
- H = tinggi total struktur gedung
- I = faktor keutamaan struktur
- l_n = bentang bersih
- M_{oc} = momen balok pada as kolom
- M_{of} = momen awal balok pada muka kolom
- M_{fo} = momen akhir balok pada muka kolom
- M_r = momen yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur
- M_u = momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur
- M_uK = momen kolom
- n = jumlah tulangan tarik
- n' = jumlah tulangan desak
- Φ = faktor reduksi kekuatan

- Φ_o = faktor kuat lebih lentur
- \varnothing_p = diameter tulangan pokok
- \varnothing_s = diameter tulangan sengkang
- P_c = beban tekuk
- P_{eo} = gaya aksial kolom karena gempa
- P_n = gaya aksial normal
- P_{nb} = gaya aksial normal kondisi balanced
- ρ = rasio tulangan tarik
- ρ' = rasio tulangan desak
- ρ_b = rasio tulangan kondisi balanced
- ρ_{min} = rasio tulangan minimum
- ρ_{maks} = rasio tulangan maksimum
- q = nilai redistribusi momen
- R_v = faktor reduksi gaya aksial kolom
- S_i = kuat nominal
- S_o = kuat lebih
- S_u = kuat elemen struktur beton yang diperlukan akibat adanya beban luar
- T = resultante gaya tarik dalam
- V = beban geser dasar akibat gempa
- V_g = gaya geser balok karena beban gravitasi

V_{ub} = kuat geser balok

W_D = beban mati

W_L = beban hidup

W_t = kombinasi beban mati seluruhnya dan beban hidup vertikal yang tereduksi

W_u = beban rencana terfaktor

ω_d = faktor pembesaran dinamik kolom

INTISARI

Komputer dengan program-program aplikasinya merupakan salah satu sarana yang tidak terlepas pemakaiannya didalam banyak sendi kehidupan masyarakat dewasa ini. Perkembangan kemajuan ilmu dan teknologi yang semakin pesat, semakin pula meningkatkan taraf kehidupan rakyat. Hal ini dapat dilihat dari pembangunan di bidang sarana dan prasarana fisik, sebagai salah satu contoh adalah banyak didirikannya gedung-gedung bertingkat sebagai sarana umum. Yang mana didalam perencanaan gedung-gedung bertingkat tersebut, perlu dilakukan dengan cepat, efektif dan teliti.

Didalam perencanaan suatu struktur bangunan gedung bertingkat, komputer dan program-program aplikasinya dipakai sebagai suatu alat bantu. Komputer diperlukan untuk perhitungan-perhitungan yang berulang, persoalan yang banyak memerlukan hitungan dan hitungan yang beriterasi. Dengan menggunakan komputer, maka proses hitungan akan menjadi cepat, efektif dan teliti.

Secara umum program-program komputer untuk perencanaan gedung yang telah ada jumlahnya terbatas dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Oleh karena itu, didalam hal ini kami mencoba untuk membuat suatu program aplikasi yang menggabungkan antara analisis struktur dan perencanaan beton dengan Konsep Desain Kapasitas dan Metode Momen Ultimit.

Analisis struktur merupakan suatu perhitungan untuk mengetahui gaya dan momen yang bekerja pada struktur gedung, pada program ini analisis struktur yang digunakan adalah Metode Takabeya. Untuk Konsep Desain Kapasitas disini, redistribusinya menggunakan suatu pendekatan. Perencanaan struktur beton yang ditinjau hanya terhadap lentur berdasarkan SK SNI T-15-1991-03. Kemampuan program ini adalah dapat dipakai untuk merencanakan struktur portal bertingkat dan tiap-tiap batang struktur sendiri.

Program ini belum dilengkapi dengan perbandingan antara Konsep Desain Kapasitas cara New Zealand dan cara SK SNI T-15-1991-03 serta kemampuan gambar.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perhitungan struktur beton untuk perencanaan struktur gedung semula hanya menggunakan cara tegangan kerja (*working stress analysis*). Dimana menurut cara ini, elemen struktural harus direncanakan sedemikian rupa sehingga tegangan yang dihitung akibat beban yang bekerja tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditetapkan. Metoda perencanaan tegangan kerja atau metoda perencanaan elastik ini didasarkan pada anggapan bahwa sifat dan perilaku bahan beton bertulang disamakan dengan bahan homogen (serba sama). Sesuai dengan teori elastisitas, tegangan dan regangan pada penampang balok terlentur bahan homogen terdistribusi linear membentuk garis lurus dari nol di garis netral ke nilai maksimum di serat tepi terluar. Dengan demikian nilai-nilai tegangan pada penampang balok terlentur berbanding lurus dengan regangannya, dan bahan beton dianggap berperilaku elastik sempurna. Hanya saja pada kenyataannya bahan beton bersifat tidak serba sama (*nonhomogeneous*) dan tidak sepenuhnya elastik. Hubungan sebanding antara tegangan dan regangan dalam beton terdesak hanya berlaku sampai pada suatu batas keadaan pembebanan tertentu, yaitu pada tingkat beban sedang. Seiring dengan perkembangan ilmu teknik sipil, maka perkembangan tata cara perhitungan struktur beton berkembang pula. Dengan perkembangan tata cara perhitungan struktur beton, dikembangkan suatu cara

perhitungan yang menerapkan kemampuan batas bahan dalam menahan beban yang bekerja pada struktur. Konsep kemampuan batas ini kemudian dikembangkan lagi secara menyeluruh dalam penggunaan struktur di daerah rawan gempa. Menurut Standar Tata Cara Penghitungan Struktur Beton nomor : SKSNI T-15-1991-03 bahwa perencanaan struktur di daerah rawan gempa ini dibagi dalam 3 tingkat daktilitas, daktilitas-1 (cara elastis), daktilitas-2 (cara semi plastis) dan daktilitas-3 (cara plastis). Indonesia yang dikategorikan sebagai daerah rawan gempa karena dilalui 2 jalur gempa, yaitu *Circum Pacific* dan *Trans Asiatic Earthquake Belt* mengakibatkan kurang lebih terjadi 400 gempa kecil pertahun, dalam perhitungan struktur gedung diperlukan perhitungan yang cermat, baik analisis struktur maupun desaian struktur.

Dalam perencanaan struktur gedung bertingkat diperlukan analisis struktur untuk mengetahui besarnya gaya-gaya dan momen-momen di setiap bagian (terutama pada ujung dan tengah bentang). Untuk menyelesaikan analisis struktur telah dibuat banyak metoda atau cara penyelesaiannya, diantaranya metoda Cross, Takabeya, Kani, dan lain-lainnya. Metoda Takabeya merupakan penyederhanaan dan penyempurnaan dari metoda Cross dan Kani, serta mudah dipelajari karena pada tiap-tiap titik buhul hanya memerlukan satu momen parsial untuk pembesaran momen.

Dalam perencanaan struktur gedung bertingkat selalu membutuhkan waktu yang cukup lama, sedangkan waktu dan kesempatan yang tersedia bagi para praktisi terbatas. Sementara itu, perencanaan bangunan memerlukan suatu penanganan yang aerius secara terus menerus. Mengingat akan hal tersebut di atas,

atas, maka untuk mengefektifkan waktu dan biaya diperlukan suatu perangkat lunak untuk membantu menyelesaikan perhitungan tersebut. Sebagai salah satu pemecahannya adalah dengan menggunakan komputer. Program-program komputer yang ada di pasaran sudah banyak yang dapat dipergunakan, tetapi kebanyakan adalah produk dari luar negeri dan belum merupakan suatu paket program yang lengkap untuk desain bangunan tahan gempa. Oleh karena itulah, maka akan lebih bermanfaat apabila permasalahan tersebut dibahas dan dicari pemecahannya dalam Tugas Akhir ini.

1.2. Rumusan Masalah

Perencanaan atau desain secara manual, disamping memerlukan waktu yang relatif lebih lama, juga memungkinkan terjadinya kesalahan hitungan karena faktor manusianya. Untuk perencanaan atau desain yang lebih cermat dan cepat diperlukan suatu alat bantu. Sebagai pemecahannya yaitu komputerisasi perencanaan bangunan gedung bertingkat dengan memperhatikan kaidah-kaidah desain bangunan tahan gempa.

1.3. Batasan Masalah dan Tujuan

Sebagai batasan dalam Tugas Akhir ini adalah :

- 1). Ketinggian bangunan adalah berdasarkan jumlah tingkat bangunan,
- 2). Jenis bangunan berupa portal persegi dan tipikal,
- 3). Beban yang bekerja berupa beban terbagi merata ekuivalen termasuk beban mati dan beban hidup,

- 4). Perhitungan gempa berdasarkan PPKGURDG 1987,
- 5). Kombinasi pembebanan berdasarkan NZS 4203 : 1984 (New Zealand),
- 6). Perhitungan analisis struktur berdasarkan Metoda Takabeya,
- 7). Redistribusi momen hasil kombinasi pembebanan dilakukan dengan cara suatu pendekatan,
- 8). Perhitungan desain momen dan gaya pada portal berdasarkan desain Kapasitas (*Capacity Design*),
- 9). Desain atau perencanaan beton berdasarkan SKSNI T-15-1991-03,
- 10). Pada perhitungan plat lantai dan plat atap berdasarkan PBI N-2. 1971,
- 11). Desain atau perencanaan beton ditinjau hanya berdasarkan akibat lentur.

1.4. Maksud dan Tujuan

Dalam era globalisasi sekarang ini dan sesuai dengan tuntutan jaman, cara kerja yang praktis dan efisien sangatlah dituntut. Dalam bidang teknik sipil, desain elemen struktur yang waktu dan proses penyelesaiannya efisien dan cepat juga dituntut agar perencanaan bangunan dapat diselesaikan dengan cepat. Bagi seorang calon sarjana teknik sipil, penguasaan akan pengetahuan dan kemampuan untuk merencanakan bangunan dengan efisien dan cepat merupakan suatu modal yang sangat berharga karena nantinya akan berhadapan dengan kasus perencanaan bangunan. Demikian pula halnya dengan para praktisi, hal ini akan sangat berguna.

Adapun tujuan dari pembuatan Tugas Akhir dengan program komputer ini adalah untuk :

- 1). Mempercepat analisis struktur,
- 2). Mempercepat perencanaan desain struktur beton tahan gempa,
- 3). Membiasakan para perencana untuk mempelajari peraturan yang baru.

1.5. Manfaat

Secara umum, kami berharap program ini dapat menjadi andalan para praktisi dan *applicable*, serta menjadi salah satu referensi mahasiswa Indonesia dalam menyelesaikan suatu kasus yang sesuai dengan batasan dan peraturan yang telah ditentukan.

Manfaat yang lain yang diharapkan adalah dalam rangka lebih memperkenalkan Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Yogyakarta, yang terus berkembang, berdinamika, dan berusaha menciptakan intelektual yang Islami dan muslim yang intelektual.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Untuk merencanakan atau mendesain suatu struktur bangunan gedung memerlukan penguasaan akan ilmu dan pengetahuan tentang struktur secara menyeluruh, baik mengenai analisis struktur, struktur beton, struktur baja, dan semua hal yang berhubungan dengan struktur suatu bangunan. Penguasaan akan dasar-dasar atau ilmu tentang struktur saja tidaklah cukup, karena banyak masalah-masalah lain yang harus dipecahkan, salah satunya adalah waktu dan ketelitian hasil perencanaan struktur. Dalam berbagai bidang, pemakaian komputer adalah hal yang telah umum, diperlukan dan dirasakan manfaatnya. Demikian pula halnya dengan perencanaan struktur bangunan, komputer diperlukan untuk perhitungan-perhitungan yang berulang, persoalan yang banyak memerlukan banyak hitungan, dan hitungan yang beriterasi. Dengan menggunakan komputer, maka proses hitungan akan menjadi lebih cepat, efektif dan teliti. Perhitungan secara manual akan sangat memakan waktu dan tingkat ketelitiannya juga terbatas.

Didalam perhitungan suatu struktur bangunan banyak program komputer yang dapat dipakai, tetapi umumnya adalah produk luar negeri. Program-program tersebut banyak memiliki kelebihan, tetapi masih ada juga kekurangannya. Program-program SAP (*Structural Analysis Program*), Microfeap, Framex,

Reinforce, dan lain sebagainya adalah contoh program produk luar negeri. Untuk program produk dalam negeri jumlahnya masih terbatas, seperti Procon, dan program-program yang dibuat oleh mahasiswa yang sebagian besar adalah merupakan Tugas Akhir, serta kebanyakan program-program tersebut masih sederhana.

2.2. Microfeap II

Program ini digunakan untuk perhitungan analisis struktur. Software program Microfeap ini dikembangkan oleh K. N. Worsak, Asomporn dan U. Sarun dari *Asian Institute Technology*, Bangkok, Thailand.

Displacement joint, gaya batang, gaya geser, momen, reaksi perletakan, dan total volume bahan berdasarkan materialnya adalah merupakan hasil dari program Microfeap II ini. Selain itu juga disajikan grafik kurva elastik, diagram gaya aksial, diagram gaya geser, dan diagram momen lentur. Namun demikian, program ini hanya pada murni analisis struktur.

2.3. Framex

Sperti halnya Microfeap, program ini dibuat untuk analisis struktur, jadi tidak dapat digunakan untuk perencanaan struktur beton secara langsung. Perbedaannya dengan Microfeap adalah dalam program Framex tidak disediakan fasilitas bantu berupa keterangan-keterangan.

Hasil dari program Framex ini adalah *displacement joint*, gaya batang, gaya geser, momen, reaksi dukungan, dan total volume bahan berdasarkan

materialnya. Sebagaimana halnya dengan program Microfeap, Program ini juga terbatas hanya pada perhitungan analisis struktur.

2.4. Procon

Program Procon ini adalah merupakan karya dari seorang dosen dari Universitas Kristen Petra, Surabaya, yang merupakan gabungan program-program Tugas Akhir dari mahasiswa bimbingannya. Program Procon ini dipakai untuk perhitungan perencanaan struktur beton.

Modul program ini terdiri dari perhitungan balok, kolom dan plat. Cara penggunaannya dengan memasukkan posisi bentang balok, panjang, lebar, dan tinggi manfaat, jarak tulangan ke tepi, kuat desak beton dan kuat tarik baja. Untuk beban-beban berupa momen, gaya geser, gaya normal dan gaya torsi ditentukan pula beban yang bekerja. Hasil perhitungannya adalah berupa jumlah tulangan lentur dan tulangan geser disertai dimensi tulangan.

Program Procon ini terbatas hanya pada perhitungan struktur beton tanpa dilengkapi dengan analisis struktur sehingga data-data momen dan gaya yang bekerja harus dimasukkan tersendiri, dapat menjadi banyak sekali dan sangat memerlukan ketelitian dalam memasukkannya.

2.5. Program UNIITS

Program ini dapat dipakai untuk perhitungan analisis struktur dan perencanaan struktur beton sekaligus. Program UNIITS ini merupakan hasil karya

Data-data yang perlu dimasukkan sebagai langkah awal dari program ini adalah jumlah tingkat, jumlah bentang, panjang bangunan, jarak portal, jumlah join, jumlah elemen, wilayah gempa, faktor jenis struktur, faktor keutamaan, faktor reduksi beban hidup, kuat desak beton dan kuat tarik baja. Disamping itu, untuk perhitungan analisis strukturnya perlu juga dimasukkan data-data estimasi dimensi beton dan panjang tiap-tiap elemen dari struktur portal. Hasil dari program ini adalah perhitungan momen dan gaya geser dari masing-masing kombinasi pembebanan diantara beban hidup, beban mati ataupun kombinasi diantara ketiganya, jumlah tulangan lentur dan dimensi tulangan untuk tiap-tiap elemen struktur.

Namun demikian, program ini terbatas hanya mampu untuk perhitungan analisis struktur portal bertingkat dengan 2 bentang balok dan 5 tingkat lantai, serta belum dilengkapi dengan perhitungan analisis struktur dengan Metoda Desain Kapasitas.

2.6. Program-Program Lain

Program-program yang dihasilkan untuk membantu para perencana pada bidang teknik sipil sudah banyak, tetapi program-program tersebut masih belum terpadu, sederhana, masukkan datanya banyak sekali dan belum tersusun dengan baik. Buku-buku umum atau Tugas Akhir banyak yang telah disusun untuk membantu perencanaan struktur bangunan, contohnya adalah buku bahasa Fortran dan Basic karangan Jogiyanto, dapat dipakai pula.

membantu perencanaan struktur bangunan, contohnya adalah buku bahasa Fortran dan Basic karangan Jogiyanto, dapat dipakai pula.

Program-program yang telah ada tersebut tidak seluruhnya dapat dipakai untuk perhitungan perencanaan beton secara langsung. Mengingat akan hal tersebut, kami mencoba untuk membuat suatu program yang terpadu antara perhitungan analisis struktur, redistribusi momen hasil analisis struktur dan perencanaan struktur beton pada suatu portal bangunan bertingkat tahan gempa dengan berdasarkan Metoda Desain Kapasitas dan SKSNI T-15-1991-03.

Didalam hal ini kami berusaha untuk menyempurnakan, menambah, dan melengkapi program UNIITS sehingga kemampuannya untuk perhitungan analisis struktur tidak hanya terbatas pada 2 bentang balok dan 5 tingkat lantai, tetapi mampu lebih dari itu. Dan juga melengkapi program UNIITS dengan perencanaan struktur beton portal bertingkat tahan gempa dengan Metoda Desain Kapasitas dan SKSNIN T-15-1991-03.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Struktur Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa

3.1.1. Pembagian Peta Wilayah Gempa di Indonesia

Secara geologis wilayah Indonesia terletak di antara empat sistem tektonik yang aktif, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, lempeng Philipina, dan lempeng Pasifik. Akibat gerakan pergeseran lempeng-lempeng tersebut, gempa dengan magnitudo 7 pada skala Richter atau lebih sering terjadi pada daerah-daerah tapal batas pertemuan lempeng-lempeng tersebut. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia termasuk daerah dengan tingkat resiko gempa yang cukup tinggi. Di samping itu, di Indonesia juga banyak terdapat gunung-gunung berapi aktif yang sering mengakibatkan terjadinya gempa karena adanya kegiatan vulkanik dari gunung-gunung tersebut.

Berdasarkan hasil studi yang dilakukan oleh para ahli dari Indonesia dan Selandia Baru, dibuatlah suatu peta wilayah gempa dan besarnya taraf pembebanan gempa yang dapat dipakai sebagai beban gempa rencana didalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa yang lebih ekonomis.

3.1.2. Faktor-Faktor Penentu Beban Gempa Rencana

3.1.2.1. Koefisien Gempa Dasar (C)

Koefisien gempa dasar C berfungsi untuk menjamin agar struktur mampu memikul beban gempa yang dapat menyebabkan kerusakan besar pada struktur.

Frekwensi terjadinya gerakan tanah pada tiap wilayah gempa, waktu getar alami struktur, dan kondisi tanah setempat mempengaruhi besarnya koefisien gempa dasar C ini. Nilai koefisien gempa dasar C di wilayah Indonesia diberikan dalam PPKGURDG 1987 gambar 2.3.

3.1.2.2. Faktor Keutamaan (I)

Pada perencanaan struktur di daerah rawan gempa, perlu diperhatikan tingkat kepentingan struktur terhadap bahaya gempa, yang berbeda-beda tergantung pada fungsi bangunannya. Semakin penting fungsi suatu bangunan, semakin besar perlindungan yang harus diberikan. Faktor keutamaan I dipakai untuk memperbesar beban gempa rencana agar struktur dapat memikul beban gempa dengan periode ulang yang panjang atau struktur mempunyai tingkat kerusakan yang lebih kecil. Faktor keutamaan struktur selengkapnya diberikan pada PPKGURDG 1987 pasal 2.4.3.

3.1.2.3. Faktor Jenis Struktur K

Faktor jenis struktur K dimaksudkan agar struktur mempunyai kekuatan lateral yang cukup untuk menjamin bahwa daktilitas yang dituntut tidak lebih besar dari daktilitas yang tersedia pada saat terjadi gempa kuat.

Faktor jenis struktur K ini tergantung pada jenis struktur dan bahan konstruksi yang dipakai. Struktur yang mempunyai daktilitas yang cukup dan mampu memencarkan energi gempa sejumlah besar elemen-elemennya, memerlukan nilai K rendah. Nilai K yang lebih tinggi diberikan agar struktur

mempunyai ketahanan yang cukup selama terjadi gempa kuat diperlukan pada struktur yang mempunyai mekanisme pemencaran energi yang sedikit. PPKGURDG 1987 pasal 2.4.4 menetapkan besarnya K_{maksimum} dan K_{minimum} untuk portal daktil.

3.1.2.4. Analisis Beban Ekuivalen Statik

Struktur bangunan yang dapat menahan beban gempa harus direncanakan untuk menahan suatu beban geser dasar V akibat gempa. Menurut PPKGURDG 1987, besarnya beban geser dasar adalah sebagai berikut :

$$V = C. I. K. W_t \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana, W_t adalah kombinasi beban mati seluruhnya dan beban hidup vertikal yang tereduksi.

3.1.2.5. Waktu Getar Alami Gedung

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, waktu getar alami T dapat ditentukan dengan rumus pendekatan pada pasal 2.4.5 PPKGURDG 1987. Untuk portal beton, rumus pendekatan T sebagai asumsi awal adalah :

$$T = 0,006 \times H^{3/4} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana, H adalah tinggi struktur gedung yang diukur dari tingkat penjepitan lateral pada dasar gedung sampai puncak struktur utama dalam meter.

Kemudian setelah direncanakan dengan pasti, waktu getar alami struktur gedung harus ditentukan dari rumus berikut ini :

$$T = 6,3 \sqrt{\left\{ \frac{\sum W_i \cdot d_i}{g \cdot \sum F_i \cdot d_i} \right\}} \quad \dots\dots(3.3)$$

dimana, W_i adalah beban vertikal pada tingkat ke-i, F_i adalah beban gempa horisontal pada tingkat ke-i, g adalah percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/det}^2$), dan d_i adalah simpangan horisontal pusat pada tingkat ke-i.

3.1.2.6. Distribusi Beban Geser Dasar Akibat Gempa

Jika perbandingan antara tinggi dan lebar sistem bangunan penahan gempa kurang dari 3, maka beban geser dasar akibat gempa V harus dibagikan sepanjang tinggi gedung menjadi beban-beban horisontal terpusat pada masing-masing tingkat. Adapun distribusi beban geser dasar menurut rumus sebagai berikut :

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot V \quad \dots\dots(3.4)$$

dimana, h_i adalah tinggi tingkat ke-i dari dasar perletakan lateral.

Namun jika perbandingan antara tinggi dan lebar sistem bangunan tersebut lebih dari 3, maka $0,1 V$ dianggap sebagai beban terpusat pada tingkat teratas dan $0,9 V$ sisanya harus dibagikan menurut Persamaan (3.4) di atas.

3.2. Struktur Beton dengan Konsep Desain Kapasitas

3.2.1. Prinsip-Prinsip Dasar Konsep Desain kapasitas

Pada saat terjadi gempa, suatu struktur bangunan mengalami getaran gempa dari lapisan tanah di bawah dasar bangunannya secara acak dalam

berbagai arah. Akibat getaran gempa ini, struktur memberikan respon percepatan yang sama besar dengan percepatan getaran gempa pada tanah di dasar bangunan tersebut. Namun umumnya suatu struktur bangunan mempunyai kekakuan lateral yang beraneka ragam dan dengan demikian mempunyai waktu getar alami, T yang berbeda-beda. Oleh karena itu, respon percepatan maksimum struktur tidak selalu sama besarnya dengan percepatan gempa.

Mengingat kemungkinan besarnya gaya inersia gempa yang bekerja di titik pusat massa bangunan, bahwa tidaklah ekonomis untuk merencanakan suatu struktur bangunan yang demikian kuatnya sehingga tetap berperilaku elastis saat dilanda gempa kuat.

Bila suatu struktur bangunan direncanakan tahan terhadap gempa, tidaklah berarti struktur tidak rusak sama sekali bila dilanda gempa. Kerusakan pada struktur boleh terjadi, tetapi pada daerah tertentu dan pada batas-batas tertentu yang tidak membahayakan penghuninya.

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terbentuknya sendi-sendi plastis yang mampu memencarkan energi gempa dan membatasi besarnya beban gempa yang masuk ke dalam struktur harus dikendalikan sedemikian rupa sehingga berperilaku memuaskan dan tidak sampai runtuh pada saat dilanda gempa kuat. Pengendalian terbentuknya sendi-sendi plastis pada lokasi-lokasi yang telah ditentukan terlebih dahulu dapat dilakukan, terlepas dari kekuatan dan karakteristik gempa. Filosofi perencanaan seperti ini dikenal sebagai Konsep Desain Kapasitas.

Guna menjamin terjadinya mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok, Konsep Desain Kapasitas diterapkan untuk merencanakan agar kolom lebih kuat dari balok (*strong column and weak beam*). Keruntuhan geser pada balok yang bersifat getas juga diusahakan agar tidak terjadi lebih dahulu dari kegagalan-kegagalan akibat beban lentur pada sendi-sendi plastis balok setelah mengalami rotasi-rotasi plastis yang cukup besar. Untuk konsep *strong column and weak beam*, hanya pada ujung bawah kolom dasarlah yang didesain secara inelastis, sedangkan kolom-kolom pada tingkat di atasnya dikehendaki tetap masih dalam kondisi elastis pada gempa menengah sampai gempa besar. Untuk mencapai tujuan tersebut perlu adanya beberapa faktor atau koefisien yang perlu diperhitungkan.

3.2.2. Karakteristik Desain Kapasitas

Secara lebih terperinci dan bersifat teknis operasional, desain kapasitas pada struktur bangunan tahan gempa mempunyai beberapa karakteristik, antara lain berikut di bawah ini :

- 1). Pada desain kapasitas, tempat-tempat yang potensial terjadinya sendi-sendi plastis telah direncanakan. Hal ini dapat dilakukan dengan baik apabila kuat lentur nominal (M_i) yang sebenarnya dapat diketahui secara tepat. Kuat lentur nominal (M_i) ini merupakan *supply* dan diberikan atas kuat perlu (M_u) yang diminta (*required strength*).

- 2). Pada tempat-tempat sendi-sendi plastis yang direncanakan tersebut didetail secara baik, teliti dan cukup agar daktilitas yang diinginkan pada daerah ini dapat dicapai dengan baik. Detail yang baik yang dimaksudkan dalam hal ini adalah pemasangan tulangan geser sedemikian rupa sehingga mampu menghindari terjadinya rusak geser dan mampu menimbulkan pengekangan pada beton di tempat-tempat sendi-sendi plastis tersebut.
- 3). Pada tempat-tempat lain selain di daerah sendi plastis tersebut, didesain sedemikian rupa sehingga masih dalam kondisi elastis pada saat gempa besar. Desain yang dimaksudkan untuk melindungi terjadinya rusak geser, instabilitas maupun rusak karena *bond*.
- 4). Pada daerah-daerah yang diketahui cukup getas (tidak daktil) harus didesain sedemikian rupa sehingga *provided strength* lebih besar daripada *required strength*. Daerah-daerah ini dikehendaki masih dalam kondisi elastis akibat beban siklik akibat gempa besar.

3.3. Analisis Struktur

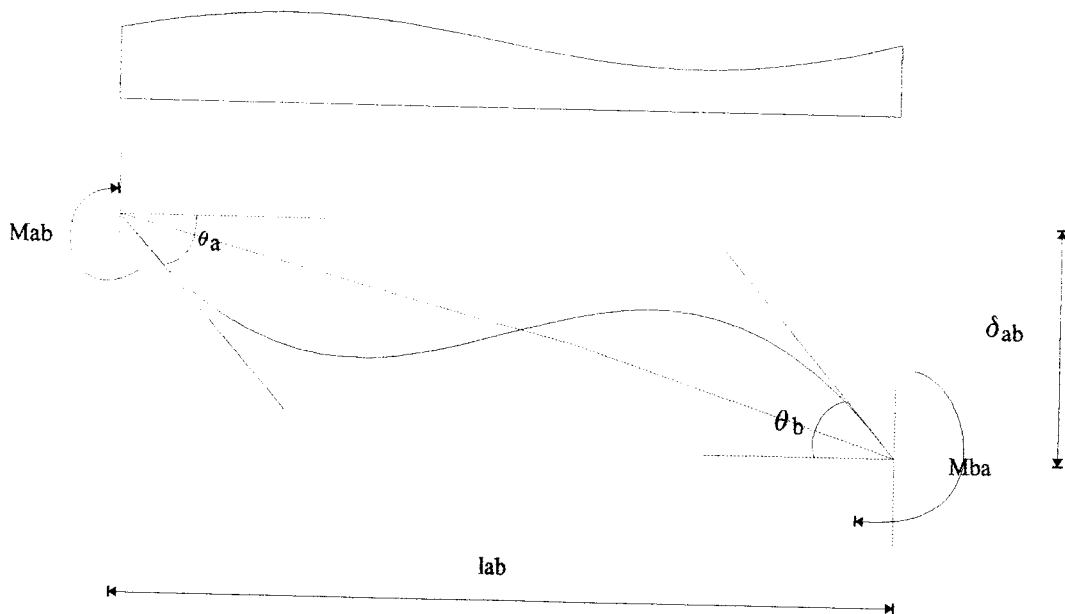
Pada analisis struktur portal, dikenal suatu metoda yang cukup populer yaitu Metoda Takabeya. Metoda ini lebih sederhana dibandingkan Metoda Cross atau Kani. Didalam metoda Takabeya pada tiap-tiap titik buhul hanya memerlukan satu momen parsial untuk pembesaran momen.

Metoda yang dipakai dalam Tugas Akhir ini adalah Metoda Takabeya. Dalam analisis struktur portal Metoda Takabeya, perhitungannya didasarkan pada anggapan-anggapan bahwa :

- 1). deformasi yang diakibatkan oleh gaya desak atau tarik dan gaya geser diabaikan,
- 2). hubungan antara balok dan kolom (join) adalah kaku sempurna.

Momen lentur dari ujung-ujung batang dinyatakan sebagai fungsi dari sudut rotasi dan pergeseran sudut relatif, dari ujung batang yang satu terhadap ujung batang yang lain.

Gambar di bawah ini menjelaskan akibat beban merata, dimana ujung b bergeser sejauh δ_{ab} relatif terhadap titik a. Besarnya M_{ab} dan M_{ba} dapat dinyatakan sebagai fungsi dari perputaran dan pergeseran sudut.



Gambar 3.1. Pengaruh Beban Pada Bentang

Sehingga didapat momen akhir (*design moment*) sebagai berikut :

$$M_{ab} = \Delta m_{ab} + M_{ab} \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

$$M_{ba} = \Delta m_{ba} + M_{ba} \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

dimana, M_{ab} dan M_{ba} adalah momen akhir, Δm_{ab} , Δm_{ba} adalah besarnya momen koreksi akibat adanya pergeseran titik b sejauh δ_{ab} , serta M_{ab} , M_{ba} adalah momen primer dari keadaan kedua ujung terjepit.

Adapun besarnya momen koreksi adalah :

$$\Delta m_{ab} = k_{ab} (2m_a + m_b) + m_{ab} \quad \dots\dots(3.7)$$

$$\Delta m_{ba} = k_{ba} (2m_b + m_a) + m_{ba} \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

dimana, k_{ab} adalah kekakuan relatif batang ab, m_a adalah momen distribusi titik a akibat perputaran sudut θ_a , m_b adalah momen distribusi titik b akibat perputaran sudut θ_b , dan m_{ab} adalah momen distribusi penggoyangan akibat pergeseran titik b relatif terhadap titik a sejauh δ_{ab} .

Persamaan dasar tersebut di atas (Persamaan (3.5) sampai dengan (3.8)) adalah persamaan dasar yang akan dipakai untuk menurunkan rumus-rumus pada Metoda Takabeya, yang langkah-langkah perhitungannya dapat dilihat lebih terperinci pada Bab 4.3.1.

3.4. Redistribusi Momen

Kombinasi beban gempa dan beban gravitasi seringkali menghasilkan bentuk momen rangka yang tidak efisien untuk mendesain balok dan kolom. Kombinasi beban gravitasi terfaktor dan beban lateral gaya gempa, kemudian digunakan untuk menentukan kekuatan dari struktur tersebut.

Dari hasil superposisi momen akibat beban gempa dan beban gravitasi akan diperoleh momen tumpuan (biasanya negatif) yang bertambah besar dan momen lapangan (biasanya positif) yang relatif jauh lebih kecil. Disamping itu, dapat pula terjadi perbedaan momen pada muka tumpuan balok di samping kanan dan kiri kolom interior.

Tidak berimbangnya momen lentur di daerah tumpuan dan lapangan seringkali menyebabkan tinggi balok tidak dimanfaatkan secara optimal untuk memperoleh kuat lentur yang diperlukan. Momen tumpuan yang terlalu besar dan adanya perbedaan momen tumpuan balok di samping kanan dan kiri kolom interior dapat mengakibatkan diperlukannya tulangan lentur secara berlebihan dari yang benar-benar dibutuhkan. Hal ini mengingat bahwa sebenarnya balok mampu meredistribusi momen melalui aksi-aksi inelastis. Tulangan lentur balok yang berlebihan membawa konsekwensi pada pembesaran momen rencana kolom dan pondasi.

3.4.1. Tujuan Redistribusi Momen

Di dalam perencanaan balok dari portal bertulang yang efisien, masalah-masalah yang timbul karena perbedaan momen tumpuan dan momen lapangan yang terlalu besar, dapat dipakai teknik redistribusi momen dengan tujuan sebagai berikut ini :

- 1). Mengurangi momen maksimum nyata, biasanya pada daerah momen negatif dari balok dan menggantikannya dengan menambah momen-momen pada daerah-daerah momen nonkritis (biasanya pada daerah momen positif dari

balok). Hal ini memungkinkan distribusi yang lebih baik dari pemanfaatan kekuatan sepanjang bentang balok.

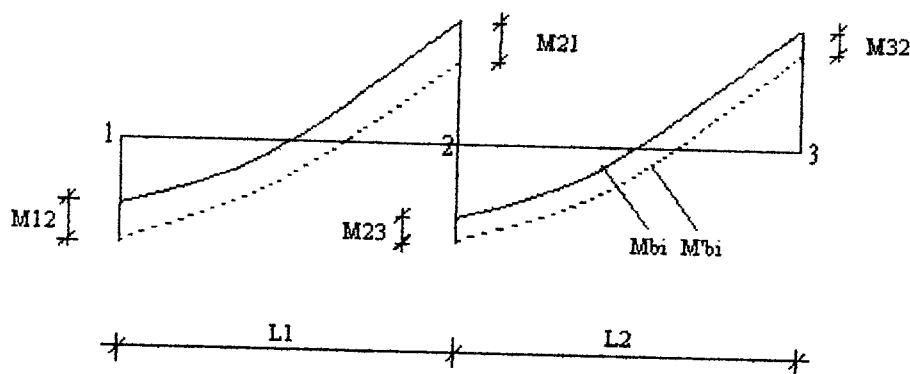
- 2). Menyamakan persyaratan-persyaratan momen kritis untuk bagian-bagian balok pada sisi yang berlawanan dari kolom-kolom interior dari gaya-gaya gempa yang dipakai yang arahnya berbalikan.
- 3). Memanfaatkan sepenuhnya kapasitas momen positif potensial dari bagian-bagian balok pada muka-muka kolom, paling sedikit 50 % dari kapasitas momen negatif pada bagian yang sama. Maksud dari ketentuan ini adalah bahwa untuk menjamin keberadaan penguatan momen lentur, lengkungan daktilitas yang diperlukan dapat dengan mudah terjadi dibawah momen-momen negatif yang besar.
- 4). Mengurangi besarnya momen-momen yang masuk pada kolom-kolom kritis, terutama sekali karena desak aksial atau oleh tegangan aksial.

3.4.2. Syarat Keseimbangan dan Batas Redistribusi Momen

Syarat yang perlu diperhatikan dalam proses redistribusi momen adalah bahwa keseimbangan gaya-gaya gempa dan beban-beban gravitasi harus dipertahankan. Selama proses redistribusi momen, suatu penambahan atau pengurangan momen sebesar ΔM harus disertai pula dengan penggantian penambahan atau pengurangan momen lain dengan jumlah yang sama (ΔM) pada lajur balok yang sama. Jadi, bahwa besarnya beberapa atau seluruh momen-momen ujung balok tersebut tidak berubah. Sebagai rujukan syarat keseimbangan redistribusi momen pada suatu join adalah bahwa :

$$\Sigma M^*b_i = \Sigma Mb_i \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

dimana, ΣM^*b_i adalah jumlah total momen balok setelah redistribusi pada tingkat ke-i, dan ΣMb_i adalah jumlah total momen balok sebelum redistribusi pada tingkat ke-i.



Gambar 3.2. Keseimbangan Momen Pada Sebuah Subrangka.

Dari gambar di atas dapat dijelaskan karakteristik untuk keseimbangan redistribusi momen balok-balok menerus. Sebagai contoh, ketika momen balok M_{21} dikurangi dengan ΔM_2 , momen ujung balok pada M_{23} harus ditambah dengan *Interior* jumlah yang sesuai (ΔM_2). Pada momen balok M_{12} ditambah dengan ΔM_1 , maka pada momen balok M_{32} harus dikurangi dengan jumlah yang sesuai pula (ΔM_1). *Exterior* Dengan demikian maka jumlah total momen ujung balok pada bentang yang dimaksudkan akan tetap seimbang sebelum dan setelah redistribusi momen.

Di samping itu, di dalam redistribusi momen perlu diperhatikan pembatasan besarnya momen redistribusi, yaitu bahwa di dalam bentangan suatu

struktur, ΔM tidak melebihi 30 % dari momen maksimum nyata yang diperoleh dari analisis struktur untuk kombinasi gaya-gaya gempa dan beban-beban gravitasi terfaktor.

3.4.3. Definisi dan Hubungan Kerja

Pada beberapa Peraturan Bangunan Tahan Gempa terdapat beberapa istilah yang berhubungan dengan kekuatan elemen struktur beton. Kekuatan elemen struktur adalah kemampuan elemen untuk menahan gaya luar, baik momen lentur, gaya geser maupun gaya normal. Adapun jenis-jenis kekuatan tersebut adalah :

1). Kuat Perlu (*Required Strength*) S_u .

Kuat perlu sering disingkat S_u , yaitu kekuatan elemen struktur beton yang diperlukan akibat adanya beban luar tertentu. Tujuan utama penetapan kuat perlu ini adalah untuk menentukan kebutuhan kekuatan elemen beton yang diperlukan.

2). Kuat Nominal / Kuat Ideal (*Nominal / Ideal Strength*) S_i

Kuat Nominal atau kuat ideal suatu tampang elemen struktur beton yang umumnya disingkat S_i , yaitu suatu nilai yang berfungsi sebagai *supply* kekuatan. Kuat nominal S_i dihitung berdasarkan beberapa parameter, yaitu dimensi tampang, luas baja tulangan, kuat desak beton dan kuat tarik baja. Pada kenyataannya kuat nominal suatu tampang beton dipengaruhi oleh kualitas pelaksanaannya. Karena adanya pengaruh kualitas pelaksanaan

tersebut, maka diperlukan faktor reduksi kekuatan (*strength reduction factor*)

ϕ . Hubungan antara kuat perlu dengan kuat nominal adalah :

$$\phi \cdot S_i \geq S_u \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

3). Kuat Lebih (*Overstrength*) S_o

Kuat lebih S_o , yaitu kekuatan elemen struktur beton dengan memperhatikan kemungkinan kelebihan kekuatan terhadap kuat nominal S_i . Kelebihan kekuatan yang terjadi dimungkinkan karena kuat tarik baja lebih besar daripada kuat tarik rencana, pengaruh adanya *strain hardening*, kelebihan kuat desak beton karena pengaruh umur, dan kelebihan kuat desak beton karena pengaruh pengekanan sengkang yang baik. Semua kemungkinan kelebihan kekuatan tersebut berakumulasi dan terbentuklah faktor kuat lebih (*overstrength factor*) λ_o .

$$S_o = \lambda_o \cdot S_i \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

Dari definisi-definisi dan pengertian-pengertian tersebut di atas, antara kuat nominal S_i dan kuat lebih S_o terbentuk suatu hubungan sebagai berikut :

$$S_i \geq S_u / \phi \quad \dots\dots(3.12)$$

$$S_o \geq \lambda_o \cdot S_i \quad \dots\dots(3.13)$$

Menurut Paulay dan Priestley (1992), apabila faktor reduksi kekuatan untuk momen lentur $\phi = 0,9$ dan faktor kuat lebih $\lambda_o = 1,25$ maka akan diperoleh nilai $S_o = 1,39 S_u$.

Apabila kuat lebih momen lentur didefinisikan sebagai M_o dan momen gempa didefinisikan sebagai M_e , maka :

$$\phi_o = \frac{M_o}{M_e} \quad \dots(3.14)$$

$$\phi_o = \frac{M_o}{M_e} = \frac{\lambda_o \cdot M_i}{M_e} = \frac{\lambda_o}{M_e} \cdot \frac{M_e}{\phi} \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

Apabila nilai faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,9$ dan faktor kuat lebih $\lambda_o = 1,25$ maka nilai momen lentur $M_o = 1,39 M_e$.

3.5. Perencanaan Beton

Beton sebagai suatu struktur umumnya dibentuk dari campuran semen, air agregat halus (pasir) dan agregat kasar (batu belah atau kerikil) dengan perbandingan tertentu. Beton kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik (kuat tarik beton dianggap tidak ada), maka struktur beton memerlukan tulangan sebagai penahan gaya tarik yang bekerja pada struktur beton tersebut.

Dalam perencanaan struktur beton tahan gempa dikenal ada tiga (3) macam daktilitas yang sering dipakai dalam desainnya. Jadi didalam struktur beton bertulang dapat direncanakan dengan tingkat daktilitas 1, 2 dan 3.

Struktur dengan tingkat daktilitas-1 ($\mu = 1,0$) harus direncanakan agar tetap berperilaku elastis saat terjadi gempa kuat. Untuk ini beban rencana harus dihitung berdasarkan faktor jenis struktur $K = 4,0$.

Struktur dengan tingkat daktilitas-2 atau daktilitas terbatas ($\mu = 2,0$) harus direncanakan sedemikian rupa dengan pendetailan khusus sehingga mampu berperilaku inelastis terhadap beban siklik gempa tanpa mengalami keruntuhan getas. Faktor jenis struktur K_{minimum} adalah sebesar 2,0.

Struktur dengan tingkat daktilitas-3 atau daktilitas penuh ($\mu = 4,0$) harus direncanakan terhadap beban siklik gempa kuat sedemikian rupa dengan pendetailan khusus sehingga mampu menjamin terbentuknya sendi-sendi plastis dengan kapasitas pemencaran energi yang diperlukan. Faktor jenis struktur K_{minimum} sebesar 1,0. Perencanaan struktur dengan tingkat daktilitas-3 ini harus disertai dengan konsep perencanaan desain kapasitas.

Dalam perencanaan struktur beton dikenal ada 2 metoda, yaitu metoda tegangan kerja (metoda elastis) dan metoda kuat batas (metoda ultimit). Untuk Tugas Akhir ini, metoda perencanaan beton yang dipakai adalah metoda kuat batas, dengan batasan hanya ditinjau akibat lentur. Pada metoda kuat batas digunakan beban terfaktor dan kekuatan penampang yang dihitung diambang keruntuhan, sedang tegangan beton desak kira-kira sebanding dengan regangannya (hanya sampai pada tingkat pembebanan tertentu). Anggapan-anggapan yang digunakan untuk perhitungan kekuatan lentur nominal adalah :

- 1). Kekuatan unsur-unsurnya harus memenuhi syarat-syarat keseimbangan dan kompatibilitas (keserasian) tegangan,
- 2). Regangan di dalam baja tulangan dan beton dianggap berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral,

- 3). Regangan maksimum yang dapat dipakai ϵ_{cu} pada serat desak ekstrim beton diambil sebesar 0,003,
- 4). Kuat tarik beton diabaikan,
- 5). Modulus elastisitas baja tulangan dapat diambil sebesar 200000 MPa,
- 7). Antara beton dan tulangan baja terjadi lekatan sempurna dan tidak ada slip,
- 8). Untuk alasan praktis, maka distribusi tegangan desak beton diambil sebagai distribusi tegangan persegi ekuivalen.

3.5.1. Perencanaan Balok

Didalam analisis struktur secara statik, besaran-besaran yang diperoleh pada umumnya adalah momen lentur, gaya aksial dan gaya lintang. Besaran-besaran ini diperoleh karena adanya beban yang bekerja pada struktur, baik bersifat beban gravitasi maupun beban sementara.

Pada umumnya nilai maksimum gaya-gaya tersebut diperoleh pada suatu kombinasi pembebanan tertentu. Pada bangunan tinggi bertingkat banyak dengan bentang balok yang tidak terlalu panjang, umumnya beban gempa menjadi lebih dominan dibandingkan dengan beban gravitasi. Dengan demikian, kombinasi antara beban gravitasi dan beban gempa menjadi menentukan.

Kekuatan elemen setiap struktur harus diperhitungkan dengan menggunakan kriteria kekuatan yang terjadi harus lebih besar atau sama dengan kekuatan yang dibutuhkan. Kekuatan yang dibutuhkan (kuat perlu) merupakan beban rencana, yang mana beban rencana (beban terfaktor) ini didapat dari

estimasi beban kerja dikalikan dengan faktor beban. Adapun kombinasi pembebanan tersebut adalah sebagai berikut :

a. Menurut SKSNI T-15-1991-03 yaitu :

$$U = 1,2 D + 1,6 L \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

$$U = 1,05 (D + 0,6 L + E) \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

$$U = 0,90 D + E \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

dimana, U adalah kuat perlu, D adalah beban mati, L adalah beban hidup dan E adalah beban gempa.

b. Menurut NZS 4203 : 1984 (New Zealand) yaitu :

$$U = M_u = 1,4 D + 1,7 L \quad \dots\dots\dots(3.19)$$

$$= 1,0 D + 1,3 L + 1,0 E \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

$$U = P_u = P_D + 1,2 P_L + P_E \quad \dots\dots\dots(3.21)$$

$$= 0,9 P_D + P_E \quad \dots\dots\dots(3.22)$$

dimana, M_u adalah kuat perlu (momen rencana), P_u adalah kuat perlu untuk beban aksial, D dan P_D adalah beban mati, L dan P_L adalah beban hidup, serta E dan P_E adalah beban gempa.

3.5.1.1. Perencanaan Balok Portal Terhadap Beban Lentur

Untuk Tugas Akhir ini kuat lentur perlu yang dinyatakan dengan M_u ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan menurut NZS 4203 : 1984 (New Zealand) seperti pada Persamaan (3.20) di atas.

Dalam perencanaan kapasitas balok portal, momen tumpuan negatif akibat kombinasi pembebanan harus didistribusikan dengan mengurangi sejumlah momen dengan prosentase yang tidak melebihi 30 % dari momen maksimum yang ada. Momen lapangan dan momen tumpuan yang diperoleh dari hasil redistribusi selanjutnya dipakai sebagai momen rencana untuk menghitung penulangan lentur balok yang diperlukan.

Untuk portal dengan tingkat daktilitas penuh perlu juga dihitung momen kapasitas lentur sendi plastis. Sendi-sendi plastis sesuai dengan filosofi desain kapasitas, aksi-aksi maksimum yang mungkin dibebankan pada balok selama perubahan bentuk portal yang sangat besar harus ditaksir. Didalam pemeriksaan kuat lebih lentur dari bagian-bagian kritis balok harus diingat bahwa :

- 1). Seluruh penguatan balok yang tersedia, termasuk luas baja tarik pada flens adalah termasuk didalam luas total baja tarik efektif.
- 2). Peningkatkan kekuatan dari bajanya, diijinkan untuk kuat luluh yang melebihi desain nilai-nilai nominal f_y dan *strain hardening* pada daktilitas maksimum, mempertimbangkan penggunaan besar kuat luluh $\lambda_o \cdot f_y$.

Faktor kuat lebih lentur (ϕ_o) seperti yang telah diuraikan sebelumnya merupakan suatu nilai yang diperoleh dari besarnya momen balok pada muka kolom dibagi dengan besarnya momen gempa pada tempat yang sama.

$$\phi_o = \frac{M_o}{M_c} \quad \dots(3.23)$$

Maka berdasarkan faktor kuat lebih tersebut dapat ditentukan besarnya nilai momen rencana balok, yaitu :

$$M_n = \phi_o \cdot M_u \quad \dots(3.24)$$

dimana, M_n adalah momen nominal lentur aktual balok, M_u adalah momen perlu lentur balok, dan ϕ_o adalah faktor kuat lebih lentur untuk balok.

3.5.1.1.1. Balok Bertulangan Sebelah

a). Analisa Tampang

Kuat nominal diasumsikan tercapai apabila regangan di dalam serat desak beton ekstrim sama dengan regangan runtuh beton ε_{cu} , diambil sebesar 0,003.

Berdasarkan jenis keruntuhan balok dapat dikelompokkan pada :

- 1). Penampang *balance*, dimana tulangan tarik mulai luluh tepat pada saat beban beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan.
- 2). Penampang *over-reinforced*, dimana keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton desak.
- 3). Penampang *under-reinforced*, dimana keruntuhan ditandai dengan terjadinya luluh pada tulangan bajanya.

Pada perhitungan kuat lentur nominal (M_n), didasarkan pada distribusi tegangan yang mendekati bentuk parabola. Dengan menggunakan distribusi tegangan persegi ekuivalen, sebagai hasil analisa Whitney, kuat lentur nominal dapat diperoleh sebagai berikut :

$$C = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

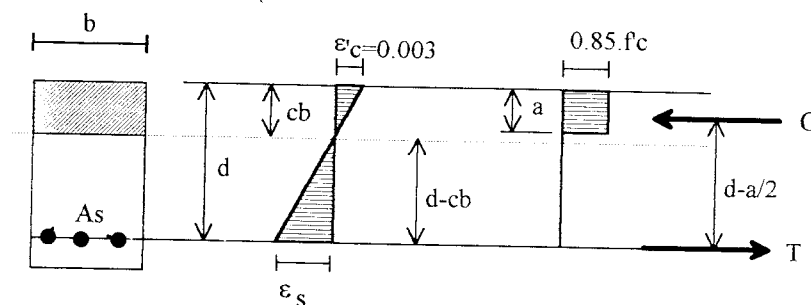
$$T = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(3.26)$$

Berdasarkan keseimbangan $C = T$ didapatkan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \quad \dots\dots\dots(3.27)$$

Sehingga momen tahanan nominalnya adalah :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad \dots\dots\dots(2.28)$$



Gambar 3.3. Distribusi tegangan dan regangan balok bertulangan sebelah.

b). Kondisi Seimbang (*Balanced*)

Kondisi seimbang adalah keadaan dimana tampang pada kondisi saat regangan hancur beton dicapai bersama dengan regangan luluh baja tulangan.

Perencanaan balok dengan tulangan sebelah, pada perencanaan perbandingan rasio penulangan (ρ) tidak boleh lebih dari 0,75 rasio penulangan

Perencanaan balok dengan tulangan sebelah, pada perencanaan perbandingan rasio penulangan (ρ) tidak boleh lebih dari 0,75 rasio penulangan seimbang (ρ_b). Perbandingan rasio penulangan (ρ) ini juga tidak boleh lebih kecil dari rasio penulangan minimum (ρ_{min}). Dalam Tugas Akhir ini perbandingan rasio penulangan diambil $0,6 \rho_b$.

dengan :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{f_y + 600} \quad \dots\dots\dots(3.29)$$

dengan :

1). Jika $f'_c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$

2). Jika $f'_c > 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'_c - 30) \geq 0,65$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \quad \dots\dots\dots(3.30)$$

Keseimbangan gaya dalam $C = T$, maka didapat nilai a sesuai dengan Persamaan (3.27).

Dengan memisalkan :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad \dots\dots\dots(3.31)$$

maka, akan didapatkan :

$$\frac{M_n}{b \cdot d^2} = \rho \cdot f_y \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m) \quad \dots\dots\dots(3.32)$$

jika $R_n = \rho \cdot f_y \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot m)$, maka :

$$M_n = R_n \cdot b \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots(3.33)$$

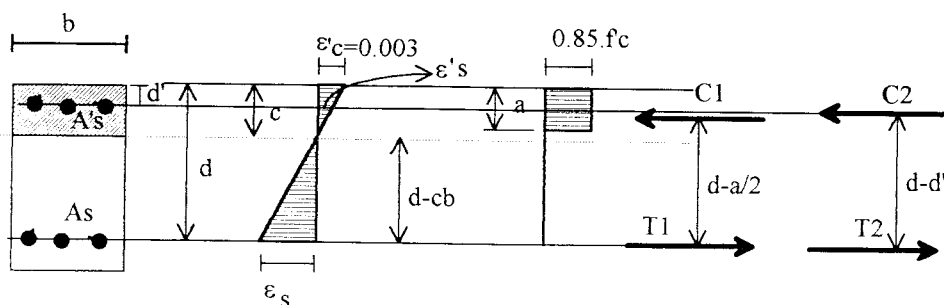
3.5.1.1.2. Balok Bertulangan Rangkap

a). Analisis Tampang

Balok disebut bertulangan rangkap apabila mempunyai tulangan tarik dan tulangan desak sekaligus. Pemakaian tulangan desak ini dikarenakan kuat nominal lentur (M_n) yang ada belum mencukupi untuk mendukung momen yang terjadi dan juga bermanfaat untuk pembebanan yang bolak balik.

Pada balok bertulangan rangkap, penampangnya secara teoritis dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

- 1). Bagian yang bertulangan tunggal, termasuk blok segi empat ekuivalen, dengan luas tulangan tarik adalah $A_s - A_{s2}$,
- 2). Bagian bertulangan ganda, dengan asumsi baja tulangan tarik dan desak ekuivalen luasnya sama.



Gambar 3.4. Balok dengan tulangan rangkap

b). Balok Bertulangan Rangkap Kondisi I

Balok bertulangan rangkap kondisi I adalah kasus dimana kedua penulangan, baik tarik maupun desak telah luluh atau paling tidak saat regangan beton mencapai 0,003.

Untuk kondisi I seperti terlihat pada Gambar 3.2, gaya tarik $T_1 = A_{s1} \cdot f_y$, dengan $A_{s1} = A_s - A_{s2}$. Dengan demikian maka tahanan nominalnya adalah :

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2) + A'_{s2} \cdot f_y \cdot (d - d') \quad \dots\dots(3.34)$$

dengan :

$$a = \frac{(A_s - A_{s2}) \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots\dots(3.35)$$

c). Balok Bertulangan Rangkap Kondisi II

Pada kondisi II dengan asumsi tulangan desak belum luluh, maka gaya tekan $C_2 = A'_{s2} \cdot f'_s$, dengan $A'_{s2} = (A_{s2} \cdot f_y) / f'_s$, sehingga momen nominal adalah :

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2) + A'_{s2} \cdot f'_s \cdot (d - d') \quad \dots\dots(3.36)$$

Hal ini hanya benar jika A'_{s2} belum luluh. Dicari tegangan aktual f'_s pada tulangan desak A'_{s2} dengan menggunakan gaya aktual untuk keseimbangan momennya. Untuk menjamin regangan yang terjadi memenuhi keserasian di seluruh tinggi balok, distribusi regangan di seluruh tinggi penampang balok harus diselidiki (mengikuti distribusi linear). Tulangan desak luluh jika :

penampang balok harus diselidiki (mengikuti distribusi linear). Tulangan desak luluh jika :

$$\rho - \rho' > \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot d'}{f_y \cdot d} \cdot \frac{600}{600 - f_y} \quad \dots\dots(3.37)$$

Karena A'_s luluh, regangan ϵ'_s pada tulangan harus lebih besar atau sama dengan regangan luluh f_y / ϵ_s dan $\epsilon'_s > f_y / \epsilon_s$,

dengan :

$$\epsilon'_s = \frac{0,003 (c-d)}{c} \quad \dots\dots(3.38)$$

Jika ϵ'_s lebih kecil dari ϵ_y , maka tegangan tulangan desak f'_s dapat dihitung dengan :

$$f'_s = \epsilon'_s \cdot 0,003 \cdot \left\{ 1 - \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot d'}{(\rho - \rho') \cdot f_y \cdot d} \right\} \quad \dots\dots(3.39)$$

Pada perencanaan ini, hilangnya luas beton karena adanya tulangan desak diabaikan, dengan alasan tidak terlalu mempengaruhi desain. Apabila tulangan desak belum luluh, tinggi blok tegangan desak ekivalen harus dihitung dengan menggunakan tegangan aktual tulangan desak yang diperoleh dari regangan ϵ'_s pada taraf tulangan desak.

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \quad \dots\dots(3.40)$$

Kekuatan momen tahanan nominal untuk tulangan desak belum luluh menjadi :

$$M_n = (A_s \cdot f_y) \cdot (d - a/2) + A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d') \quad \dots\dots(3.41)$$

3.5.2. Perencanaan Balok Portal Terhadap Beban Geser

Sesuai dengan konsep desain kapasitas, kuat geser balok portal yang dibebani oleh beban gravitasi di sepanjang bentangnya harus dihitung dalam kondisi terjadi sendi-sendi plastis pada ujung kolomnya, dengan tanda yang berlawanan (+/-) (Paulay dan Priestley, 1992)

Adapun persamaan gaya geser balok portalnya adalah sebagai berikut di bawah ini :

$$V_B = V_{gB} + \frac{M_{oB} + M'_{oA}}{L_{ab}} = V_{gB} + V_{Eo} \quad \dots\dots(3.42)$$

dan

$$V_A = V_{gA} + \frac{M_{oA} + M'_{oB}}{L_{ab}} = V_{gA} + V_{Eo} \quad \dots\dots(3.43)$$

dengan :

$$V_g = V_D + V_L \quad \dots\dots(3.44)$$

dimana, V_B dan V_A adalah gaya geser balok pada titik B dan A, V_{gB} dan V_{gA} adalah gaya geser balok pada titik B dan A karena beban gravitasi, M_o adalah

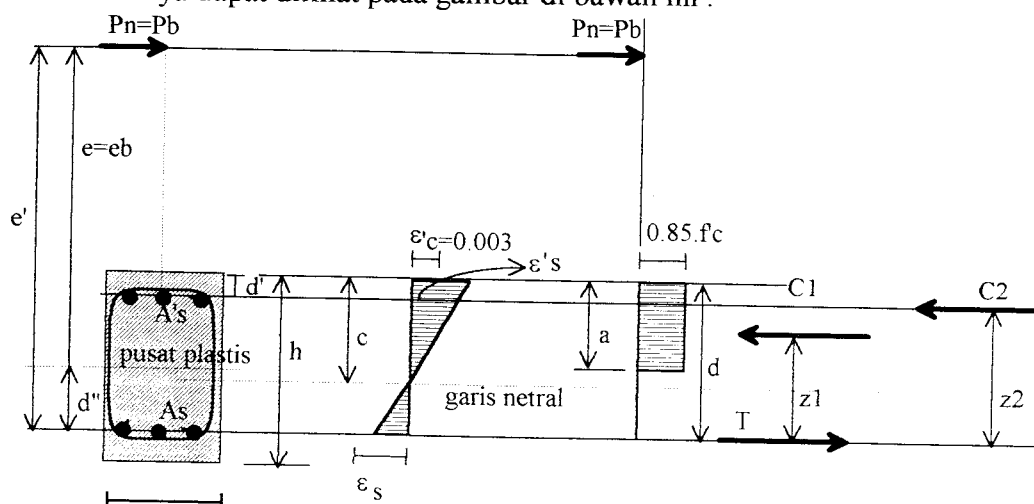
momen ujung kapasitas lentur pada sendi-sendi plastis, serta V_{E0} adalah gaya geser gempa yang terjadi selama respon daktil rangka.

3.5.2. Perencanaan Kolom

Kolom merupakan komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial desak. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada keruntuhan komponen desak, karena umumnya tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas. Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya luluh karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang terdesak. Untuk Tugas Akhir ini, kolom yang dirancang mempunyai batasan sebagai berikut :

1. tanpa pengaku lateral,
2. kolom persegi dengan bersengkang,
3. bertulangan pada dua sisi yang simetris.

Prinsip-prinsip mengenai distribusi tegangan dan blok tegangan segi empat ekuivalennya dapat dilihat pada gambar di bawah ini .



Gambar 3.5. Tegangan dan gaya-gaya pada kolom

Perbedaan dengan diagram pada balok adalah adanya gaya normal (P_n) yang bekerja secara aksial dan mempunyai eksentrisitas e dari pusat plastis atau pusat geometri tampang.

Jika eksentrisitas semakin kecil, maka akan ada suatu transisi dari keruntuhan tarik utama ke keruntuhan desak utama. Kondisi tersebut dikenal sebagai kondisi keruntuhan *balanced*. Dimana beban aksial nominal pada kondisi *balanced* P_{nb} dan eksentrisitasnya e_b ditentukan dari :

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(3.45)$$

Luas beton yang ditempati tulangan desak diabaikan (anggapan pers. Whitney)

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b \quad \dots\dots\dots(3.46)$$

$$M_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b \cdot (y - a/2) + A'_s \cdot f'_s \cdot (y - d') - A_s \cdot f_y \cdot (d - y) \quad \dots\dots\dots(3.47)$$

dengan :

$$f'_s = 600 \cdot \frac{c_b - d'}{c_b} < f_y \quad \dots\dots\dots(3.48)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot d \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad \dots\dots\dots(3.49)$$

Jika $e > e_b$ atau $P_n < P_{nb}$, maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik dengan f_y harus didistribusikan ke f'_s . Tegangan f'_s pada tulangan desak dapat lebih kecil atau sama dengan tegangan luluh baja, dan f'_s aktual dihitung dari :

$$f_s = 600 \cdot \frac{c_b - d'}{c_b} \quad \dots\dots(3.50)$$

dan gaya aksial nominal nya dapat dihitung dari :

$$P_n = 0,85 \cdot f_c \cdot d \cdot b \cdot \left\{ \frac{h - 2e}{2d} + SA \right\} \quad \dots\dots(3.51)$$

dengan :

$$SA = \sqrt{\left\{ \left(\frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2 \cdot m \cdot \rho_{\text{aktual}} \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right\}} \quad \dots\dots(3.52)$$

dengan :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} \quad ; \quad \rho = \rho' = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

dimana , e adalah jarak antara pusat plastis dengan titik tangkap gaya (eksentrisitas).

Jika $e < e_b$ atau kekuatan desak P_n melampaui kekuatan seimbang P_{nb} , maka terjadi keruntuhan desak yang diawali kehancuran beton. Kekuatan nominal P_n untuk $e < e_b$ dapat diperoleh dengan jalan meninjau variasi regangan yang sebenarnya, sehingga besaran yang tidak diketahui dan gaya aksial nominal dapat ditentukan dari :

$$P_n = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \quad \dots\dots(3.53)$$

atau dengan rumus pendekatan Whitney, yaitu :

$$P_u = \frac{A'_s \cdot f_y}{\frac{e}{(d-d')} + 0,5} + \frac{b \cdot h \cdot f'_c}{\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2} + 1,18} \quad \dots(3.54)$$

Momen nominal M_n :

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot (1/2 \cdot h - a/2) + A'_s \cdot f'_s \cdot (1/2 \cdot h - d') - A_s \cdot f_y \cdot (d - 1/2 \cdot h) \quad \dots(3.55)$$

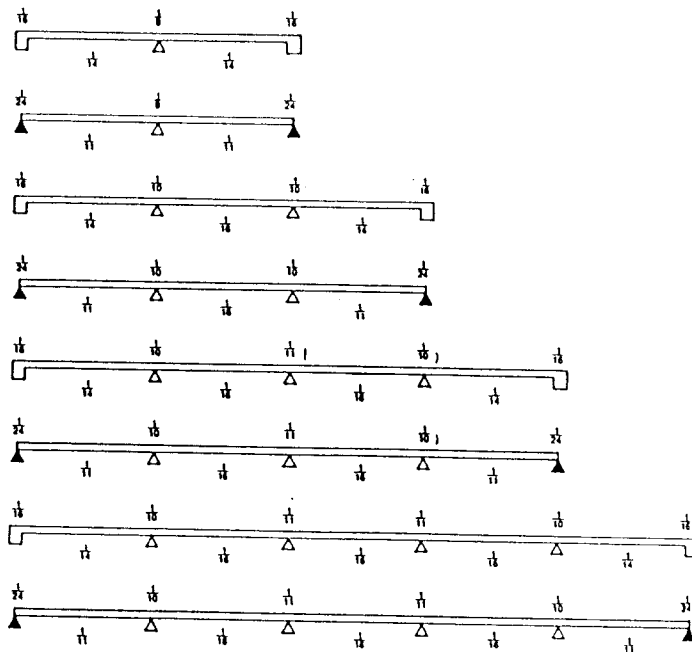
Perlu diingat bahwa besarnya P_{nb} , M_{nb} , dan e_b harus selalu dievaluasi dalam menyelidiki apakah persamaan yang dipakai (keruntuhan tarik atau keruntuhan desak) sudah benar digunakan dalam penyelesaiannya.

3.5.3. Perencanaan Plat

Plat merupakan elemen horisontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur. Apabila plat didukung pada keempat sisinya, maka plat tersebut disebut plat dua arah dimana lenturan akan timbul pada dua arah yang saling tegak lurus. Namun, apabila perbandingan sisi panjang terhadap sisi pendeknya yang saling tegak lurus lebih dari 2, maka plat dapat dianggap hanya bekerja sebagai plat satu arah dengan lenturan utama pada arah sisi yang lebih pendek.

Plat yang hanya direncanakan untuk menahan tegangan lentur dalam satu arah, SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.13 ayat 3 mengizinkan untuk menentukan distribusi gaya dengan menggunakan koefisien momen. Koefisien momen tersebut jika ditabelkan adalah seperti berikut dibawah ini.

Tabel 3.1. Koefisien Momen Plat



Momen rencana yang digunakan merupakan hasil kali koefisien momen dengan $W_u \cdot l_n^2$, dimana l_n adalah bentang bersih plat dan W_u adalah beban rencana plat terfaktor. Beban rencana merupakan beban kombinasi antara beban hidup dengan beban mati dengan faktor reduksi.

$$W_u = 1,2 W_D + 1,6 W_L \quad \dots(3.55)$$

dimana, W_D adalah beban mati dan W_L adalah beban hidup.

Untuk plat satu arah, SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.13 ayat 3 dengan tumpuan luar balok, perhitungan momen rencana jika diuraikan adalah sebagai berikut :

a. jika $B_k \geq 1$ dan $J_b = 2$, maka :(3.56)

$$M_{t1} = 1/24 \cdot W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{t2} = 1/9. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{l1} = 1/11. W_u \cdot l_n^2$$

b. jika $B_k = 1$ dan $J_b \geq 3$, maka :(3.57)

$$M_{t1} = 1/24. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{t2} = 1/10. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{l1} = 1/11. W_u \cdot l_n^2$$

c. jika $B_k = 2$ dan $J_b = 3$, maka :(3.58)

$$M_{t1} = 1/10. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{t2} = 1/10. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{l1} = 1/16. W_u \cdot l_n^2$$

d. jika $B_k = J_b$, maka :(3.59)

$$M_{t1} = 1/24. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{t2} = 1/10. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{l1} = 1/11. W_u \cdot l_n^2$$

e. jika $B_k \geq 1$ dan $J_b > 2$, maka :(3.60)

$$M_{t1} = 1/11. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{t2} = 1/11. W_u \cdot l_n^2$$

$$M_{l1} = 1/16. W_u \cdot l_n^2$$

dimana, (a) I_n untuk momen lapangan adalah bentang bersih diantara tumpuan dan (b) I_n untuk momen tumpuan adalah bentang bersih rata-rata pada sebelah kiri dan kanan tumpuan.

Tebal plat juga harus direncanakan jangan sampai lebih kecil dari tebal minimum sesuai dengan ketentuan SK SNI T-15-1991-03.

Tabel 3.2 Tebal Minimum Plat Satu Arah

KOMPONEN STRUKTUR	TEBAL MINIMUM, h			
	DUATUMPUAN	SATU WJUNG MENERUS	KEDUA WJUNG MENERUS	KANTILEVER
	KOMPONEN TIDAK MENYOKONG ATAU MENYATU DENGAN PARTISI ATAU KONSTRUKSI LAIN YANG AKAN RUSAK AKIBAT LENDUTAN BESAR			
Plat solid satu arah	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Balok atau plat lajur satu arah	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18,5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Perlu diingat bahwa tabel di atas digunakan jika $f_y = 400$ MPa. Tetapi jika $f_y \neq 400$ MPa, maka nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

Sedangkan untuk plat yang direncanakan sebagai plat dua arah, ada dua alternatif pendekatan untuk analisis dan perencanaannya, yaitu perencanaan langsung dan metoda rangka ekuivalen. Kedua metoda tersebut dalam proses perencanaannya yang pertama kali dikerjakan adalah menentukan momen statis total rencana pada kedua arah peninjauan yang saling tegak lurus.

Untuk perencanaan tulangan, lebar plat ditinjau terhadap 1 meter bentang, sehingga luas tulangan diperoleh sebagai berikut :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad \dots(3.61)$$

$$= \rho \cdot b \cdot l \quad \dots(3.62)$$

dimana, b adalah lebar plat yang ditinjau dan ρ adalah rasio penulangan plat.

Adapun syarat-syarat penulangan dapat dilihat pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.16.

Retakan pada komponen struktur dengan penulangan dapat mengakibatkan korosi pada baja tulangnya. Pembatasan retak dapat dicapai dengan membatasi tegangan baja tulangan, karena faktor terpenting adalah regangan dalam bajanya. Untuk mutu baja yang lebih kecil dari 300 MPa tidak perlu diperiksa terhadap retak. Adapun lebar retak dapat ditentukan dengan rumus seperti berikut :

$$z = 0,6 \cdot f_y \cdot \sqrt{d_c \cdot A} \quad \dots(3.63)$$

dimana, $A = 2 \cdot d_c \cdot s$, d_c adalah jarak antara titik berat tulangan utama sampai ke serat tarik terluar, dan s adalah jarak antara batang tulangan.

Plat tersebut dapat dikategorikan aman terhadap retak jika memenuhi syarat-syarat berikut :

- 1). Untuk plat dalam ruangan : $z \leq 30 \text{ MN/m}$
- 2). Untuk plat yang dipengaruhi cuaca : $z \leq 25 \text{ MN/m}$.

BAB IV

METODA ANALISIS DAN PROSES PEMROGRAMAN

4.1. Umum

Program komputer merupakan suatu sarana untuk membantu menyelesaikan perhitungan agar lebih cepat dan teliti. Di dalam program tersebut berisi langkah-langkah yang harus dilakukan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan, baik perhitungan matematika maupun pengolahan data.

Untuk mempermudah dalam penyusunan program, maka terlebih dahulu dibuat langkah-langkah penyelesaian secara urut, sistematis dan efisien. Langkah-langkah penyelesaian tersebut kemudian disusun dalam bentuk *flow chart* sehingga lebih memudahkan dalam penerjemahan ke dalam bahasa program. Bahasa program yang dipakai dalam Tugas Akhir ini adalah bahasa Quick Basic, dan *flow chart* program menu dapat dilihat pada lampiran.

4.2. Perhitungan Beban Gempa

4.2.1. Langkah-langkah Perhitungan Beban Gempa

1. Data yang diperlukan untuk perhitungan beban gempa adalah wilayah gempa, jenis tanah (lunak atau keras), tinggi bangunan (meter), jumlah tingkat, jarak antar portal (meter), faktor keutamaan bangunan I, dan faktor jenis struktur K.
2. Hitungan beban yang bekerja pada tiap tingkat (W_i) dengan kombinasi beban mati dan beban hidup terfaktor, kemudian beban tersebut dijumlahkan sebagai total beban seluruh struktur (W_{total}).



$$W_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n W_i \quad \dots(4.1)$$

dengan :

$$W_i = W_D + 0,5 W_L \quad \dots(4.2)$$

dimana, W_D adalah beban mati yang bekerja, W_L adalah beban hidup yang bekerja, 0,5 adalah nilai faktor reduksi beban hidup, dan n adalah jumlah tingkat.

3. Estimasi waktu getar alami gedung (T_{awal}), dengan faktor jenis struktur dari beton menurut PPKGURDG 1987, dimana sebagai pendekatan nilai T_{awal} adalah :

$$T_{\text{awal}} = 0,006 \cdot H^{3/4} \quad \dots(4.3)$$

dengan T dalam detik dan H adalah tinggi total bangunan dalam meter.

4. Dengan menggunakan data wilayah gempa dan T_{awal} , maka Menurut PPKGURDG 1987 gambar 2.3 nilai koefisien gempa dasar C dapat diperoleh dengan :

- a. Jika wilayah gempa 1 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,045$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,09$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 0,03 \times T + 0,105$

- b. Jika wilayah gempa 1 dan jenis tanah lunak, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,065$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,13$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 0,065 \times T + 0,165$

c. Jika wilayah gempa 2 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,035$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,07$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 2,3E-2 \times T + 8,167E-2$

d. Jika wilayah gempa 2 dan jenis tanah lunak, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,045$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,09$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 0,045 \times T + 0,135$

e. Jika wilayah gempa 3 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,025$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,05$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 1,67E-2 \times T + 5,833E-2$

f. Jika wilayah gempa 3 dan jenis tanah lunak, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,035$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,07$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 0,035 \times T + 0,105$

g. Jika wilayah gempa 4 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,035$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,07$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 0,03 \times T + 0,105$

h. Jika wilayah gempa 4 dan jenis tanah lunak, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,015$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,03$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 0,01 \times T + 0,035$

i. Jika wilayah gempa 5 dan jenis tanah keras, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,01$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,04$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 0,01 \times T + 0,5$

j. Jika wilayah gempa 5 dan jenis tanah lunak, maka :

1). Jika $T \geq 2$ maka $C = 0,01$

2). Jika $T < 0,5$ maka $C = 0,03$

3). Jika $0,5 \leq T < 2$ maka $C = - 0,01 \times T + 0,04$

k. Jika wilayah gempa 6, maka $C = 0$.

5. Gaya geser horisontal akibat beban gempa V didapatkan dari :

$$V = C. I. K. W_{total} \quad \dots(4.4)$$

dimana, I adalah faktor keutamaan bangunan, K faktor jenis struktur dan W_{total} adalah beban total seluruh struktur.

6. Beban horisontal akibat gempa adalah :

a. Untuk $H/B < 3$, dengan H adalah tinggi total bangunan dan B adalah lebar total bangunan, maka :

$$F_i = \frac{W_i.H_i}{\sum W_i.H_i} \times V \quad \dots(4.5)$$

dimana, F_i adalah beban horisontal terpusat pada tingkat ke- i , W_i adalah berat bangunan pada tingkat ke- i , H_i adalah tinggi tingkat ke- i , dan V adalah gaya geser horisontal akibat beban gempa.

- b. Untuk $H/B \geq 3$, maka $0,1V$ harus dianggap sebagai beban tambahan terpusat di lantai puncak dan $0,9V$ sisanya harus dibagikan menurut rumus di atas.
7. Waktu getar alami struktur T yang berpengaruh terhadap gaya horisontal akibat gempa perlu dikontrol dengan rumus T_{Rayleigh} . Urut-urutan kontrol tersebut adalah sebagai berikut :
- a. Untuk menentukan waktu getar alami gedung yang terjadi, terlebih dahulu menghitung kekakuan seluruh kolom pada tiap-tiap tingkat (K).

$$K_{ki} = \Sigma k_i \quad \dots(4.6)$$

dimana, k_i adalah kekakuan tiap kolom pada tingkat ke- i .

$$k_i = \frac{12 \cdot E_c \cdot I}{L^3} \quad \dots(4.7)$$

dengan :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

$$I = 1/12 \cdot b \cdot h^3$$

- b. Akibat beban geser, defleksi per tingkat dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta = \frac{V \text{ (gaya geser per tingkat)}}{K_{ki} \text{ (kekakuan tingkat)}} \quad \dots(4.8)$$

- c. Menentukan defleksi horisontal total ujung tingkat berdasarkan :

$$\delta_i = \Sigma \Delta \quad \dots(4.9)$$

d. Menentukan waktu getar alami yang terjadi pada gedung dengan rumus

T_{Rayleigh} :

$$T_{\text{Rayleigh}} = 2.\pi. \sqrt{\left\{ \frac{\Sigma(W_i.\delta_i^2)}{g.\Sigma(F_i.\delta_i)} \right\}} \quad \dots(4.10)$$

dimana, g adalah percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/det}^2$)

8. Jika $T_{\text{Rayleigh}} \neq T_{\text{awal}}$, maka ulangi perhitungan dari langkah ke-4 dengan T_{Rayleigh} sebagai T_{awal} .
9. Jika $T_{\text{Rayleigh}} = T_{\text{awal}}$ atau $T_{\text{awal}} \geq 80\% T_{\text{Rayleigh}}$, maka F_i yang didapat dipakai dalam perhitungan analisis struktur (Takabeya).

4.2.2. Flow Chart Perhitungan Gempa

Flow chart perhitungan gempa terdiri dari dua bagian. Bagian pertama merupakan *flow chart* perhitungan beban gempa, dan *flow chart* bagian kedua merupakan perhitungan wilayah gempa. *Flow chart* perhitungan gempa dapat dilihat pada halaman yang berikutnya.

4.3. Perhitungan Analisis Struktur (Metoda Takabeya)

4.3.1. Langkah-langkah Perhitungan Analisis Struktur

2. Data yang diperlukan untuk perhitungan analisis struktur adalah dimensi seluruh elemen portal dan beban-beban yang bekerja.
3. Menentukan angka kekakuan relatif masing-masing batang dengan rumus :

$$k_{(i,j)} = \frac{I}{L} = \frac{1/12.b.h^3}{L} \quad \dots(4.11)$$

3. Menentukan faktor distribusi masing-masing join terhadap join yang lainnya :

$$\alpha_{(i,j)} = \frac{k_i}{\rho_i} \quad \dots\dots(4.12)$$

dengan :

$$\rho_i = 2. (\Sigma k_i)$$

k_i adalah kekakuan dari titik i terhadap titik yang lain.

4. Menghitung momen-momen primer yang terjadi akibat beban terbagi rata pada balok.

$$M_i = 1/12. Q. L^2 \quad (+/kiri, -/kanan) \quad \dots\dots(4.13)$$

sehingga momen residu join i adalah :

$$\tau_i = \Sigma M_i \quad \dots\dots(4.14)$$

5. Menghitung momen distribusi pertama :

$$m_i^o = - \frac{\tau_i}{\rho_i} \quad \dots\dots(4.15)$$

6. Sesuai dengan batasan, portal yang digunakan merupakan portal simetris dan portal terbuka sehingga portal akan mengalami penggoyangan jika dibebani.

Nilai faktor penggoyangan ditentukan sebagai berikut :

$$t_{\text{kolom}} = \frac{3.K_k}{T_i} \quad \dots\dots(4.16)$$

dengan :

$$T_i = 2. (\Sigma K_k)$$

dimana, K_k adalah kekakuan kolom pada tingkat yang ditinjau.

7. Momen distribusi penggoyangan awal adalah :

$$m_i^o = \frac{h_i \cdot \{F_i\}}{T_i} \quad \dots(4.17)$$

8. Perhitungan momen distribusi putaran ke-n adalah :

$$m_i^n = m_i^o + \frac{\{-\tau\} \cdot \{m_i + m_i\}}{\{-\tau\} \cdot \{m_i\}} + \frac{\{-\tau\} \cdot \{m_i\}}{\{-\tau\} \cdot \{m_i + m_i\}} \quad \dots(4.18)$$

9. Perhitungan momen desainnya adalah :

$$M_{(i,j)} = k_{(i,j)} \cdot \{2 \cdot m_i + m_j + m_i\} + M_i \quad \dots(4.19)$$

10. Periksa momen akhir pada join i, dimana jumlah momen akhir suatu join harus sama dengan nol, jika tidak harus dikoreksi.

$$M_i = \Sigma M_{(i,j)} \quad \dots(4.20)$$

11. Perhitungan momen akhir setelah dikoreksi adalah sebagai berikut :

$$M_{(i,j)} = M_{(i,j)} - \frac{M_{(i,j)} \cdot k_{(i,j)}}{\Sigma k_i} \quad \dots(4.21)$$

12. Karena gaya-gaya yang dihasilkan akan digunakan untuk perhitungan struktur beton dengan menggunakan kombinasi pembebanan, maka perhitungan dengan metoda Takabeya ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing beban, yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa.

4.4. Redistribusi Momen

Hasil dari perhitungan Takabeya untuk masing-masing beban yang kemudian dikombinasikan, seringkali memberikan hasil superposisi momen yang relatif jauh berbeda antara momen tumpuan negatif dan positif. Redistribusi momen dimaksudkan untuk menyeimbangkan antara momen tumpuan negatif dan

posistif tersebut, sehingga di dalam perencanaan beton bertulang dari portal yang dimaksudkan menjadi lebih efisien.

4.4.1. Langkah-Langkah Redistribusi Momen dan Desain Kapasitas

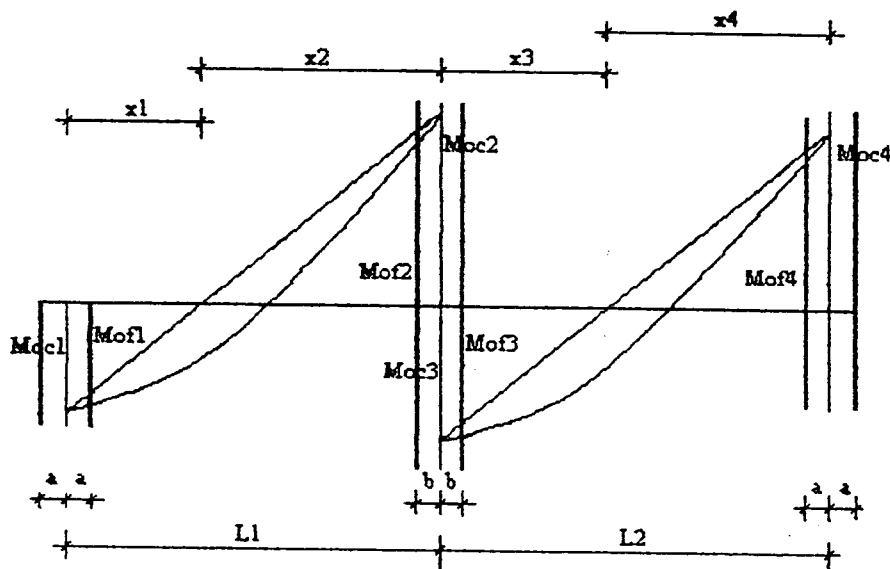
a. Capacity Design Method

1. Data yang diperlukan untuk meredistribusi momen adalah dimensi seluruh batang portal, momen-momen yang bekerja pada struktur portal, tinggi kolom dan panjang bentang balok. Redistribusi momen dilakukan terhadap momen maksimum dari analisis struktur akibat beban berfaktor, dealam Tugas Akhir ini dipakai nilai μ berdasarkan NZS 4203 : 1984 (New Zealand), yaitu :

$$M_u = 1,0 M_D + 1,3 M_L + 1,0 M_E \quad \dots(4.22)$$

dimana, M_D adalah momen akibat beban mati, M_L adalah momen akibat beban hidup, dan M_E adalah momen akibat beban gempa.

2. Redistribusi momen balok pada pada garis pusat kolom (M_{oc}), dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.1. Redistribusi momen balok pada bidang muka kolom

2.(a). Pada kolom interior

$$M_i = 0,70 \cdot M_{ex,i} \quad \dots\dots(4.23)$$

dengan nilai 0,70 diambil karena besarnya redistribusi maksimum yang diijinkan adalah 30 % dari $M_{ex,i}$.

maka,

$$M_i \text{ maks} = M_i + Z \% \cdot M_{ex,i} \quad \dots(4.24)$$

dengan nilai $z \leq 30$.

Sehingga didapatkan nilai redistribusi momen balok pada kolom interiornya adalah :

$$q_i = \frac{M_{ex,i} - M_i \text{ maks}}{M_{ex,i}} \quad \dots\dots(4.25)$$

maka, akan diperoleh besarnya momen setelah redistribusi sebagai berikut :

$$M_{oc2} = M_{i, ki} = M_{ex,i} - q_i \cdot M_{ex,i} \quad \dots\dots(4.26)$$

$$M_{oc3} = M_{i, ka} = M_{ex,i} + q_i \cdot M_{ex,i} \quad \dots\dots(4.27)$$

2.(b). Pada kolom eksterior

$$M_e = 0,70 \cdot M_{ex,e} \quad \dots\dots(4.28)$$

dengan nilai 0,70 diambil karena besarnya redistribusi maksimum yang diijinkan adalah 30 % dari $M_{ex,i}$.

maka,

$$M_e \text{ maks} = M_e + Z \% \cdot M_{ex,e} \quad \dots\dots(4.29)$$

dengan nilai $z \leq 30$.

Sehingga didapatkan nilai redistribusi momen balok

pada kolom eksteriornya adalah :

$$q_e = \frac{M_{e,e} - M_{e, \text{maks}}}{M_{e,e}} \quad \dots(4.30)$$

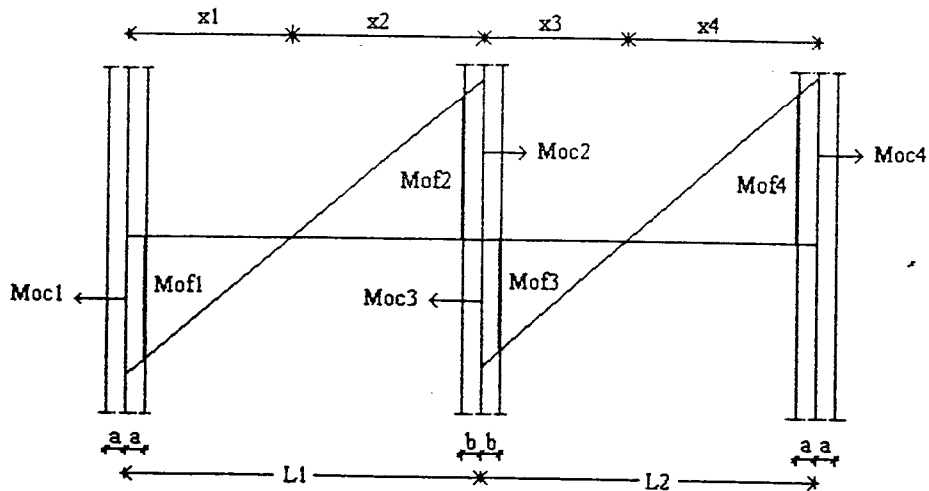
maka, akan diperoleh besarnya momen balok setelah redistribusi sebagai berikut :

$$M_{e,ki} = M_{e,ki} = M_{e,e} + q_e \cdot M_{e,e} \quad \dots(4.31)$$

$$M_{e,ka} = M_{e,ka} = M_{e,e} - q_e \cdot M_{e,e} \quad \dots\dots(4.32)$$

dimana, M_i dan M_e masing-masing adalah momen balok pada kolom interior dan eksterior, $M_{e,i}$ dan $M_{e,e}$ masing-masing adalah momen balok extreme (momen terbesar) pada kolom interior dan eksterior, q_i dan q_e masing-masing adalah besarnya momen redistribusi balok pada kolom interior dan eksterior, $M_{i,ki}$ dan $M_{i,ka}$ adalah momen balok pada kolom interior sebelah kiri dan sebelah kanan setelah redistribusi, serta $M_{e,ki}$ dan $M_{e,ka}$ adalah momen balok pada kolom eksterior setelah redistribusi sebelah kiri dan sebelah kanan setelah redistribusi.

3. Redistribusi momen pada muka kolom (M'_{of}), dengan cara sebagai berikut :
 - a. Mencari besarnya momen balok pada muka kolom awal (M_{of}), yaitu dengan cara sebagai berikut :
 - 1). Menentukan jarak momen bernilai nol ke garis pusat kolom (x), yaitu :



Gambar 4.2. Jarak momen nol ke pusat kolom

$$M_1 \text{ tot} = Moc_1 + Moc_2 \quad \dots(4.33)$$

$$M_2 \text{ tot} = Moc_3 + Moc_4 \quad \dots(4.34)$$

$$x_1 = \frac{Moc_1 \cdot L_1}{M_1 \text{ tot}} \quad \text{maka, } x_2 = L_1 - x_1 \quad \dots(4.35)$$

$$x_3 = \frac{Moc_3 \cdot L_2}{M_2 \text{ tot}} \quad \text{maka, } x_4 = L_2 - x_3 \quad \dots(4.36)$$

2). Menentukan besarnya momen pada balok pada muka kolom awal (Mof),
yaitu :

$$Mof_1 = \frac{Moc_1 \cdot (x_1 - a)}{x_1} \quad \dots\dots(4.37)$$

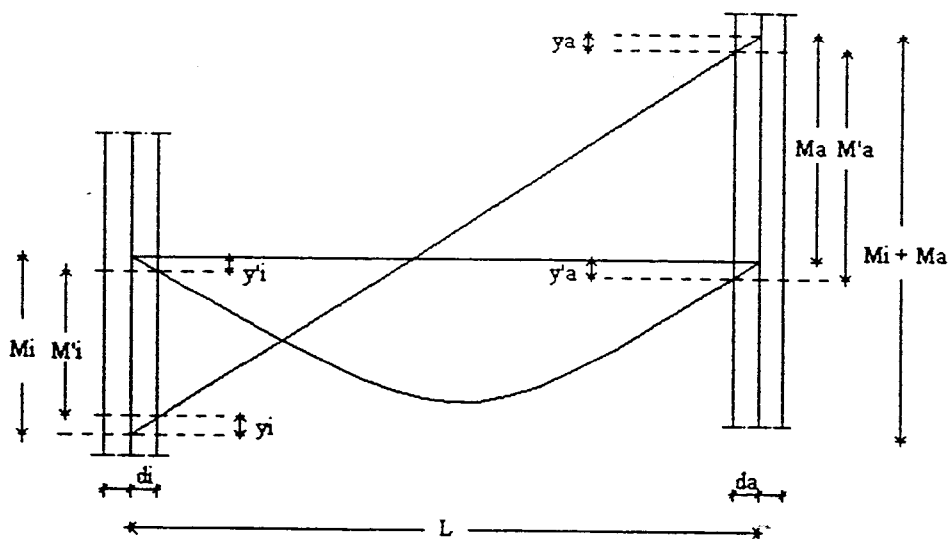
$$Mof_2 = \frac{Moc_2 \cdot (x_2 - b)}{x_2} \quad \dots\dots(4.38)$$

$$Mof_3 = \frac{Moc_3 \cdot (x_3 - b)}{x_3} \quad \dots\dots(4.39)$$

$$Mof_4 = \frac{Moc_4 \cdot (x_4 - a)}{x_4} \quad \dots\dots(4.40)$$

dimana, a dan b adalah setengah lebar kolom eksterior dan interior, M_1 tot dan M_2 tot adalah momen total balok pada bentang 1 dan bentang 2, M_{of_1} dan M_{of_2} adalah momen balok pada muka kolom eksterior bentang 1 dan bentang 2, M_{of_3} dan M_{of_4} adalah momen balok pada muka kolom interior bentang 1 dan bentang 2, x_1 dan x_4 adalah jarak momen nol ke garsi pusat kolom eksterior bentang 1 dan bentang 2, serta x_2 dan x_3 adalah jarak momen nol ke garis pusat kolom interior bentang 1 dan bentang 2.

- b. Mencari besarnya momen balok pada muka kolom akhir (M'_{of}), dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.3. Momen balok pada muka kolom yang sebenarnya

- 1). Menentukan momen balok karena kombinasi beban terbagi rata, yaitu :

$$Q = Q_D + 1,3 Q_L \quad \dots\dots(4.41)$$

dengan asumsi perletakan sebagai sendi-sendi, sehingga didapatkan :

$$M = 1/8. Q.L^2 \quad \dots\dots(4.42)$$

2). Menentukan besarnya pengurangan dan penambahan momen balok pada muka kolom yang sebenarnya, yaitu :

$$y_1 = \frac{a. (Moc_1 + Moc_2)}{L_1} \quad \dots\dots(4.43)$$

$$y_2 = \frac{b. (Moc_1 + Moc_2)}{L_1} \quad \dots\dots(4.44)$$

$$y'_1 = \frac{4.M.a.(L_1 - a)}{L_1^2} \quad \dots\dots(4.45)$$

$$y'_2 = \frac{4.M.b.(L_1 - b)}{L_1^2} \quad \dots\dots(4.46)$$

$$y_3 = \frac{b. (Moc_3 + Moc_4)}{L_2} \quad \dots\dots(4.47)$$

$$y_4 = \frac{a. (Moc_3 + Moc_4)}{L_2} \quad \dots\dots(4.48)$$

$$y'_3 = \frac{4.M.b.(L_2 - b)}{L_2^2} \quad \dots\dots(4.49)$$

$$y'_4 = \frac{4.M.a.(L_2 - a)}{L_2^2} \quad \dots\dots(4.50)$$

3). Menentukan momen balok pada muka kolom akhir (M'of), yaitu :

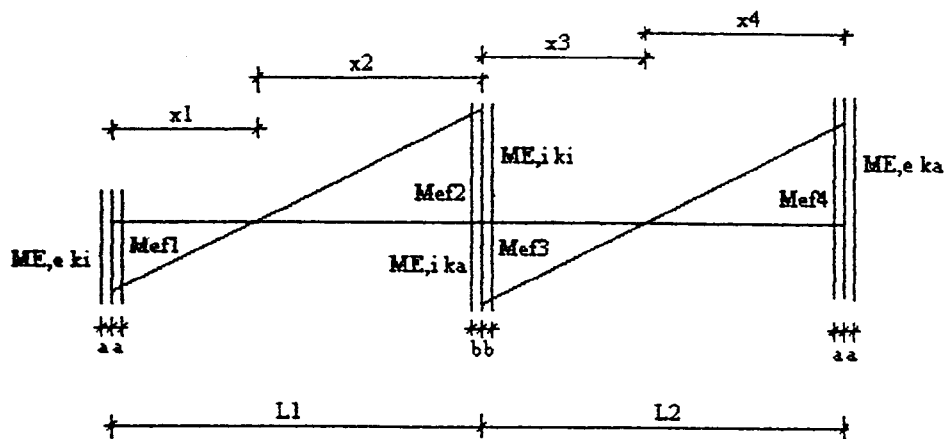
$$M'fo_1 = Moc_1 - y_1 - y'_1 \quad \dots\dots(4.51)$$

$$M'fo_2 = Moc_2 - y_2 + y'_2 \quad \dots\dots(4.52)$$

$$M'fo_3 = Moc_3 - y_3 - y'_3 \quad \dots\dots(4.53)$$

$$M'fo_4 = Moc_4 - y_4 + y'_4 \quad \dots\dots(4.54)$$

4. Mencari besarnya momen gempal balok pada muka kolom dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.4. Momen gempal balok pada muka kolom

- a. Menentukan jarak momen gempal balok bernilai nol dari garis pusat kolom (x), yaitu :

$$M_1 \text{ tot} = M_{ec1} + M_{ec2} \quad \dots(4.55)$$

$$M_2 \text{ tot} = M_{ec3} + M_{ec4} \quad \dots(4.56)$$

maka, didapatkan jarak momen gempal bernilai nol (x) :

$$x_1 = \frac{M_{ec1} \cdot L_1}{M_1 \text{ tot}} \quad \text{maka, } x_2 = L_1 - x_1 \quad \dots(4.57)$$

$$x_3 = \frac{M_{ec3} \cdot L_2}{M_2 \text{ tot}} \quad \text{maka, } x_4 = L_2 - x_3 \quad \dots(4.58)$$

- b. Menentukan momen gempal balok pada muka kolom, yaitu :

$$M_{ef1} = \frac{M_{ec1} \cdot (x_1 - a)}{x_1} \quad \dots(4.59)$$

$$M_{ef2} = \frac{M_{ec2} \cdot (x_2 - b)}{x_2} \quad \dots(4.60)$$

$$Mef_3 = \frac{Mec_3.(x_3 - b)}{x_3} \quad \dots(4.61)$$

$$Mef_4 = \frac{Mec_4.(x_4 - a)}{x_4} \quad \dots(4.62)$$

5. Mencari besarnya *flexural overstrength factor* (faktor kuat lebih lentur ϕ_o), dengan cara sebagai berikut :

E. Menentukan momen kapasitas balok tumpuan (penulangan lentur balok) :

1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (\emptyset_p dan \emptyset_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana ($M'fo$), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).

2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton (f'_c) yang dipakai, yaitu :

Jika $f'_c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.

Jika $30 \text{ MPa} < f'_c < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$.

Jika $f'_c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.

3). Menentukan harga R_n , yaitu :

$$R_n = M'fo / \phi(b.d^2) \quad \dots(4.63)$$

dengan : $d = h - d'$

dimana, ϕ adalah faktor reduksi kekuatan sebesar 0,9.

4). Menentukan rasio penulangan (ρ), yaitu :

$$\rho = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right\} \quad \dots(4.64)$$

dengan :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad \dots(4.65)$$

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

- a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),
- b. rasio penulangan minimum (ρ_{\min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan berdasarkan nilai rasio penulangannya, yaitu :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad \dots(4.66)$$

7). Menentukan panjang blok desak beton (a), yaitu :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.67)$$

8). Menentukan momen kapasitas awal balok (M_n), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad \dots(4.68)$$

Jika $M_n > M'fo / \phi$, maka balok bertulangan sebelah.

Jika $M_n \leq M'fo / \phi$, maka balok bertulangan rangkap.

B. Balok bertulangan sebelah.

- 1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (\emptyset_p dan \emptyset_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana ($M'fo$), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).
- 2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton (f'_c) yang dipakai, yaitu :

Jika $f'c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.

Jika $30 \text{ MPa} < f'c < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30)$.

Jika $f'c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.

3). Menentukan harga R_n sesuai dengan Persamaan (4.63).

4). Menentukan ρ dan m sesuai Persamaan (4.64) dan (4.65).

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum (ρ_{\min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan sesuai dengan Persamaan (4.66).

7). Menghitung luas satu tulangan berdasarkan diameter tulangan pokok dipakai.

$$A_{sD} = \pi \cdot (\phi_{pTr} / 2)^2 \dots \dots \dots (4.69)$$

8). Menentukan jumlah tulangan dipakai dan luas tulangan total.

$$n = \frac{A_s}{\pi \cdot (\phi_{pTr} / 2)^2} \dots \dots \dots (4.70)$$

$$\text{maka : } A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi_{pTr} / 2)^2$$

7). Menentukan panjang blok desak beton (a) sesuai Persamaan (4.67), maka :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$c = a / \beta_1 \dots \dots \dots (4.71)$$

8). Check regangan baja berdasarkan nilai c , yaitu :

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 \dots \dots \dots (4.72)$$

- a. 1. Jika $\epsilon_s > \epsilon_y = f_y / E_s$, maka anggapan awal $f_s = f_y$ benar (baja telah luluh).

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad \dots\dots(4.73)$$

2. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{MKap}{M_{fe}} \quad \dots\dots(4.75)$$

$$\phi_o = \frac{1,25 \cdot M_n}{M_{fe}} \quad \dots\dots(4.76)$$

- b. 1. Jika Jika $\epsilon_s \leq \epsilon_y = f_y / E_s$, maka :

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \quad \dots\dots(4.77)$$

2. Menentukan panjang blok beton desak (a), yaitu :

$$a = \frac{A_s \cdot f_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots\dots(4.78)$$

3. Menentukan momen kapasitas balok (M_n), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot (d - a/2) \quad \dots\dots(4.79)$$

6. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{MKap}{M_{fe}} \quad \dots\dots(4.81)$$

$$\phi_o = \frac{1,25 \cdot M_n}{M_{fe}} \quad \dots\dots(4.82)$$

C. Balok bertulangan rangkap.

- 1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (\emptyset_p dan \emptyset_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen

rencana ($M'fo$), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).

2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton ($f'c$) yang dipakai, yaitu :

Jika $f'c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.

Jika $30 \text{ MPa} < f'c < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30)$.

Jika $f'c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.

3). Menentukan harga R_n sesuai dengan Persamaan (4.63).

4). Menentukan ρ dan m sesuai Persamaan (4.64) dan (4.65).

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum (ρ_{min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan sesuai dengan Persamaan (4.66), yaitu :

$$A_s = \rho_b \cdot b \cdot d$$

7). Menentukan momen kapasitas balok tarik (M_{n1}), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$M_{n1} = M_n \quad \dots\dots(4.83)$$

8). Momen kapasitas balok desak (M_{n2}) adalah :

$$M_{n2} = M'fo/\phi - M_{n1} \quad \dots\dots(4.84)$$

9). Luas baja tulangan desak ($A's$) adalah :

$$A's = \frac{M_{n2}}{f_y \cdot (d - d')} \quad \dots\dots(4.85)$$

10). Menentukan jumlah tulangan desak (n'), yaitu :

$$n' = \frac{A'_s}{\pi \cdot (\varnothing pTk / 2)^2} \quad \dots(4.86)$$

$$\text{maka : } A'_s = n' \cdot \pi \cdot (\varnothing pTk / 2)^2$$

11). Menentukan luas tulangan tarik ($As1$), yaitu :

$$As = As1 + As2 \quad \dots(4.87)$$

$$\text{dengan : } As2 = A'_s$$

$$As2 = \rho_b \cdot b \cdot d \quad \dots(4.88)$$

$$As1 = As - As2$$

$$= As - A'_s$$

sehingga :

$$n = \frac{As1}{\pi \cdot (\varnothing pTr / 2)^2} \quad \dots(4.89)$$

$$As1 = n \cdot \pi \cdot (\varnothing pTr / 2)^2$$

12). Menghitung panjang blok beton desak (a), yaitu :

$$a = \frac{As1 \cdot f_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.90)$$

$$c = a / \beta_1 \quad \dots(4.91)$$

13). Menentukan nilai regangan tulangan desak (ϵ'_s), yaitu :

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.92)$$

a. Jika $\epsilon'_s \geq \epsilon_y$, maka :

$$1. C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a \quad \dots(4.93)$$

$$2. C_s = A_s \cdot f_y \quad \dots(4.94)$$

3. Momen kapasitas balok (M_n) adalah :

$$M_n = C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d') \quad \dots(4.95)$$

8. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{MKap}{Mfe} \quad \dots(4.99)$$

$$\phi_o = \frac{1,25 \cdot M_n}{M_{fe}} \quad \dots(4.100)$$

b. Jika $\epsilon'_s < \epsilon_y$, maka :

1. Regangan tulangan desaknya adalah :

$$\epsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.101)$$

sehingga : $f'_s = \epsilon'_s \cdot E_s$

$$= \frac{c - d'}{c} \cdot 600 \quad \dots(4.102)$$

2. Menghitung kuat desak beton (C_c) :

$$C_c = 0,85 \cdot b \cdot f_c \cdot a \quad \dots(4.103)$$

3. Menghitung kuat desak baja tulangan (C_s) :

$$C_s = A_s \cdot f'_s \quad \dots(4.104)$$

4. Menghitung kuat tarik baja tulangan (T_s) :

$$T_s = T_{s1} + T_{s2}$$

$$\begin{aligned}
 &= A_s1.f_y + A_s2.f_y \\
 &= A_s.f_y \qquad \dots\dots(4.105)
 \end{aligned}$$

5. Menghitung harga c dengan keseimbangan gaya horisontal :

a. Keseimbangan C = T atau C - T = 0,

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85.f'c.b.a + A's. \left\{ \frac{(c - d')}{c} \cdot 600 \right\} - A_s.f_y = 0$$

$$0,85.f'c.b.\beta_1.c + A's. \left\{ \frac{(c - d')}{c} \cdot 600 \right\} - A_s.f_y = 0$$

$$(0,85.f'c.b. \beta_1).c^2 + (600.A's - A_s.f_y).c - 600.d'.A's = 0 \qquad \dots\dots(4.106)$$

$$\text{maka : } A = 0,85.f'c.b. \beta_1 ; B = (600.A's - A_s.f_y) ; C = - 600.d'.A's$$

b. Menghitung nilai c berdasarkan dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4.A.C}}{2A} \qquad \dots\dots(4.107)$$

6. Menghitung nilai berdasarkan nilai a :

$$a = c . \beta_1$$

7. Menentukan tegangan tulangan desak ($f's$), yaitu :

$$\epsilon's = \frac{c - d'}{c} . 0,003$$

$$\text{sehingga : } f's = \epsilon's . E_s$$

8. Menentukan momen kapasitas balok (M_n) adalah :

$$M_n = 0,85.f'c. b. a.(d - a/2) + A's.f's.(d - d') \qquad \dots\dots(4.108)$$

9. Faktor kuat lebih balok adalah :

$$\phi_o = \frac{MKap}{Mfe} \quad \dots(4.100)$$

$$\phi_o = \frac{1,25 \cdot Mn}{Mfe} \quad \dots(4.100)$$

6. Menentukan besarnya gaya geser balok karena beban gempa (V_{Eo}), dengan cara sebagai berikut :

$$V_{Eo1} = \frac{(Mef_1 \cdot \phi_{o1}) + (Mef_2 \cdot \phi_{o2})}{L_{n1}} \quad \dots(4.111)$$

$$V_{Eo2} = \frac{(Mef_3 \cdot \phi_{o3}) + (Mef_4 \cdot \phi_{o4})}{L_{n2}} \quad \dots(4.112)$$

dimana, Mef adalah momen gempa balok pada muka kolom, dan L_n adalah bentang bersih balok (muka kolom ke muka kolom).

7. Menentukan besarnya gaya aksial kolom karena beban gempa (P_{Eo}) dengan cara sebagai berikut :

$$P_{Eo} = R_v \cdot \Sigma V_{Eo} \quad \dots(4.113)$$

$$= (1 - n/67) \cdot \Sigma V_{Eo} \quad \dots(4.114)$$

dimana, n adalah jumlah tingkat yang ditinjau dan R_v adalah faktor reduksi beban aksial, serta ΣV_{Eo} adalah gaya geser balok karena gempa dari seluruh tingkat di atas tingkat yang ditinjau.

8. Menentukan gaya aksial kolom (P_u), dengan cara sebagai berikut :

- a. Gaya aksial kolom maksimum (P_u maks), yaitu :

$$P_u \text{ maks} = (Q_D + Q_L + P_{Eo}) \quad \dots(4.115)$$

b. Gaya aksial kolom minimum ($P_u \text{ min}$), yaitu :

$$P_u \text{ min} = (0,90 Q_D - P_{Eo}) \quad \dots (4.116)$$

dengan :

$$Q_D = M_D / L \quad ; \text{ dan } Q_L = M_L / L$$

dimana, M_D adalah momen balok karena beban mati, dan Q_L adalah momen balok karena beban hidup.

9. Menentukan besarnya gaya geser kolom (V_u) dengan cara sebagai berikut :

a. Pada tingkat pertama (*column base*), yaitu :

$$V_u = \frac{\phi_o^* \cdot Me^* + 1,3 \cdot \phi_o \cdot Me_{top}}{h'k + 0,5 hb} \quad \dots(4.117)$$

dengan :

$\phi_o^* = \lambda_o / \phi_c$, dimana ϕ_c adalah faktor reduksi kekuatan kolom untuk geser yang nilainya 0,85.

b. Pada tingkat atas (selain tingkat pertama), yaitu :

$$V_u = 1,3 \cdot \phi_o \cdot V_{E \text{ code}} \quad \dots(4.118)$$

dengan :

$$V_{E \text{ code}} = \frac{Me_{bottom} + Me_{top}}{hk} \quad \dots(4.119)$$

dimana, $V_{E \text{ code}}$ adalah gaya geser dari kolom tingkat yang ditinjau karena gempa, $M_{e \text{ bottom}}$ dan $M_{e \text{ top}}$ adalah momen gempa kolom pada bagian bawah dan atas, serta h_k adalah tinggi kolom.

10. Menentukan besarnya momen kolom ($M_{u, k}$), yaitu :

$$M_{u, k} = R_m \cdot (\phi_o \cdot \omega \cdot M_e - 0,3 \cdot h_b \cdot V_u) \quad \dots (4.120)$$

dimana, R_m adalah faktor reduksi untuk kolom yang nilainya tergantung pada besarnya nilai $P_u/f'_c \cdot A_g$, dan ω adalah faktor pembesaran dinamik dari momen kolom, P_u adalah gaya aksial maksimum kolom, A_g adalah luas tampang beton serta f'_c adalah kuat desak beton.

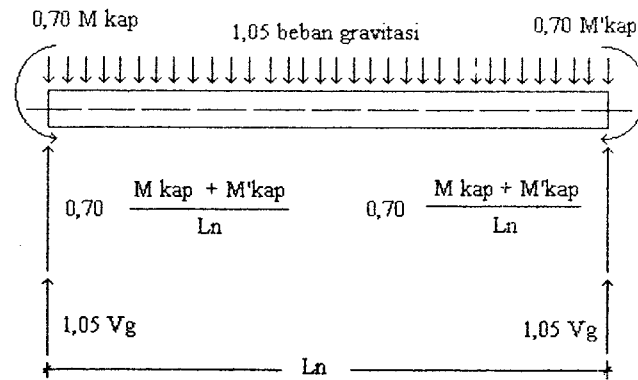
b. SK SNI T-15-1991-03

1. Menentukan besarnya kuat momen lentur maksimum perlu berdasarkan kombinasi beban terfaktor, yaitu :

$$\begin{aligned} M_u &= 1,05 (M_D + M_{Lr} + M_E) \\ &= 1,05 (M_D + 0,6 \cdot M_L + M_E) \quad \dots (4.121) \end{aligned}$$

2. Menentukan momen kapasitas balok pada tumpuan (M_{kap}) yaitu momen momen lentur balok berdasarkan luas baja tulangan terpasang, analog dengan langkah-langkah menghitung momen kapasitas pada cara Capacity Design Persamaan (4.63) sampai dengan (4.100)).

3. Menghitung kuat geser balok ($V_{u, b}$) dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.5. kuat geser balok

- Menentukan momen kapasitas balok pada tumpuan, sesuai dengan Persamaan (3.68).
- Menentukan besarnya gaya geser balok karena beban gravitasi (V_g), yaitu :

$$V_g = 1,2 V_D + 1,6 V_L \quad \dots(4.122)$$

dimana, V_D adalah gaya geser balok karena beban mati, dan V_L adalah gaya geser balok karena beban hidup.

- Menentukan Kuat geser balok ($V_{u,b}$), yaitu :

$$V_{u,b} = 0,07 \cdot \frac{M_{kap} + M'_{kap}}{L_n} + 1,05 \cdot V_g \quad \dots(4.123)$$

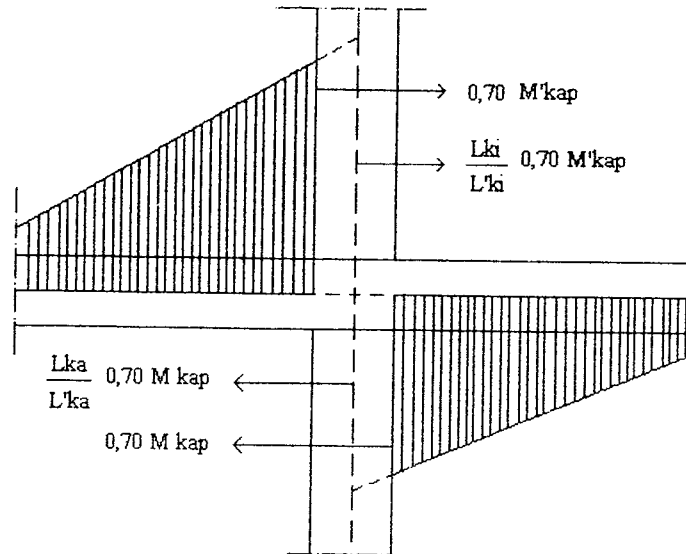
dimana, M_{kap} adalah momen kapasitas balok pada muka kolom, M'_{kap} adalah momen kapasitas balok pada muka kolom sebelahny, dan L_n adalah bentang bersih balok.

- Tetapi dalam segala hal, $V_{u,b}$ tidak perlu lebih dari :

$$V_{u,b \text{ maks}} = 1,05 (V_D + V_L + (4 / K) \cdot V_E) \quad \dots(4.124)$$

dimana, K adalah faktor jenis struktur bangunan.

4. Menghitung kuat lentur kolom portal ($M_{u,k}$) dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.6. Kuat lentur kolom

- a. Menentukan momen kapasitas lentur balok, sesuai dengan Persamaan di atas.
- b. Menentukan faktor distribusi momen (α_k) yang nilainya sebanding dengan kekakuan relatif elemen struktur pada join yang ditinjau, yaitu :

$$\alpha_{ka} = \frac{ka}{(ka + kb)} \quad ; \text{ atau } \alpha_{kb} = \frac{kb}{(ka + kb)}$$

dimana, ka adalah kekakuan relatif kolom atas join, dan kb adalah kekakuan relatif kolom bawah join.

- c. Menentukan faktor pembesaran dinamik kolom (ω_d), yaitu :

1). untuk tingkat pertama dan tingkat puncak $\omega_d = 1,0$

2). untuk tingkat kedua $\omega_d = 1,15$

3). untuk tingkat lainnya diambil $\omega_d = 1,15$

d. Menentukan kuat lentur kolom ($M_{u,k}$), yaitu :

$$M_{u,k} = \frac{h^3 k}{hk} \omega_d \cdot \alpha_k \cdot 0,70 \left(\frac{L_{ki}}{L'_{ki}} M'_{kap} + \frac{L_{ka}}{L'_{ka}} M_{kap} \right) \quad \dots (4.125)$$

e. Dalam segala hal, $M_{u,k}$ tidak perlu lebih besar dari :

$$M_{u,k} \text{ maks} = 1,05 (M_{D,k} + M_{L,k} + (4 / K). M_{E,k}) \quad \dots (4.126)$$

dimana, $M_{D,k}$, $M_{L,k}$, dan $M_{E,k}$ adalah momen kolom pada muka balok.

5. Mencari gaya aksial kolom ($P_{u,k}$) dengan cara sebagai berikut :

- a. Menentukan momen kapasitas balok sesuai dengan Persamaan di atas.
- b. Menentukan gaya aksial kolom pada joint akibat berat sendiri kolom dan beban gravitasi tak berfaktor, yaitu :

$$N_g = \sum_i^n (N_D + N_L + BS_{kolom}) \quad \dots (4.127)$$

dengan :

$$N_D = \frac{1}{2} \cdot Q_D \cdot L \quad , \quad N_L = \frac{1}{2} \cdot Q_L \cdot L \quad , \quad BS_{kolom} = b \cdot h \cdot hk \cdot \gamma_{beton}$$

dimana, N_D adalah gaya aksial kolom karena beban mati balok, N_L adalah gaya aksial kolom karena beban hidup balok, dan BS_{kolom} adalah berat sendiri kolom, serta \sum adalah jumlah total gaya aksial ditinjau dari joint yang dimaksud dan seluruh gaya aksial dari tingkat di atasnya.

d. Menentukan faktor reduksi gaya aksial kolom (R_v) yaitu :

$$R_v = 1,0 \quad \text{untuk } 1 < n \leq 4$$

$$R_v = 1,10 - 0,025 \cdot n \quad \text{untuk } 4 < n \leq 20$$

$$R_v = 0,6 \quad \text{untuk } n > 20.$$

e. Menentukan gaya aksial kolom ($P_{u,k}$), yaitu :

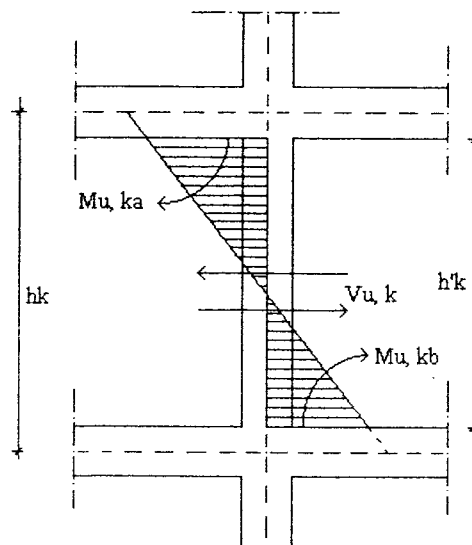
$$P_{u,k} = R_v \cdot 0,70 \cdot \left(\frac{M_{kap,i} + M'_{kap,i}}{L'_{ki}} + \frac{M_{kap,a} + M'_{kap,a}}{L'_{ka}} \right) + 1,05 \cdot N_g \quad \dots(4.128)$$

f. Dalam segala hal, $P_{u,k}$ tidak boleh lebih dari :

$$P_{u,k} \text{ maks} = 1,05 (N_{D,k} + N_{L,k} + (4 / K) \cdot N_{E,k}) \quad \dots(4.129)$$

dimana, $N_{D,k}$, $N_{L,k}$, dan $N_{E,k}$ adalah gaya aksial kolom akibat beban gravitasi takberfaktor dan akibat beban gempa.

6. Mencari kuat geser kolom ($V_{u,k}$) dengan cara sebagai berikut :



Gambar 4.7. Kuat geser kolom

- a. Menentukan kuat lentur kolom sesuai dengan Persamaan di atas.
- b. Menentukan kuat geser kolom ($V_{u,k}$), yaitu :

$$V_{u,k} = \frac{M_{u,ka} + M_{u,kb}}{h'k} \quad \dots (4.130)$$

dimana, $h'k$ adalah tinggi bersih kolom yang ditinjau.

- c. Dalam segala hal, $V_{u,k}$ tidak lebih dari :

$$V_{u,k} \text{ maks} = 1,05 (V_{D,k} + V_{L,k} + (4 / K). V_{E,k}) \quad \dots (4.131)$$

dimana, $V_{D,k}$, $V_{L,k}$ dan $V_{E,k}$ adalah gaya geser kolom karena beban gravitasi tak berfaktor dan gaya geser kolom akibat beban gempa, serta K adalah faktor jenis struktur bangunan.

4.4.2. Flow Chart Redistribusi Momen dan Momen Kapasitas

Flow chart redistribusi momen dan momen kapasitas, serta momen dan gaya-gaya yang bekerja pada balok dan kolom disajikan pada lampiran.

4.5. Perencanaan Balok

4.5.1. Langkah-langkah Perencanaan Balok

1. Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan, kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana (M_r), dan perbandingan d/b ,
2. Sebagai asumsi awal bahwa seluruh bagian balok, baik desak maupun tarik telah luluh, sehingga $f'_s = f'_c$ dan $f_s = f_y$,

3. Menentukan rasio penulangan *balanced* dan minimum,
 - a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),
 - b. rasio penulangan minimum (ρ_{min}) sesuai dengan Persamaan (3.30),
1. Rasio penulangan yang digunakan untuk tarik 1 (ρ_1) sebesar 0,6 dari rasio penulangan *balanced* (ρ_b), maka :

$$\rho_1 = 0,6 \cdot \rho_b \quad \dots\dots(4.132)$$

5. Tentukan $b.d^2$ yang perlu disesuaikan dengan Persamaan (3.32) sampai dengan Persamaan (3.33),
6. Dengan harga perbandingan d/b yang telah ditentukan, maka harga d dan b dapat diperoleh. Pembulatan nilai b adalah ke atas, sedangkan pembulatan nilai d adalah ke bawah dengan pengurangan 8 cm agar balok bertulangan rangkap,
7. Tentukan letak garis netral (c), yaitu :

$$c = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \quad \dots\dots(4.133)$$

8. Menentukan luas tulangan 1 (A_{s1}), yaitu :

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d \quad \dots\dots(4.134)$$

9. Menentukan momen tampang 1 (M_{n1}) sesuai dengan Persamaan (3.34),
10. Apabila $M_{n1} < M_n$, maka direncanakan sebagai balok bertulangan rangkap, dan apabila $M_{n1} \geq M_n$, serta dianggap sebagai balok bertulangan sebelah.

4.5.1.1. Desain Balok Bertulangan Sebelah

1. Tentukan terlebih dahulu harga yang baru dengan menghitung $R_n \text{ baru}$ untuk penampang yang dipilih dengan memakai :

$$\rho \text{ baru} = \rho \text{ lama} = \frac{R_n \text{ baru}}{R_n \text{ lama}} \quad \dots(4.135)$$

dengan :

$$R_n \text{ baru} = M_n / (b \cdot d^2) \quad \dots\dots(4.136)$$

Hitung luas tulangan (A_s) yang dipakai

$$A_s = \rho \text{ baru} \cdot (b \cdot d) \quad \dots\dots(4.137)$$

3. Jumlah tulangan (n) ditentukan dengan :

$$n = \frac{A_s}{\pi \left(\frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{Tr} \right)^2} \quad \dots\dots(4.138)$$

4. Sehingga harga h didapat dari :

$$h = d + d' + \emptyset \text{Tr} + Q \quad \dots\dots(4.139)$$

dengan :

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \{ (\text{Jumlah Lapis} - 1) + (\text{Jumlah Lapis} \times \emptyset \text{Tr}) \} \quad \dots\dots(4.140)$$

4.5.1.2. Desain Balok Tulangan Rangkap

1. Menentukan momen nominal keadan 2 dengan cara sebagai berikut :

$$M_{n2} = M_r / \phi - M_{n1} \quad \dots\dots(4.141)$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} \quad \dots\dots(4.142)$$

dimana, ϕ adalah faktor reduksi kekuatan,

2. Dari momen nominal keadaan 2 diperkirakan luas tulangan yang terjadi,

$$A_{s2} = \frac{M_{n2}}{f_y \cdot (d - d')} \quad \dots(4.143)$$

3. Luas tulangan tariknya (A_s) menjadi :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad \dots(4.144)$$

4. Untuk menjamin jenis keruntuhan, ditinjau regangan yang terjadi dibandingkan dengan regangan luluh baja,

d. regangan luluh baja,

$$\varepsilon_y = f_y / 200000 \quad \dots(4.145)$$

b. regangan desak yang terjadi,

$$\varepsilon' = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.146)$$

c. regangan tarik yang terjadi,

$$\varepsilon = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.147)$$

5. Jika $\varepsilon < \varepsilon_y$, maka $f_s = \varepsilon \cdot 200000$
6. Jika $\varepsilon' < \varepsilon_y$, maka terjadi tulangan desak belum luluh (kondisi 1), dan jika sebaliknya berarti tulangan desak telah luluh (kondisi 2).

Kondisi 2 : Tulangan Desak Belum Luluh

1. Jika tulangan desak belum luluh, maka harus ditentukan f'_s dengan cara *trial and error*, yaitu dengan cara sebagai berikut :

- a. tentukan f'_s ,
- b. menentukan gaya desak baja tulangan (C_s),

$$C_s = A_{s2} \cdot f'_s \quad \dots(4.148)$$

c. dari keseimbangan gaya ditentukan tinggi blok desak, yaitu :

$$a = \frac{T - C_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.149)$$

d. tinggi garis netral dapat diperoleh dengan :

$$c = \beta_1 \cdot a \quad \dots(4.150)$$

e. regangan desak yang terjadi adalah :

$$\epsilon'_c = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.151)$$

f. maka, tegangan yang terjadi harus mendekati f'_s asumsi awal, jika tidak sama, maka proses diulangi kembali dari bagian a, dengan memakai $f'_s = \epsilon'_s \cdot 200000$.

6. Tentukan jumlah tulangan untuk bagian tarik (n) dan bagian desak (n') dengan :

$$n' = \frac{A'_s}{\pi \cdot (\phi T_k / 2)^2} \quad \dots(4.151)$$

$$n = \frac{A_s}{\pi \cdot (\emptyset pTr / 2)^2} \quad \dots(4.152)$$

3. Dari jumlah tulangan di atas, maka luas masing-masing tulangan yang digunakan adalah :

$$A'_s \text{ dipakai} = n' \cdot \pi \cdot (\emptyset pTk / 2)^2 \quad \dots(4.153)$$

$$A_s \text{ dipakai} = n \cdot \pi \cdot (\emptyset pTr / 2)^2 \quad \dots(4.154)$$

4. Menentukan tinggi balok (h_{dipakai}) dari :

$$h_{\text{dipakai}} = d + d' + \emptyset Ts + Q \quad \dots(4.155)$$

5. Kontrol momen nominal tampang (M_n) terhadap momen rencana, yaitu :

$$M_n = \phi \cdot \{C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d')\} \quad \dots(4.156)$$

dengan :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a \quad \dots(4.157)$$

$$C_s = A'_s \text{ dipakai} \cdot f_s \quad \dots(4.158)$$

Kondisi 1 : Tulangan Desak Telah Luluh

1. Jika tulangan desak telah luluh, maka asumsi awal telah benar, yaitu $f'_s = f_y$,
2. Tentukan jumlah tulangan untuk bagian tarik (n) dan bagian desak (n') dengan :

$$n' = \frac{A_{s2}}{\pi \cdot (\emptyset pTk / 2)^2} \quad \dots(4.159)$$

$$n = \frac{A_s}{\pi \cdot (\varnothing_{pTr} / 2)^2} \quad \dots(4.134)$$

3. Dari jumlah tulangan di atas, maka luas masing-masing tulangan yang digunakan adalah :

$$A'_s \text{ dipakai} = n' \cdot \pi \cdot (\varnothing_{pTk} / 2)^2 \quad \dots(4.160)$$

$$A_s \text{ dipakai} = n \cdot \pi \cdot (\varnothing_{pTr} / 2)^2 \quad \dots(4.161)$$

4. Menentukan tinggi balok (h pakai) dari :

$$h \text{ dipakai} = d + d' + \varnothing_{Ts} + Q \quad \dots(4.162)$$

5. Kontrol momen nominal tampang (M_n) terhadap momen rencana, yaitu :

$$M_n = \phi \cdot \{ C_s \cdot (d - a/2) + T1 \cdot (d - d') \} \quad \dots(4.163)$$

dengan :

$$C_s = A'_s \cdot f'_s \quad \dots(4.164)$$

$$T1 = A_{s1} \cdot f_y \quad \dots(4.165)$$

4.5.2. Langkah-Langkah Analisis Balok

1. Untuk analisis balok bertulangan sebelah, data yang diperlukan adalah dimensi tampang, diameter tulangan tarik, diameter tulangan desak, diameter tulangan sengkang, jumlah tulangan tarik, jumlah tulangan desak, kuat desak beton (f'_c), dan kuat tarik baja (f_y),
2. Sebagai asumsi awal, blok seluruh bagian, baik desak maupun tarik telah luluh, sehingga $f'_s = f'_y$ dan $f_s = f_y$,

3. Dari jumlah tulangan yang diketahui, maka luas masing-masing tulangan yang dipakai adalah :

$$A'_{s \text{ dipakai}} = n' \cdot \pi \cdot (\varnothing pTk / 2)^2 \quad \dots(4.166)$$

$$A_{s \text{ dipakai}} = n \cdot \pi \cdot (\varnothing pTr / 2)^2 \quad \dots(4.167)$$

4. Gaya-gaya dalam yang terjadi adalah :

$$C_s = A'_{s \text{ dipakai}} \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad \dots(4.168)$$

dan,

$$T = A_s \cdot f_y \quad \dots(4.169)$$

5. Menentukan tinggi blok desak balok dengan :

$$a = \frac{T - C_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.170)$$

6. Sehingga tinggi garis netral dapat diketahui dari :

$$c = a / \beta_1 \quad \dots(4.171)$$

7. Menentukan tinggi balok (h dipakai) dari :

$$h \text{ dipakai} = d + d' + \varnothing Ts + Q \quad \dots(4.172)$$

dengan :

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \{ (\text{Jumlah Lapis} - 1) + (\text{Jumlah Lapis} \times \varnothing Tr) \}$$

8. Ditinjau dari regangan rang terjadi dibandingkan dengan regangan luluh baja,

- a. regangan luluh baja,

$$\varepsilon = f_y / 200000 \quad \dots(4.173)$$

- b. regangan desak yang terjadi,

$$\varepsilon = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots(4.174)$$

c. regangan tarik yang terjadi,

$$\varepsilon = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 \quad \dots\dots(4.175)$$

9. Jika $\varepsilon < \varepsilon_y$, maka $f_s = \varepsilon \cdot 200000$ dan $T = A_s \cdot f_s$,

10. Jika $\varepsilon' < \varepsilon_y$, maka terjadi tulangan desak belum luluh, maka harus ditentukan

f'_s yang bekerja dengan cara *trial and error*, dengan cara sebagai berikut :

a. tentukan f'_s ,

b. menentukan gaya desak baja tulangan (C_s),

$$C_s = A_s \cdot 2 \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad \dots(4.176)$$

c. dari keseimbangan gaya, tentukan tinggi blok desak, yaitu :

$$a = \frac{T - C_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.177)$$

d. tinggi garis netral dapat diperoleh dengan :

$$c = a / \beta_1 \quad \dots(4.178)$$

e. regangan desak yang terjadi adalah :

$$\varepsilon = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 \quad \dots\dots(4.179)$$

f. maka, tegangan yang terjadi harus mendekati f'_s asumsi awal, jika tidak sama, maka proses diulangi kembali dari bagian a,

$$f'_s = \varepsilon' \cdot 200000 \quad \dots\dots(4.180)$$

11. Tentukan momen ominal tampang (M_n), yaitu :

$$M_n = \phi \cdot \{C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d')\} \quad \dots(4.181)$$

dengan :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad \dots\dots(4.182)$$

$$C_s = A'_s \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad \dots\dots(4.183)$$

dimana, ϕ adalah faktor reduksi kekuatan.

4.5.3. Flow Chart Perencanaan Balok

Flow chart perencanaan balok dapat dilihat pada lampiran.

4.6. Perencanaan Kolom

4.6.1. Langkah-Langkah Analisis Kolom

1. Data yang diperlukan adalah dimensi penampang, diameter tulangan, kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), rasio penulangan kolom (ρ), momen rencana (M_r), dan gaya desak aksial (P_r),
2. Untuk momen rencana (M_r) yang dipakai adalah momen dari hasil analisis struktur, terredistribusi ataupun tidak, dan dipilih yang terbesar,
3. Gaya aksial (P_r) yang bekerja merupakan jumlah dari gaya aksial hasil perhitungan analisis struktur, berat sendiri kolom, dan berat balok yang menumpu pada kolom,
4. Mencari eksentrisitas (e) yang terjadi, yaitu :

$$e = \frac{M_u}{P_u} \quad \dots(4.184)$$

5. Menentukan jumlah tulangan yang dipakai, yaitu :

a. karena penulangan berdasarkan 2 sisi simetris, maka ρ sama dengan ρ' ,

$$\rho = \rho' = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{kolom}} \quad \dots(4.185)$$

b. luas tulangan perlu kolom adalah :

$$A_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot (h - d') \quad \dots(4.186)$$

c. jumlah tulangan yang dipakai adalah :

$$n = n' = \frac{A_{\text{perlu}}}{\pi \cdot (\varnothing p / 2)^2} \quad \dots(4.187)$$

6. Karena pembulatan, maka luas tulangan yang dipakai adalah :

$$A_{\text{dipakai}} = n \cdot \pi \cdot (\varnothing p / 2)^2 \quad \dots(4.188)$$

7. Menentukan jenis kolom, kolom pendek, atau kolom panjang dengan menghitung kelangsingan yang terjadi,

$$\text{Kelangsingan} = \frac{k \cdot L}{r} \quad \dots(4.189)$$

dimana, $k = 0,5$ (untuk tumpuan jepit - jepit), L adalah panjang / tinggi kolom, dan $r = 0,3 h$ (faktor kolom untuk bentuk segi empat).

Jika kelangsingan < 22 , maka dianggap sebagai kolom pendek dan jika sebaliknya dianggap sebagai kolom panjang / kolom langsing.

Kolom Langsing (Kolom Panjang)

1. Menentukan faktor pembesaran momen,

a. Jika ρ kolom $\leq 3\%$, maka :

$$EI = \frac{E_c \cdot I_g}{2,5 \cdot (1 + \beta d)} \quad \dots(4.190)$$

dan jika sebaliknya, maka :

$$EI = \frac{1/5 \cdot (E_c \cdot I_g) + (E_s \cdot I_{se})}{(1 + \beta d)} \quad \dots(4.191)$$

dengan :

$$I_{se} = 2 \cdot A_s \text{ dipakai} \cdot (\frac{1}{2} \cdot h - d')^2 \quad \dots(4.192)$$

b. Beban tekuk (P_c) adalah sebagai berikut :

$$P_c = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot l)^2} \quad \dots(4.193)$$

c. Mencari faktor pembesaran momen (δ_b), yaitu :

$$\delta_b = \frac{C_m}{(1 - P_u / (\phi \cdot P_c))} \quad \dots(4.194)$$

dengan :

$$C_m = 1 \text{ (karena kolom tanpa pengaku)}$$

$$\delta_s = 1 / (1 - \Sigma P_u / (\phi \cdot \Sigma P_c)) \quad \dots(4.195)$$

2. Menentukan momen desain (M_c), yaitu :

$$M_c = \delta_b \cdot 2M_b + \delta_s \cdot 2M_s \quad \dots(4.196)$$

3. Eksentrisitas desain yang terjadi adalah :

$$e = \frac{M_c}{P_u} \quad \dots(4.197)$$

Kolom Pendek

1. Menentukan tinggi efektif yang terjadi

$$d = h - d' \quad \dots(4.198)$$

2. Menentukan letak garis netral balance (C_b), yaitu :

$$C_b = \frac{600}{f_y + 600} \cdot (d) \quad \dots(4.199)$$

3. Tinggi blok tegangan ekivalennya adalah :

$$f'_s = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \cdot \frac{0,003 \cdot (C_b - d')}{C_b} \quad \dots(4.200)$$

$$f_s = f_y$$

jika $f'_s > f_y$, maka $f'_s = f_y$,

5. Menentukan jenis keruntuhan yang terjadi pada kolom :

a. gaya *balance* yang terjadi sesuai dengan Persamaan (3.54)

b. momen *balance* yang terjadi sesuai dengan Persamaan (3.55)

c. eksentrisitas *balancenya* adalah :

$$e_b = M_{nb} / P_{nb}$$

jika $e_b < e$, maka keruntuhan kolom tarik, dan bila sebaliknya, maka terjadi keruntuhan desak.

Keruntuhan Desak

1. Jika $f'_s < f_y$, maka memakai prosedur *trial and error*,
2. Gaya tahan nominal P_n yang sesungguhnya sesuai dengan Persamaan (3.53),

Keruntuhan Tarik

1. Jika $f'_s < f_y$, maka penggunaan prosedur *trial and error*,
2. Gaya tahan nominal P_n nyata adalah sesuai dengan Persamaan (3.53)
3. Tegangan sesungguhnya yang terjadi adalah :
 - a. tinggi blok tegangan ekivalennya, yaitu :

$$a = \frac{P_n}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \dots(4.201)$$

- b. letak garis netral (c), yaitu :

$$c = a / \beta_1 \quad \dots(4.202)$$

- c. tegangan desak yang terjadi adalah :

$$f'_s = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \cdot \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} \quad \dots(4.203)$$

jika $f'_s \leq f_y$, maka penggunaan prosedur *trial and error*.

Prosedur Trial and Error

1. Dalam prosedur ini mengasumsikan nilai c,
2. Dengan harga c tersebut, dapat dihitung tinggi blok tegangan ekivalen, yaitu :

$$a = \beta_1 \cdot c \quad \dots(4.204)$$

3. Hitung tegangan yang terjadi dengan rumus :

$$f'_s = E_s \cdot \epsilon'_s = E_s \cdot \frac{0,003 \cdot (c - d')}{c} \quad \dots(4.205)$$

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \cdot \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} \quad \dots(4.206)$$

sehingga, jika $f'_s > f_y$, maka $f'_s = f_y$

jika $f_s > f_y$, maka $f_s = f_y$

4. Menentukan gaya dan momen yang terjadi, yaitu :

d. gaya nominal yang terjadi sesuai dengan Persamaan (3.54)

e. momen nominal yang terjadi sesuai dengan Persamaan (3.55)

1. Eksentrisitas nominalnya adalah :

$$e = M_n / P_n \quad \dots\dots(4.207)$$

jika perbandingan e terhadap e_b lebih besar dari 0,5 %, maka kembali ke

nomor 1 sampai akhirnya nilai e kurang dari nilai 0,5 % e_b .

6. Perhitungan selanjutnya adalah ke langkah perencanaan lanjutan.

Perencanaan Lanjutan

1. Menentukan faktor reduksi,

jika $P_n \geq 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c$, maka $\phi = 0,65$ dan jika sebaliknya, maka :

$$\phi = 0,8 - \frac{0,2 \cdot \phi \cdot P_n}{0,1 \cdot A_g \cdot f'_c} \geq 0,65 \quad \dots\dots(4.208)$$

2. Jika $\phi \cdot P_n > P_u$, maka perencanaan tampang aman.

4.6.2. Flow Chart Analisis Kolom

Flow chart analisis kolom dapat dilihat pada lampiran.

4.7. Perencanaan Plat

4.7.1. Langkah-Langkah Perencanaan Plat

1. Dalam perencanaan plat, data yang diperlukan adalah kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), jenis plat (Plt), beban hidup (Bh), letak plat (jumlah bentang (Jb), dan posisi bentang plat (Bk)), tebal plat (dalam mm), dan diameter tulangan pokok (ϕ_p) serta tulangan susut (ϕ_s),
2. Menghitung beban-beban yang bekerja pada plat, yaitu :

- a. untuk plat atap,

B.S plat (Bm)

$$B_m = (h/100) \cdot 2400 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

sehingga :

$$W_u = 1,2 B_m + 1,6 B_h \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

- b. untuk plat lantai,

1). Berat sendiri plat (Bs)

$$B_s = (h/100) \cdot 2400 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

2). Berat lantai setebal 2 cm (Bl)

$$B_l = 0,02 \cdot 2400 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

3). Berat spesi setebal 2 cm (Bc)

$$B_c = 0,02 \cdot 2400 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

4). Berat plafond (Bf)

$$B_f = 18 \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

maka, beban mati plat lantai (Bm) adalah :

$$B_m = B_s + B_c + B_l + B_f \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

sehingga :

$$W_u = 1,2 B_m + 1,6 B_h \quad \dots(\text{kg/m}^2)$$

3. Perhitungan tebal minimum plat adalah sebagai berikut :

c. untuk dua tumpuan :

$$h = 1/20 \cdot (0,4 + f_y / 700) \quad \dots(4.209)$$

b. untuk satu ujung menerus :

$$h = 1/24 \cdot (0,4 + f_y / 700) \quad \dots(4.210)$$

c. untuk kedua ujung menerus :

$$h = 1/28 \cdot (0,4 + f_y / 700) \quad \dots(4.211)$$

d. untuk kantilever :

$$h = 1/10 \cdot (0,4 + f_y / 700) \quad \dots(4.212)$$

4. Syarat penutup beton untuk plat (tebal selimut beton plat) adalah :

d. jika plat adalah atap, dan $\varnothing_p \leq \varnothing 16$, maka $d' = 40$ mm

e. jika plat adalah atap, dan $\varnothing_p \geq \varnothing 19$, maka $d' = 50$ mm

f. jika plat adalah atap, dan $\varnothing_p \leq \varnothing 36$, maka $d' = 20$ mm,

5. Menentukan jenis perhitungan plat dari perbandingan panjang plat dengan lebar plat (l_y/l_x). Jika $l_y/l_x \leq 2$, maka dipakai perhitungan plat dua arah, dan jika $l_y/l_x > 2$, maka dipakai perhitungan plat satu arah.

Perhitungan Plat Satu Arah

1. Untuk perhitungan plat satu arah, SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.1.3.3 dengan tumpuan luar adalah balok, perhitungan momen rencana seperti diuraikan pada Bab 3.5.3.
2. Dari perhitungan momen rencana tersebut untuk momen tumpuan (M_t) dan momen lapangan (M_l) dipilih yang terbesar, kemudian diteruskan dengan perhitungan penulangan plat,

Perhitungan Plat Dua Arah

1. Untuk perhitungan plat dua arah, momen rencana yang dipakai adalah sesuai dengan tebal plat pada buku “Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang” oleh Gideon W. Kusuma.
2. Kemudian masukan nilai koefisien sesuai Tabel 3.1 (dalam program ini masukan nilai koefisien sesuai dengan tabel tersebut),
3. Dari perhitungan momen rencana untuk tumpuan tersebut (M_t) dan momen lapangan (M_l) dipakai yang terbesar, kemudian diteruskan dengan perhitungan penulangan plat.

Perhitungan Penulangan Plat

1. Untuk perhitungan penulangan, tentukan terlebih dahulu nilai β_1 berdasarkan kuat desak beton, seperti halnya pada penulangan balok sesuai dengan Persamaan (3.33),

2. Tentukan tinggi efektif plat dengan :

$$d = h - d_s \quad \dots(4.213)$$

3. Tentukan syarat rasio penulangan sesuai dengan Persamaan (3.29) dan (3.30),

4. Tentukan rasio penulangan aktual untuk masing-masing bagian (tumpuan atau lapangan),

d. untuk tumpuan,

$$\rho_{\text{aktual1}} = \omega_1 \cdot f_c / f_y \quad \dots(4.215)$$

dengan :

$$k_1 = M_l / (b \cdot d^2)$$

$$\omega_1 = \frac{(1/0,59) \cdot \sqrt{ \{ (1/0,59)^2 - 4 \cdot (k_1 / (0,59 \cdot f_c)) \} }}{2} \quad \dots(4.216)$$

b. untuk lapangan,

$$\rho_{\text{aktual2}} = \omega_2 \cdot f_c / f_y \quad \dots(4.217)$$

dengan :

$$k_2 = M_l / (b \cdot d^2)$$

$$\omega_2 = \frac{(1/0,59) \cdot \sqrt{ \{ (1/0,59)^2 - 4 \cdot (k_2 / (0,59 \cdot f_c)) \} }}{2} \quad \dots(4.218)$$

5. Luas tulangan yang digunakan untuk tumpuan dan lapangan adalah :

$$A_{st} = \rho \text{ dipakai} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots(4.219)$$

$$A_{sl} = \rho \text{ dipakai} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots(4.220)$$

6. Jarak tulangan utama untuk masing-masing ditinjau per meter adalah :

$$s_t = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (\varnothing_p)^2 \cdot 1000}{A_{st}} \quad \dots\dots(4.221)$$

$$s_l = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (\varnothing_p)^2 \cdot 1000}{A_{sl}} \quad \dots\dots(4.222)$$

7. Menurut SKSNI T-15-1991-03 pasal 3.16.12 rasio luas tulangan susut dan mutu terhadap luas brutto beton adalah sebagai berikut :

- a. tulangan deform dengan mutu baja ≤ 300 Mpa, maka :

$$\rho_s = 0,002 \cdot 300 / f_y \quad \dots\dots(4.223)$$

- b. tulangan polos atau deform dengan mutu baja ≥ 400 MPa, maka :

$$\rho_s = 0,0018 \cdot 400 / f_y \quad \dots\dots(4.224)$$

tetapi dalam segala hal, tidak boleh kurang dari 0,0014.

8. Luas tulangan susut yang digunakan adalah :

$$A_{ss} = \rho_s \cdot b \cdot d \quad \dots\dots(4.225)$$

9. Jarak tulangan susut adalah :

$$s_s = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (\varnothing_s)^2 \cdot 1000}{A_{ss}} \quad \dots\dots(4.226)$$

10. Kontrol terhadap jarak tulangan,

- a. syarat jarak minimum tulangan utama adalah 40 mm,
- b. syarat jarak maksimum tulangan utama untuk :
 - 1). Momen maksimum : $2,5h$ atau 250 mm,
 - 2). Momen minimum : $3h$ atau 500 mm,
- c. jarak maksimum tulangan distribusi : 250 mm,
- d. jarak maksimum tulangan susut : $5h$ atau 500 mm,
- e. jika $h > 250$ mm diberikan tulangan atas bawah,

11. Kontrol terhadap retak, jika $f'_c > 30$ Mpa, maka harus diperiksa lebar retak,

f. jarak antara titik berat tulangan utama sampai serat tarik terluar :

$$d_c = d' + \frac{1}{2} \cdot \varnothing p \quad \dots(4.227)$$

b. maka lebar retak adalah :

$$z = 0,6 \cdot f_y \cdot (d_c \cdot A)^{1/3} \quad \dots(4.228)$$

dengan :

$$A = 2 \cdot d_c \cdot s$$

12. Kontrol lebar retak terhadap syarat dalam SKSNI T-15-1991-03 sebagai berikut :

a. untuk plat atap,

jika, $z \leq 30$ MN/m, maka plat aman terhadap retak,

b. untuk plat lantai,

jika, $z \leq 25 \text{ MN/m}$, maka plat aman terhadap retak.

4.7.2. Flow Chart Perencanaan Plat

Flow chart perencanaan plat dapat dilihat pada lampiran.

BAB V

MODEL KAJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Data Struktur

Program pada Tugas Akhir ini adalah khusus untuk perencanaan struktur gedung bertingkat sesuai dengan batasan pada Bab I. Analisis struktur pada program ini hanya beban terbagi merata, yang mana beban tersebut adalah beban rencana hasil perhitungan secara manual.

Sebagai model kajian direncanakan sebuah gedung sekolah berlantai 3 dengan jumlah bentang balok 4 (faktor keutamaan $I = 1,5$), di daerah dengan wilayah gempa 2 dan kondisi jenis tanah lunak. Portal terbuat dari struktur beton dengan $f'c = 30$ MPa dan $f_y = 300$ MPa. Struktur direncanakan memenuhi daktilitas-3 dengan faktor jenis struktur $K = 1$.

Denah dan bentuk portal dapat dilihat pada gambar 5.1 dan 5.2 yang mana ukuran semua balok diasumsikan 35 cm x 65 cm dan ukuran kolom diasumsikan 45 cm x 45 cm.

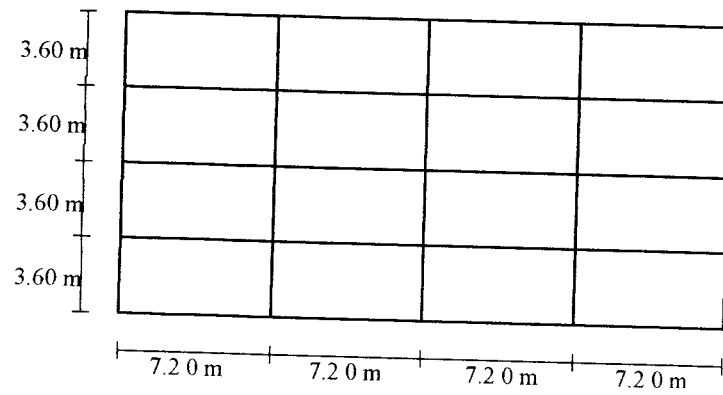
5.2. Perhitungan Beban

a. Atap ukuran (7,2 x 3,6) m²

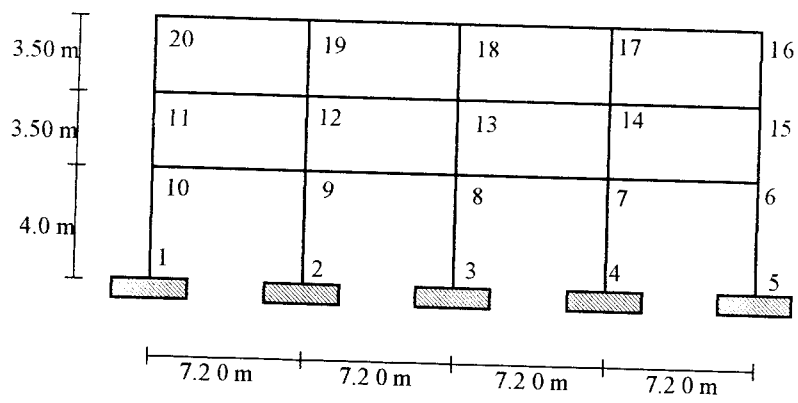
1. Tebal plat minimum :

$$h_{\min} = 360 / 28 = 12,857 \text{ cm}$$

diambil $h = 13$ cm



Gambar Denah



Gambar 5.1. Denah Bangunan

2. Beban Mati

$$\text{- BS plat : } (0,13 \cdot 2400 \cdot 1,00 \cdot 1,00) = 312,00 \text{ kg/m}^2$$

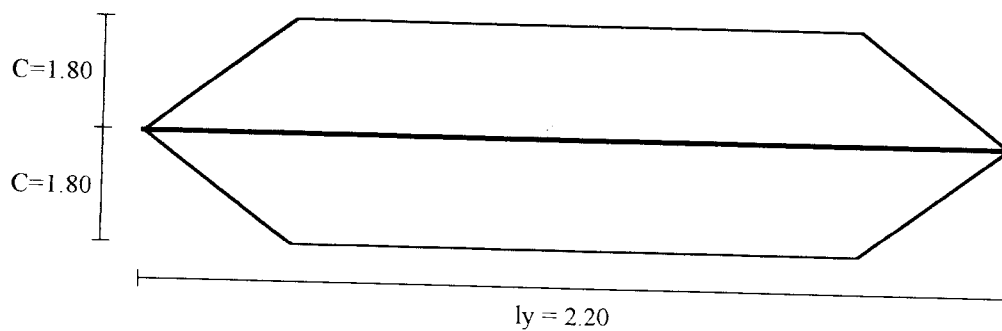
$$\text{- Plafond : } (18 \cdot 1,00 \cdot 1,00) = 18,00 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_d = 330,00 \text{ kg/m}^2$$

3. Beban Hidup

$$Q_l = 150,00 \text{ kg/m}^2$$

4. Beban Ekuivalen pada balok portal atap (batang 24 dan batang 25)



Gambar 5.2. Beban ekuivalen

a. Beban Mati

$$\text{- Plat} = (1 - 4/3 \cdot C^2/ly^2) \cdot 2 \cdot C \cdot Q_d$$

$$= (1 - 4/3 \cdot (1,80)^2/(7,2)^2) \cdot 2 \cdot 1,80 \cdot 330$$

$$= 0,91667 \cdot 2 \cdot 1,80 \cdot 330 = 1089,00 \text{ kg/m}$$

$$\text{- Balok} = 0,35 \cdot 0,65 \cdot 2400 = 546,00 \text{ kg/m}$$

$$Q_d = 1635,00 \text{ kg/m}$$

b. Beban Hidup

$$- Q_l = 0,9 \cdot 0,91667 \cdot 2 \cdot 1,80 \cdot 150 = 446,00 \text{ kg/m}$$

b. Lantai ukuran (7,2 x 3,6) m²

1. Tebal plat diambil 15 cm

2. Beban Mati

$$- \text{BS plat} : 0,15 \cdot 2400 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 360,00 \text{ kg/m}^2$$

$$- \text{Tegel (2cm)} : 0,02 \cdot 2400 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 48,00 \text{ kg/m}^2$$

$$- \text{Spesi (3cm)} : 0,03 \cdot 2100 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 63,00 \text{ kg/m}^2$$

$$- \text{Plafond} : 18 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 18,00 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_d = 489,00 \text{ kg/m}^2$$

3. Beban Hidup $Q_l = 250 \text{ kg/m}^2$

4. Beban Ekuivalen pada balok portal lantai

a. Beban Mati

$$- \text{Plat} = 0,91667 \cdot 2 \cdot 1,80 \cdot 489 = 1614,00 \text{ kg/m}$$

$$- \text{Balok} = 0,35 \cdot 0,65 \cdot 2400 = 546,00 \text{ kg/m}$$

$$- \text{Dinding} = 250 \cdot 3,5 = 875,00 \text{ kg/m}$$

$$Q_d = 3035,00 \text{ kg/m}$$

b. Beban Hidup

$$- Q_l = 0,9 \cdot 0,91667 \cdot 2 \cdot 1,80 \cdot 250 = 743,00 \text{ kg/m}$$

5.3. Validasi Program

Sebagai perbandingan antara perhitungan manual dengan perhitungan komputer tersaji dalam beberapa tabel berikut di bawah. Prosentase perbedaan diperoleh dari selisih antara perhitungan manual dengan komputer, kemudian dibandingkan dengan perhitungan komputer. Jadi perbedaannya merupakan prosentase terhadap perhitungan komputer. Pada validasi program ini tidak semuanya disajikan, tetapi diambil hanya sebagian saja karena dianggap sudah mewakili. Hasil perhitungan manual dan perhitungan komputer selengkapnya tersaji pada lampiran manual dan lampiran print out program komputer.

5.3.1. Gaya Gempa

Tabel 5.1. Validasi Berat Lantai

Tgt	Wi Manual	Wi Komputer	% Perbedaan
3	62015.400	62015.40	0
2	106612.20	106612.2	0
1	107827.20	107827.2	0

Tabel 5.2. Validasi Kekakuan

Tgt	K Manual	K Komputer	% Perbedaan
3	123104.635	123104.6	2.843109E-07
2	123104.635	123104.6	2.843109E-07
1	82470.4900	82470.50	1.212555E-07

Tabel 5.3. Validasi Gaya Horizontal Gempa

Tgt	Fi Manual	Fi Komputer	% Perbedaan
3	13308.201	13308.20	7.514163E-08
2	15598.947	15598.95	1.923206E-07
1	8414.2500	8414.250	0

5.3.2. Analisis Struktur

Tabel 5.4. Validasi Kekakuan Relatif

Elemen	k Manual	k Komputer	% Perbedaan
Balok	1.11249E-03	1.112486E-03	3.595538E-06
Kolom (1)	8.54297E-04	8.542969E-04	1.170553E-07
Kolom (2-3)	9.76339E-04	9.763393E-04	3.072702E-07

Tabel 5.5. Validasi Faktor Distribusi

α, b	α, b Manual	α, b Komputer	% Beda
20 - 19	-0.266295	-0.266295	0
20 - 11	-0.233705	-0.233705	0
19 - 20	-0.173754	-0.173755	5.755230E-06
19 - 18	-0.173754	-0.173755	5.755230E-06
19 - 12	-0.152490	-0.152491	6.557764E-06
18 - 19	-0.173754	-0.173755	5.755230E-06
18 - 17	-0.173754	-0.173755	5.755230E-06
18 - 13	-0.152490	-0.152491	6.557764E-06
17 - 18	-0.173754	-0.173755	5.755230E-06
17 - 16	-0.173754	-0.173755	5.755230E-06
17 - 14	-0.152490	-0.152491	6.557764E-06
16 - 17	-0.266295	-0.266295	0
16 - 15	-0.233705	-0.233705	0
15 - 16	-0.159263	-0.159264	6.278883E-06
15 - 14	-0.181473	-0.181472	5.510462E-06
15 - 6	-0.159263	-0.159264	6.278883E-06
14 - 17	-0.116852	-0.116853	8.557761E-06
14 - 15	-0.133148	-0.133147	7.510439E-06
14 - 13	-0.133148	-0.133147	7.510439E-06
14 - 7	-0.116852	-0.116853	8.557761E-06
13 - 18	-0.116852	-0.116853	8.557761E-06
13 - 14	-0.133148	-0.133147	7.510439E-06
13 - 12	-0.133148	-0.133147	7.510439E-06
13 - 8	-0.116852	-0.116853	8.557761E-06
12 - 19	-0.116852	-0.116853	8.557761E-06
12 - 13	-0.133148	-0.133147	7.510439E-06
12 - 11	-0.133148	-0.133147	7.510439E-06
12 - 9	-0.116852	-0.116853	8.557761E-06
11 - 20	-0.159263	-0.159264	6.278883E-06
11 - 12	-0.181473	-0.181472	5.510462E-06
11 - 10	-0.159263	-0.159264	6.278883E-06
10 - 11	-0.165868	-0.165868	0
10 - 9	-0.188998	-0.188998	0

10 - 1	-0.145134	-0.145134	0
9 - 12	-0.120369	-0.120369	0
9 - 10	-0.137154	-0.137154	0
9 - 8	-0.137154	-0.137154	0
9 - 2	-0.105323	-0.105323	0
8 - 13	-0.120369	-0.120369	0
8 - 9	-0.137154	-0.137154	0
8 - 7	-0.137154	-0.137154	0
8 - 3	-0.105323	-0.105323	0
7 - 14	-0.120369	-0.120369	0
7 - 8	-0.137154	-0.137154	0
7 - 6	-0.137154	-0.137154	0
7 - 4	-0.105323	-0.105323	0
6 - 15	-0.165868	-0.165868	0
6 - 7	-0.188998	-0.188998	0
6 - 5	-0.145134	-0.145134	0

Tabel 5.6. Validasi Distribusi Momen Beban Mati

Ptr	Join	Momen Manual	Momen Komputer	% Perbedaan
0	6	-2227428.33	- 2.227431E+06	1.198691E-06
1		-1872679.90	- 1.872682E+06	1.121387E-06
2		-2007342.92	- 2.007345E+06	1.036196E-06
3		-2001818.55	- 2.001821E+06	1.223887E-06
4		-2004407.84	- 2.004410E+06	1.077625E-06
5		-2004980.64	- 2.004983E+06	1.177069E-06
6		-2005058.86	- 2.005061E+06	1.067300E-06
7		-2005101.37	- 2.005104E+06	1.311654E-06
0	7	0.0000000	0.000000E+00	0
1		256845.54	2.568458E+05	1.012281E-06
2		250245.86	2.502463E+05	1.758271E-06
3		254885.67	2.548862E+05	9.286516E-05
4		255478.47	2.554790E+05	2.074539E-06
5		255410.74	2.554113E+05	2.192547E-06
6		255438.28	2.554388E+05	2.035717E-06
7		255447.33	2.554479E+05	2.231379E-06
0	8	0.0000000	0.000000E+00	0
1		-35227.39	- 3.522742E+04	8.516100E-07
2		3978.790	3.978806E+03	4.021323E-06
3		212.6600	2.126152E+02	2.106649E-04
4		556.5000	5.564619E+02	1.523819E-04
5		210.2750	2.102572E+02	8.465105E-05
6		59.78600	5.977727E+01	1.460208E-04
7		19.28600	1.929005E+01	2.099969E-04

0	9	0.0000000	0.000000E+00	0
1		-300669.13	-3.006694E+05	8.314787E-07
2		-244048.34	-2.440487E+05	1.475118E-06
3		-256231.18	-2.562317E+05	2.029417E-06
4		-255752.18	-2.557527E+05	2.033218E-06
5		-255492.48	-2.554930E+05	2.035284E-06
6		-255468.26	-2.554688E+05	2.113765E-06
7		-255452.63	-2.554531E+05	1.839871E-06
0	10	2227428.33	2.227431E+06	1.198692E-06
1		1929505.76	1.929508E+06	1.160919E-06
2		2014891.80	2.014894E+06	1.091870E-06
3		2006836.60	2.006839E+06	1.195912E-06
4		2005646.43	2.005649E+06	1.280382E-06
5		2005369.86	2.005372E+06	1.067135E-06
6		2005196.30	2.005199E+06	1.346501E-06
7		2005145.56	2.005148E+06	1.216869E-06

* Validasi hanya ditinjau sebagian (pada tingkat pertama)

Tabel 5.7. Validasi Distribusi Momen Penggoyangan Beban Gempa

Ptr	Tingkat	Momen Manual	Momen Komputer	% Perbedaan
0	1	-17474671.22	-1.747467E+07	6.981533
1		-22261950.67	-2.226196E+07	4.191007
2		-23613239.06	-2.361325E+07	4.632994
3		-24033679.86	-2.403364E+07	1.658506
4		-24040344.89	-2.417157E+07	5.458537
5		-24178800.40	-2.421832E+07	1.634473
6		-24222786.21	-2.423463E+07	4.889524
0	2	-10362693.49	-1.036269E+07	3.367851E-07
1		-17283263.74	-1.728328E+07	9.407945E-07
2		-19943384.65	-1.994280E+07	2.931548E-05
3		-20221638.09	-2.092476E+07	3.347708E-03
4		-21085977.77	-2.128563E+07	9.468483E-03
5		-21346515.51	-2.141769E+07	3.334244E-03
6		-21439753.44	-2.146586E+07	1.217671E-03
0	3	-4770751.092	-4.770750E+06	2.288948E-07
1		-7700217.203	-7.700228E+06	1.402168E-06
2		-9405926.943	-9.405410E+06	5.495928E-05
3		-10236516.23	-1.023629E+07	2.210029E-05
4		-10530032.19	-1.059020E+07	5.713925E-03
5		-10689509.60	-1.073116E+07	3.896381E-03
6		-10764573.99	-1.078523E+07	1.918888E-03

Hasil akhir dari analisis struktur perhitungan komputer maupun dengan perhitungan manual yang telah ditabelkan di atas menunjukkan keakuratan dari program komputer ini. Momen akhir keakuratannya menjadi lebih penting karena perencanaan beton hanya ditinjau terhadap hasil momen akhir ini.

Tabel 5.8. Validasi Momen Akhir Beban Mati (hanya ditinjau pada balok)

M	M Manual	M Komputer	% Beda
20- 19	-4260.182	-4.260187E+03	1.173659E-06
19 - 20	8109.972	8.109969E+03	3.699149E-07
19 - 18	-7536.168	-7.536170E+03	2.653869E-07
18 - 19	6826.738	60826737E+03	1.464828E-07
18 - 17	-6826.682	-6.826682E+03	0
17 - 18	7536.192	7.536194E+03	2.653860E-07
17 - 16	-8109.937	-8.109933E+03	4.932221E-07
16 - 17	4260.259	4.260264E+03	1.173638E-06
11 - 12	-9662.298	-9.662310E+03	1.241941E-06
12 - 11	14567.91	1.456448E+04	6.374033E-04
12 - 13	-13749.65	-1.347275E+04	1.956413E-04
13 - 12	12930.43	1.293043E+04	0
13 - 14	-12930.37	-1.293038E+04	7.733731E-07
14 - 13	13472.84	1.347274E+04	0
14 - 15	-14564.38	-1.456438E+04	0
15 - 14	9662.377	9.662390E+03	1.345425E-06
10 - 9	-8933.980	-8.933992E+03	1.343186E-06
9 - 10	14773.53	1.477352E+04	6.768863E-07
9 - 8	-13679.56	-1.367955E+04	7.310177E-07
8 - 9	12827.05	1.282706E+04	7.796025E-07
8 - 7	-12826.97	-1.282698E+04	7.796073E-07
7 - 8	13679.59	1.367959E+04	0
7 - 6	-14773.49	-1.477349E+04	0
6 - 7	8934.072	8.934084E+03	1.343172E-06

Tabel 5.9. Validasi Momen Akhir Beban Gempa (hanya ditinjau pada balok)

M	M Manual	M Komputer	% Beda
20- 19	4204.514	4213.713	2.187887E-03
19 - 20	3520.513	3526.986	1.838652E-03
19 - 18	2956.901	2961.534	1.566843E-03
18 - 19	3077.290	3082.810	1.793786E-03
18 - 17	3075.122	3081.188	1.972605E-03

17 - 18	2952.564	2958.291	1.939670E-03
17 - 16	3519.697	3526.075	1.812088E-03
16 - 17	4209.388	4216.757	1.750611E-03
11 - 12	10572.31	10585.22	1.221114E-03
12 - 11	9367.694	9379.958	1.309180E-03
12 - 13	8278.931	8290.504	1.397886E-03
13 - 12	8394.782	8406.311	1.204949E-03
13 - 14	8397.797	8408.129	1.230322E-03
14 - 13	8284.961	8294.141	1.108032E-03
14 - 15	9368.400	9380.354	1.275992E-03
15 - 14	10564.67	10580.55	1.503218E-03
10 - 9	16867.87	16878.06	6.041071E-04
9 - 10	14295.62	14302.05	4.497881E-04
9 - 8	12113.69	12118.77	4.193602E-04
8 - 9	12504.02	12511.50	5.982076E-04
8 - 7	12501.03	12510.18	7.319397E-04
7 - 8	12107.71	12116.13	6.954246E-04
7 - 6	14294.27	14301.91	5.344799E-04
6 - 7	16874.13	16881.73	4.503936E-04

5.4. Pembahasan

Pada gedung bertingkat perlakuan struktur akibat beban menyebabkan terjadinya distribusi gaya. Untuk mempersingkat perhitungan, perencana menganggap elemen-elemen tertentu pada bangunan portal bertingkat mengalami perlakuan gaya yang sama. Sehingga hasil perhitungan gaya-gayanya sama untuk elemen-elemen tersebut.

Pada kenyataannya elemen-elemen mempunyai perlakuan yang berbeda terhadap gaya, hal ini dapat dikarenakan beban yang bekerja dan posisi elemen pada struktur portal. Oleh karena itu, pada program ini masing-masing elemen dihitung berdasarkan gaya yang bekerja, sehingga setiap elemen dapat direncanakan sesuai dengan kenyataan.

Dengan program ini, tingkat kesalahan atau kekurangtelitian perhitungan dapat diminimalkan. Tingkat kesalahan tersebut dapat dilihat pada tabel-tabel validasi program

dengan hasil perhitungan manual, dimana nilai prosentase kesalahan sangat kecil. Hasil dari perencanaan dengan program ini menjadi lebih teliti, cermat dan efisien.

Program perencanaan gedung bertingkat ini diberi nama “UNIITS. M2”, yang merupakan pengembangan dari program UNIITS. M1 yang telah ada sebelumnya. Pada program UNIITS. M1, perencanaannya belum dilengkapi dengan cara Desain Kapasitas dan juga kemampuan untuk perhitungan analisis strukturnya masih terbatas pada 5 tingkat dengan jumlah bentang balok 2 buah. Dari hasil perhitungan seperti pada model kajian, waktu yang dibutuhkan untuk perhitungan analisis struktur dan perencanaan struktur beton dengan cara manual relatif lama. Dengan menggunakan program ini, perencanaan gedung bertingkat tersebut dapat diselesaikan dengan waktu yang jauh lebih cepat.

5.4.1. Gaya Gempa

Wilayah Indonesia termasuk daerah rawan gempa atau dengan kata lain termasuk wilayah dengan tingkat resiko gempa yang cukup tinggi. Oleh karena itu, setiap perencanaan gedung harus memperhitungkan pengaruh gaya gempa yang bekerja pada struktur gedung tersebut. Mekanisme keruntuhan struktur harus direncanakan terlebih dahulu, yaitu dengan terbentuknya sendi-sendi plastis pada balok yang lebih diharapkan dari pada terbentuk pada kolom. Perencanaan gedung dengan metoda Desain Kapasitas merupakan metoda yang paling sesuai untuk perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa karena pada metoda ini terbentuknya sendi-sendi plastis direncanakan terbentuk pada balok-balok. Pada program ini, beban gempa yang bekerja dihitung berdasarkan PPKGURDG 1987.

Dari hasil validasi menunjukkan bahwa tingkat kesalahan sangat kecil. Dengan demikian program ini dapat digunakan untuk menghitung gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur.

5.4.2. Analisis Struktur

Analisis struktur dengan metoda Takabeya dipakai pada program ini karena mempunyai kemudiam pada sistematika perhitungannya. Kesalahan yang sering terjadi pada perhitungan manual adalah pada perhitungan distribusi momen awal dan distribusi momen penggoyangan. Disamping pada waktu pembulatan angka-angkanya, juga karena harus dilakukan secara beriterasi. Hal ini sangat memungkinkan terjadinya kesalahan hitungan.

Kesalahan-kesalahan tersebut dapat dihindari dengan menggunakan program ini, karena tingkat pembulatan pada perhitungan dengan komputer bisa sangat kecil, dan ketelitian hitungan beriterasi dengan komputer ketelitiannya jauh lebih baik.

Karena metoda Takabeya merupakan perhitungan gaya yang beriterasi, maka momen distribusi awal dan momen distribusi penggoyangan akan mempunyai nilai yang berulang-ulang pada setiap join struktur tertentu. Untuk mendapatkan nilai yang benar pada berapapun perputaran momen distribusi yang dilakukan, maka nilai akhir distribusi tersebut harus dikoreksi untuk memastikan bahwa perhitungan sudah benar.

5.4.3. Perencanaan Beton

Dalam perencanaan beton ada 2 cara perhitungannya, yaitu analisis dan desain beton. Pada analisis beton penampang sudah direncanakan akan mampu menahan gaya rencana. Atau dengan kata lain, akhir dari analisis beton adalah kontrol terhadap gaya

rencana. Dalam analisis beton nilai gaya rencana dan gaya kapasitas tampang dapat berbeda jauh karena adanya pembulatan dan persyaratan-persyaratan dari peraturan yang digunakan. Untuk desain beton, gaya rencana digunakan untuk menentukan dimensi tampang dan tulangan yang digunakan, sehingga nilai kapasitas gaya dan gaya rencana akan berbeda sedikit.

Pada program ini, selain untuk perencanaan struktur portal juga untuk perencanaan tiap-tiap elemen. Pada perencanaan portal digunakan desain untuk balok dan analisis untuk kolom.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Sebagai kesimpulan dari apa yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, banyak hal yang timbul sebagai suatu masukan.

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan komputer sangat membantu dalam mempercepat perhitungan, terutama sekali pada perhitungan analisis struktur karena merupakan hitungan yang beriterasi dan berulang-ulang.
2. Dengan program ini, perhitungan analisis struktur dapat terhindar dari kesalahan analisis, lebih cermat dan teliti.
3. Perbandingan hasil perhitungan desain kapasitas antara SK SNI T-15-1991-03 dan New Zealand Code adalah :
 - a. perhitungan New Zealand Code lebih kompleks dibandingkan dengan SK SNI T-15-1991-03,
 - b. hasil akhir momen kolom, gaya lintang kolom dan gaya aksial kolom lebih besar New Zealand Code dibandingkan dengan SK SNI T-15-1991-03,

6.2. Saran

Kami menyadari bahwa program ini belumlah sempurna, perlu dilengkapi sehingga bisa merupakan suatu program yang terpadu dan utuh untuk perencanaan suatu struktur gedung bertingkat. Hal-hal yang dapat dilakukan untuk melengkapi dan menyempurnakan program ini adalah :

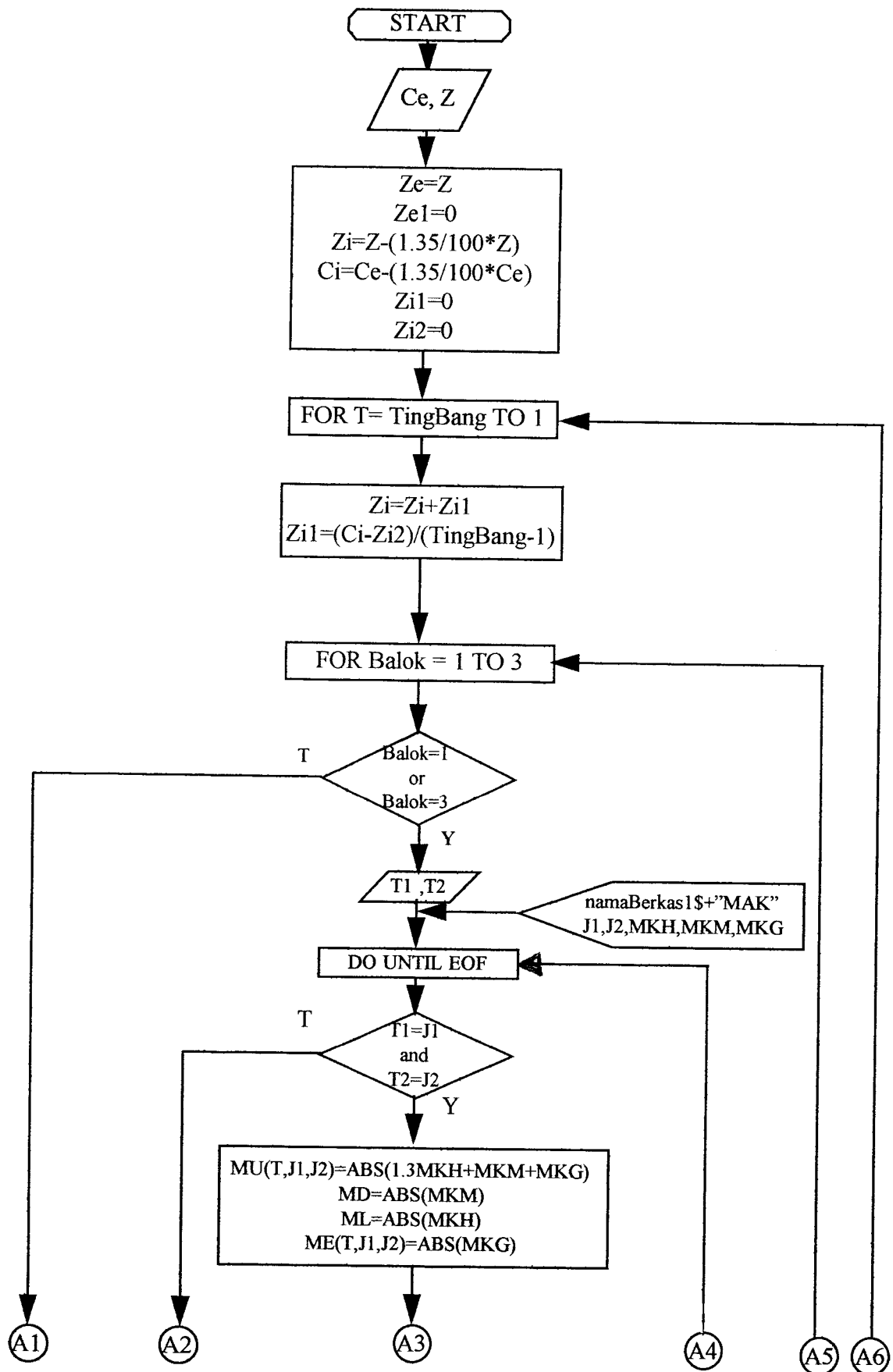
1. untuk lebih mempermudah pemakaian input data pada awal program dibuat lebih singkat,
2. pada struktur gedung tentunya tidak hanya beban terbagi merata yang bekerja, oleh karena itu perlu diperhitungkan juga adanya beban titik yang bekerja,
3. pengembangan perhitungan struktur beton dengan tinjauan terhadap geser dan puntir,
4. mengembangkan program ini dengan kemampuan gambar portal dan gambar penulangan elemen-elemen struktur portal.

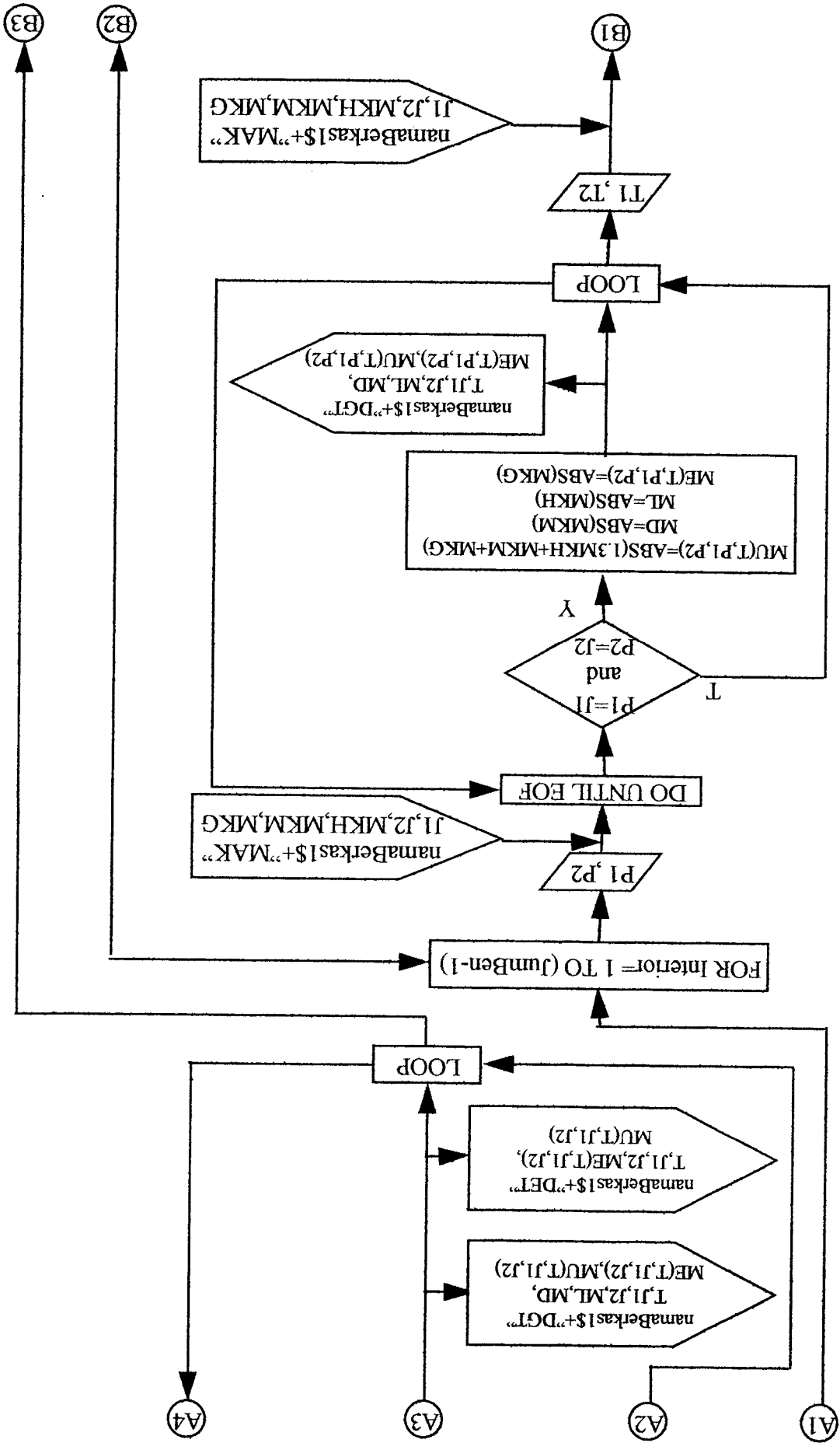
DAFTAR PUSTAKA

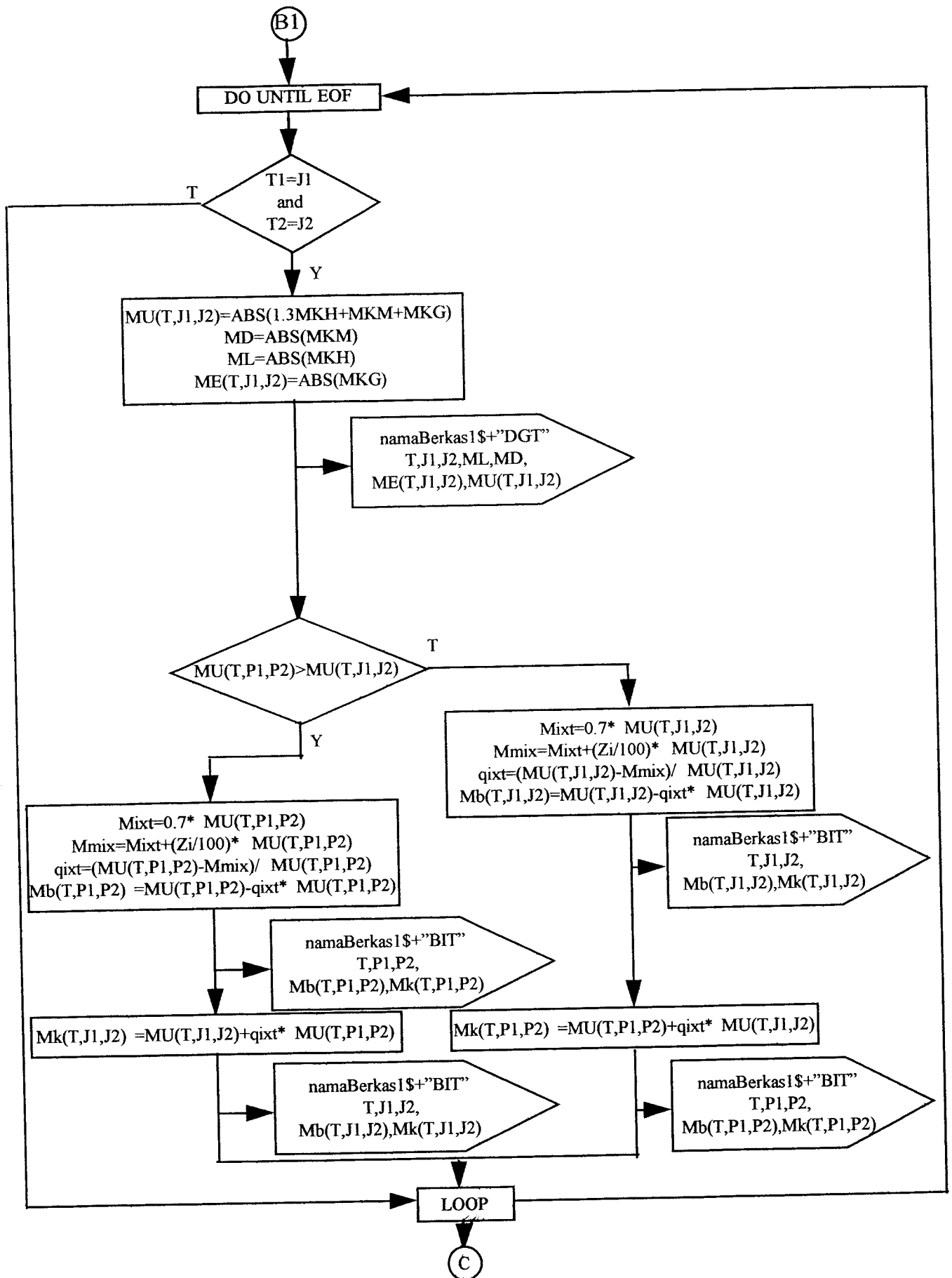
1. Paulay T, Priestley N, 1992, Reinforced Concrete Structure and Masonry Bulding, New Zealand.
2. Chu Kia Wang, Charles G Salmon, Binsar Harianja, 1987, Desain Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
3. Gideon Kusuma, 1993, Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, Erlangga, Jakarta.
4. Istimawan Dipohusodo, 1994, Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
5. _____, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung, SK SNI T-15-1991-03, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum.
6. _____, Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung, Yayasan Badan Penerbit PU, Departemen Pekerjaan Umum.
7. _____, Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum.
8. Takabeya, Kerangka Bertingkat Banyak, Erlangga, Jakarta.
9. Riyanto Tosin, Yusuf Bahar M, 1992, Quick Basic, Dinastindo, Jakarta.
10. P. Insap Santoso, 1991, Program-program Terapan Menggunakan Quick Basic, Andi Offset, Yogyakarta.

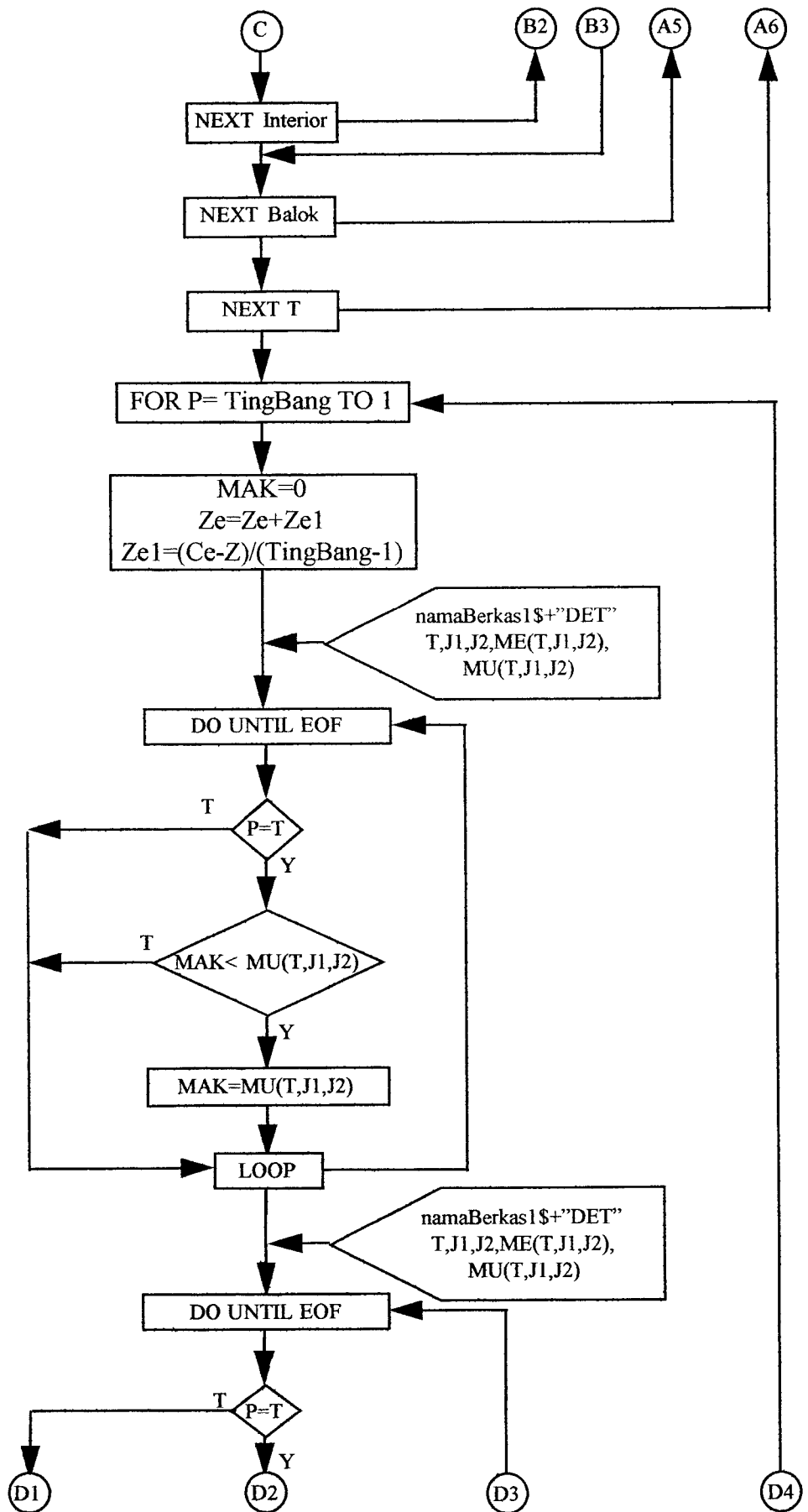
LAMPIRAN

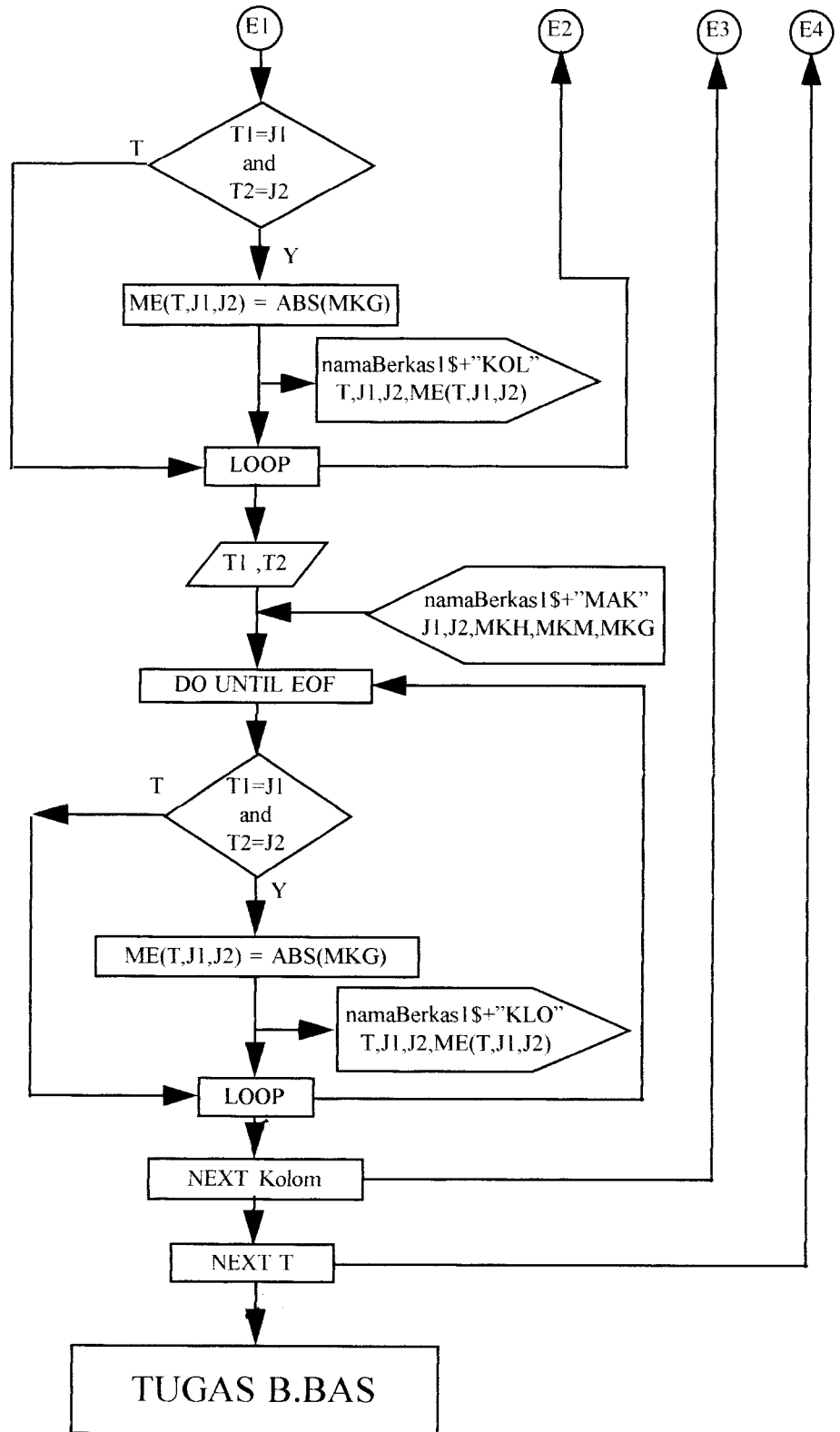
FLOW CHART CAPACITY DESIGN



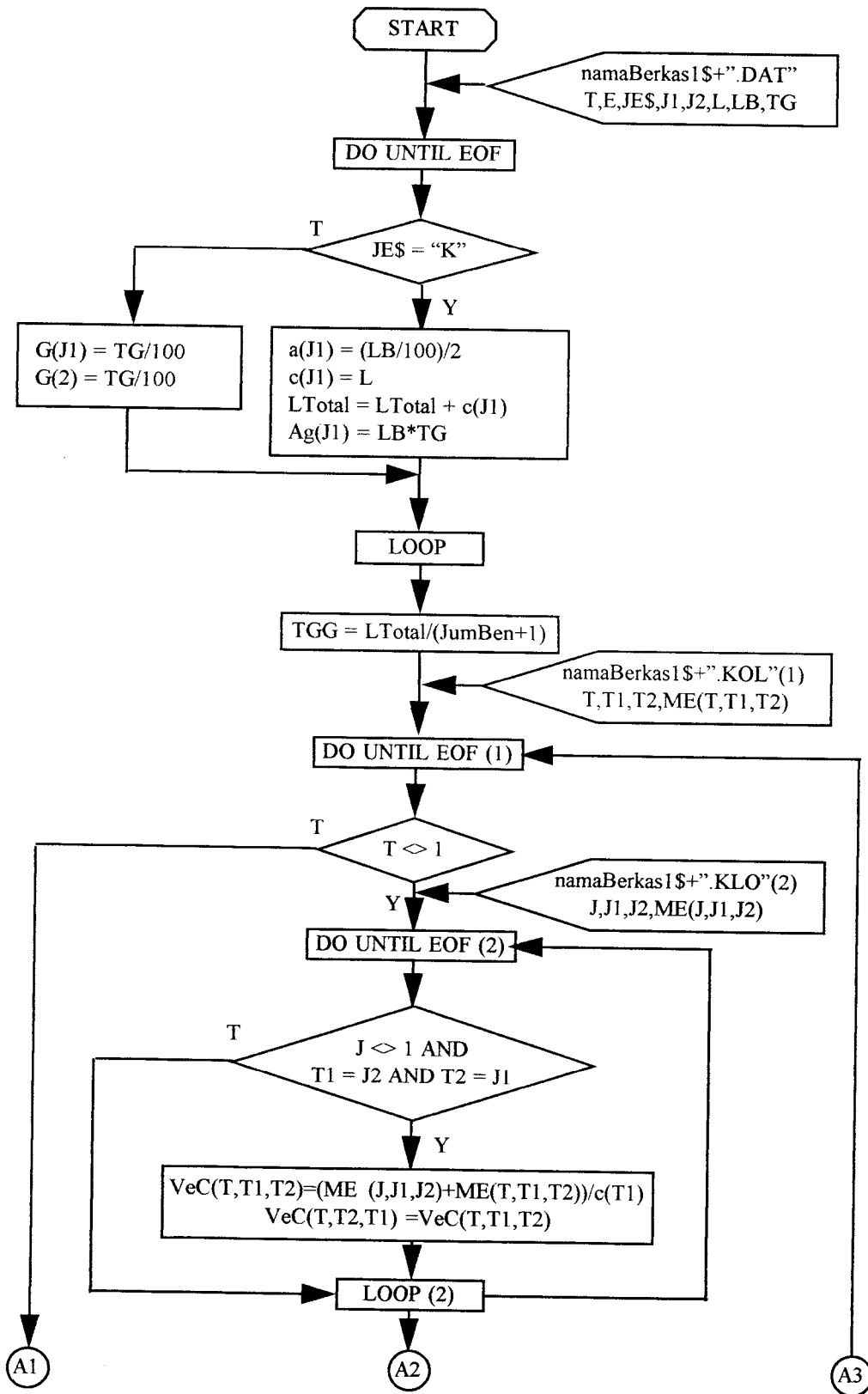


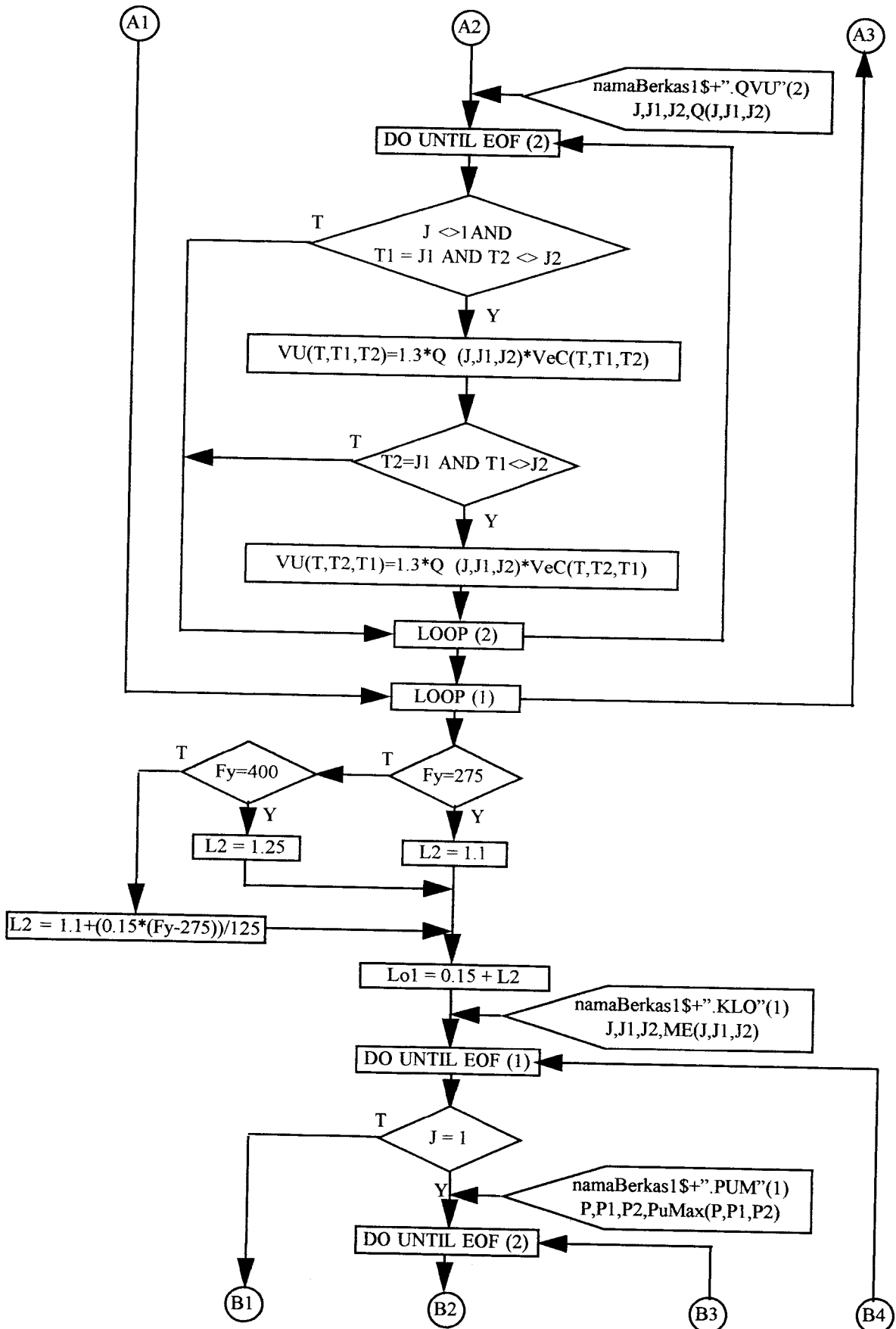


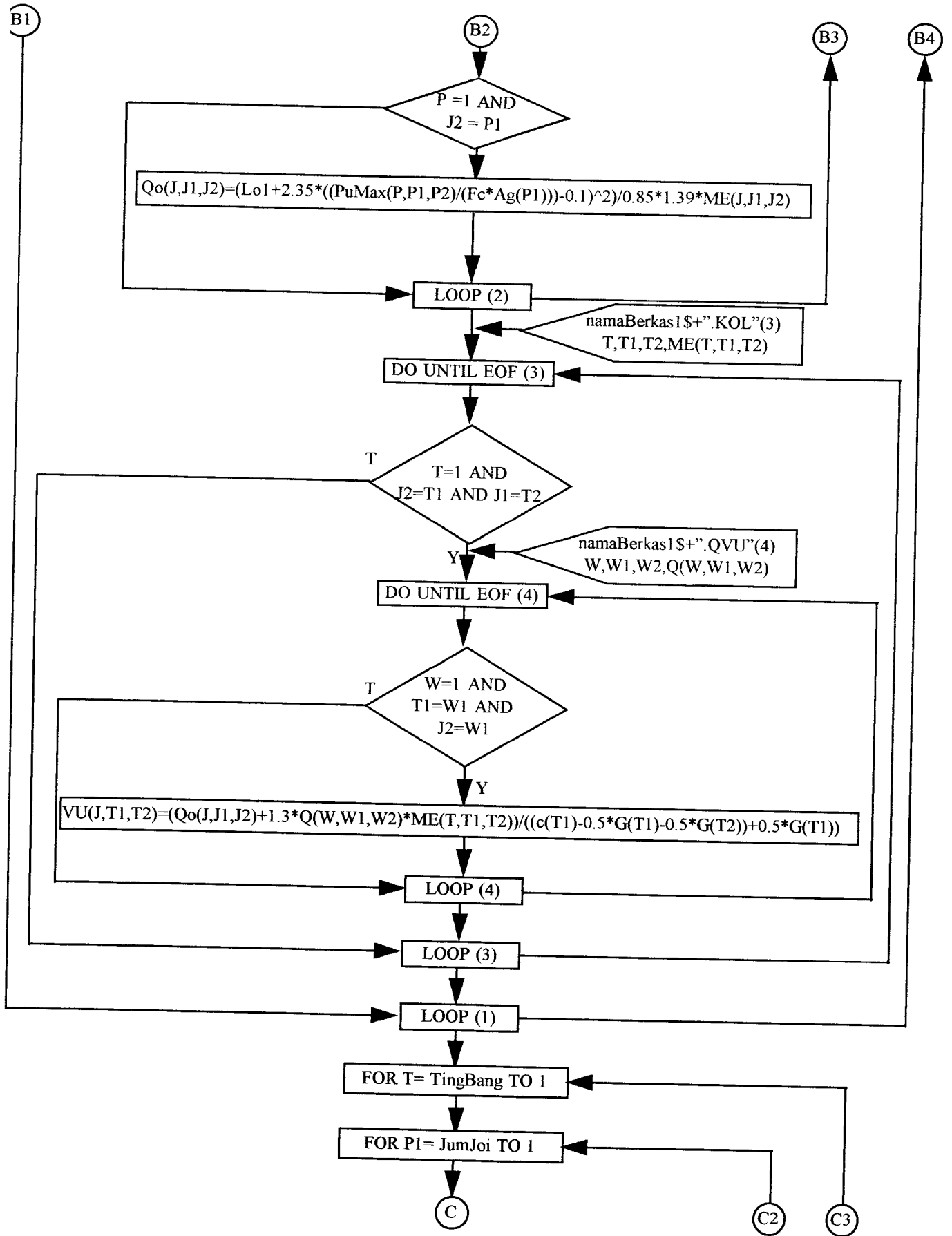


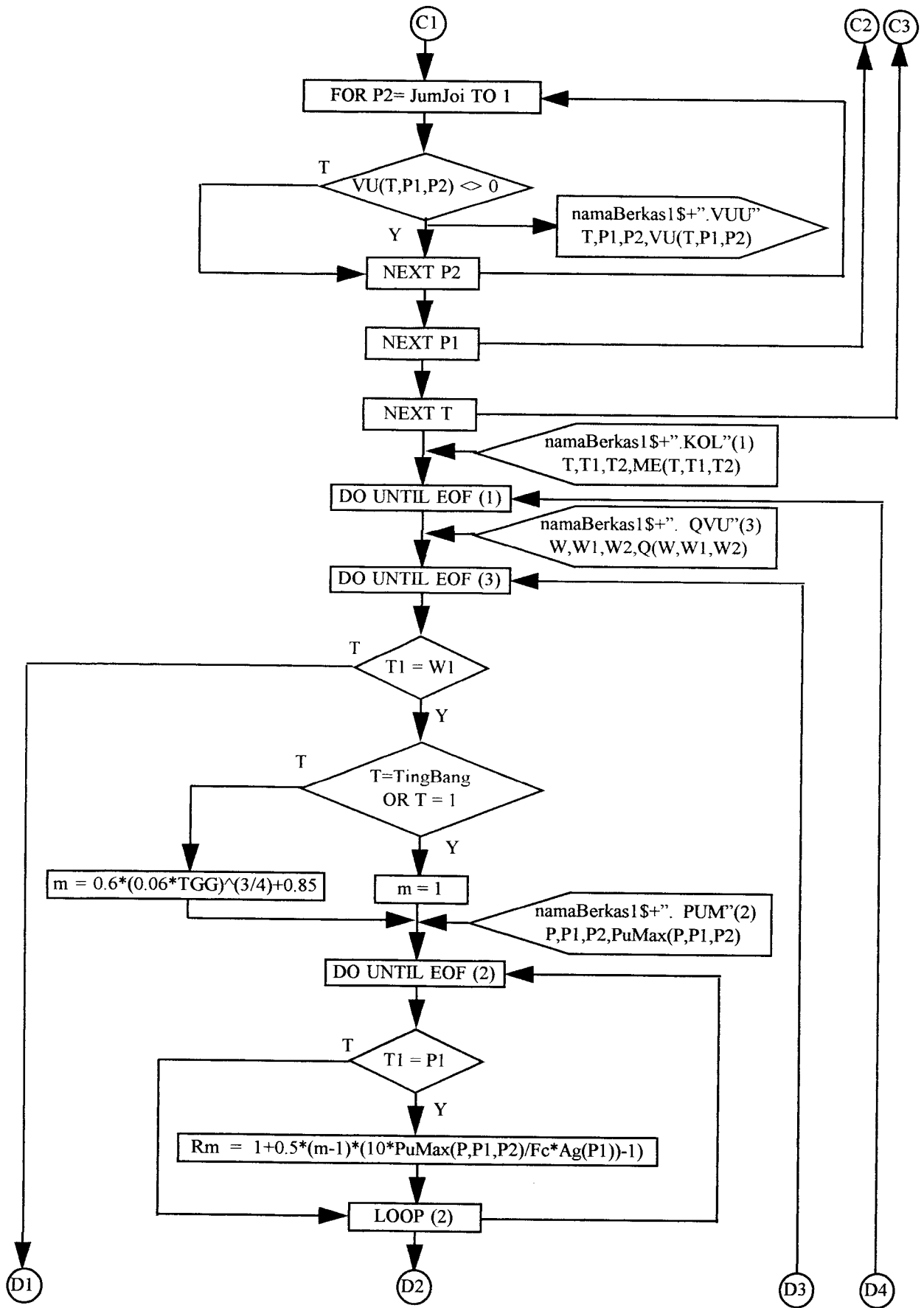


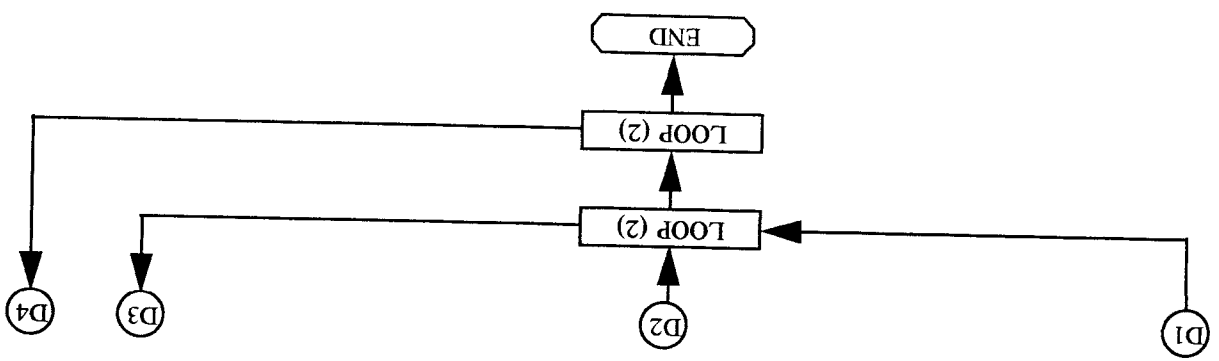
Flow Chart Sub Kolom



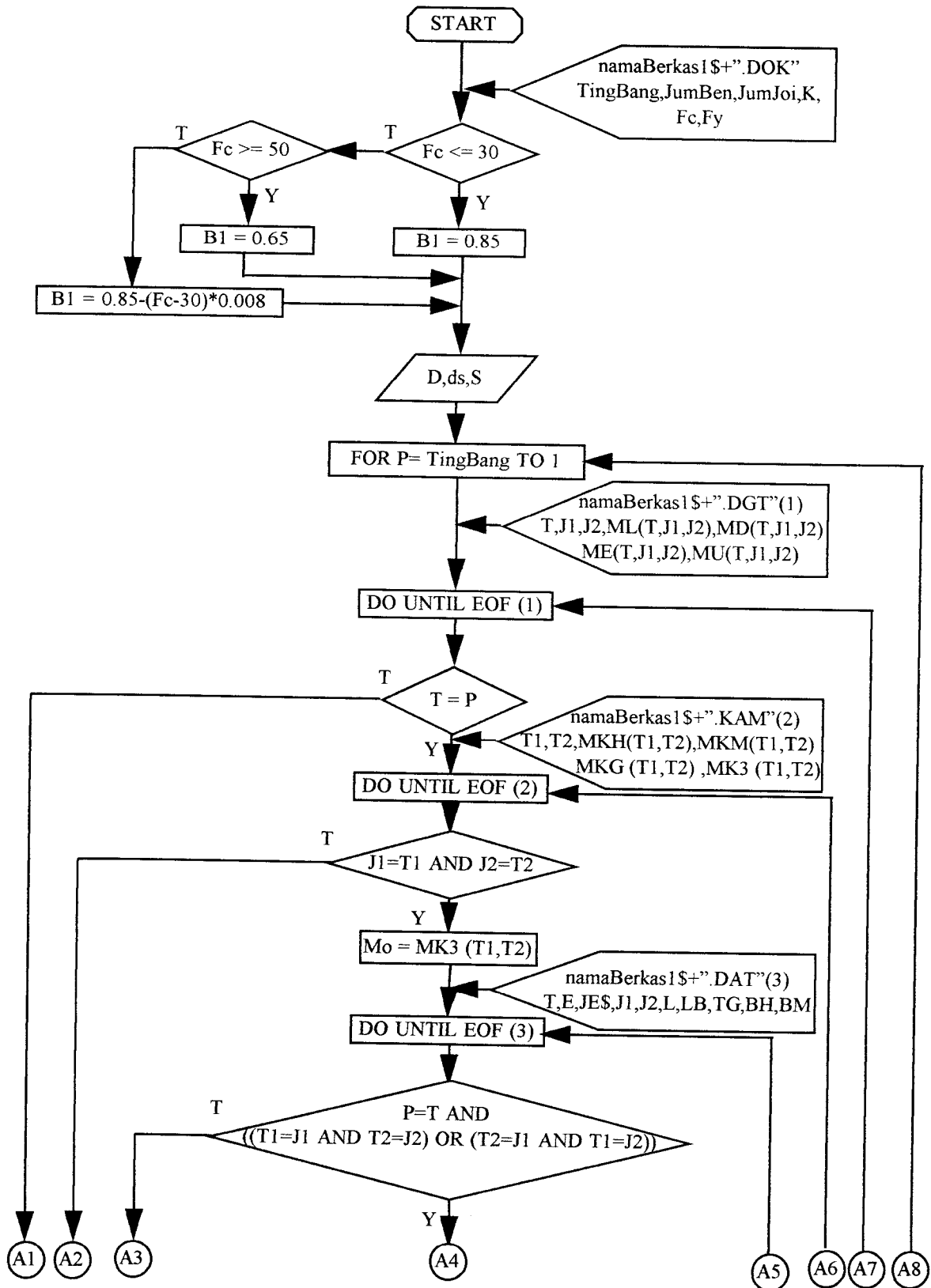


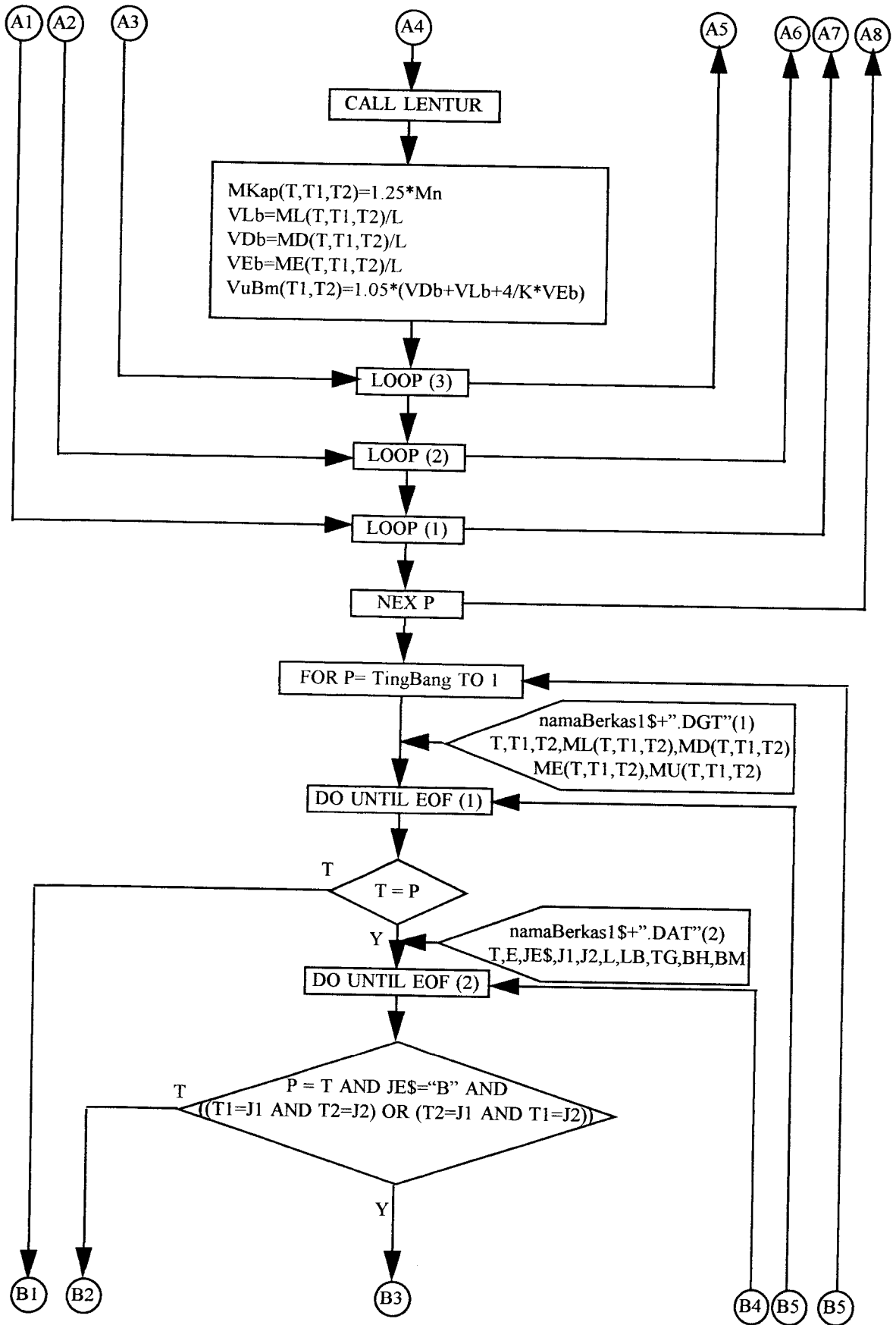


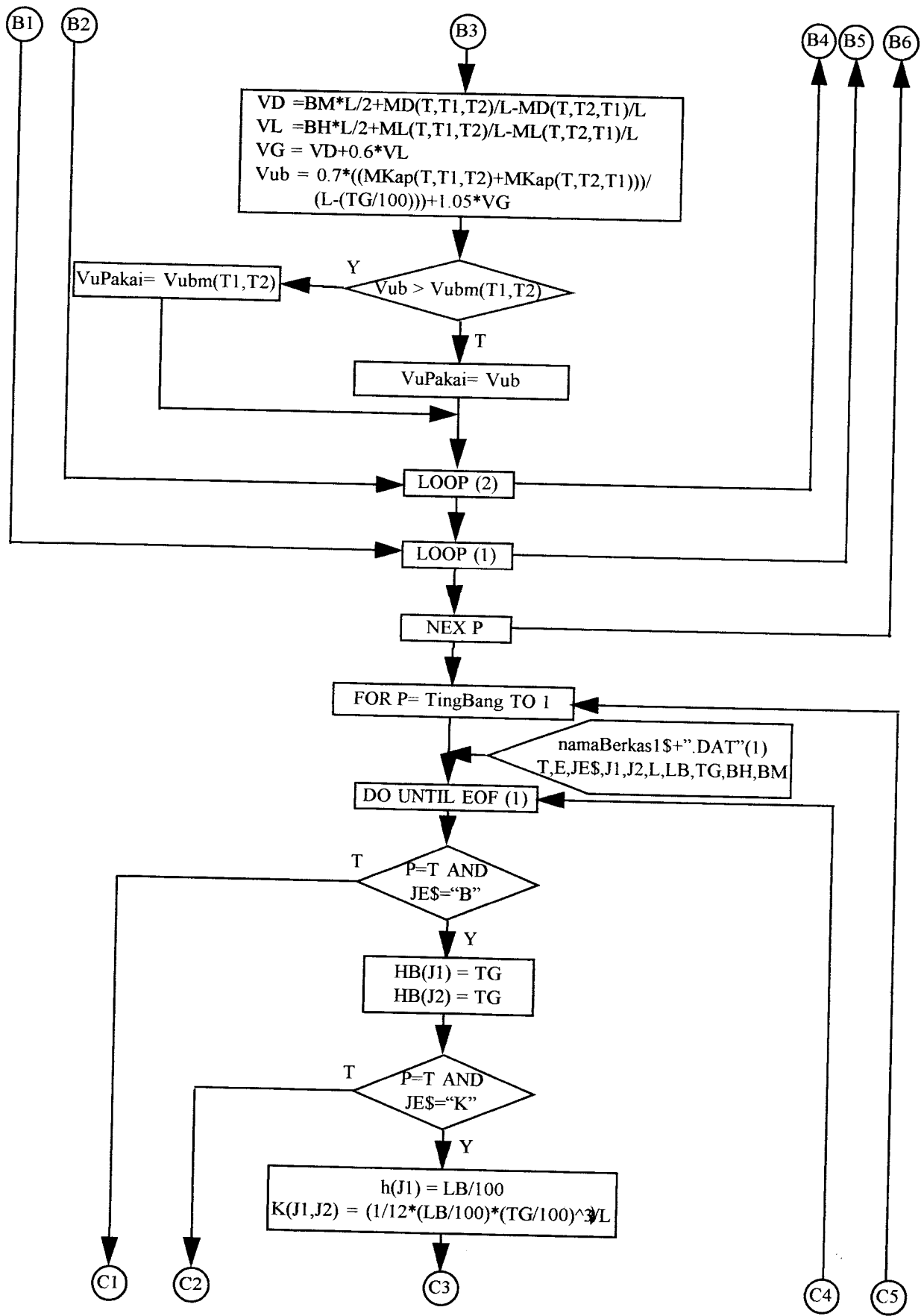


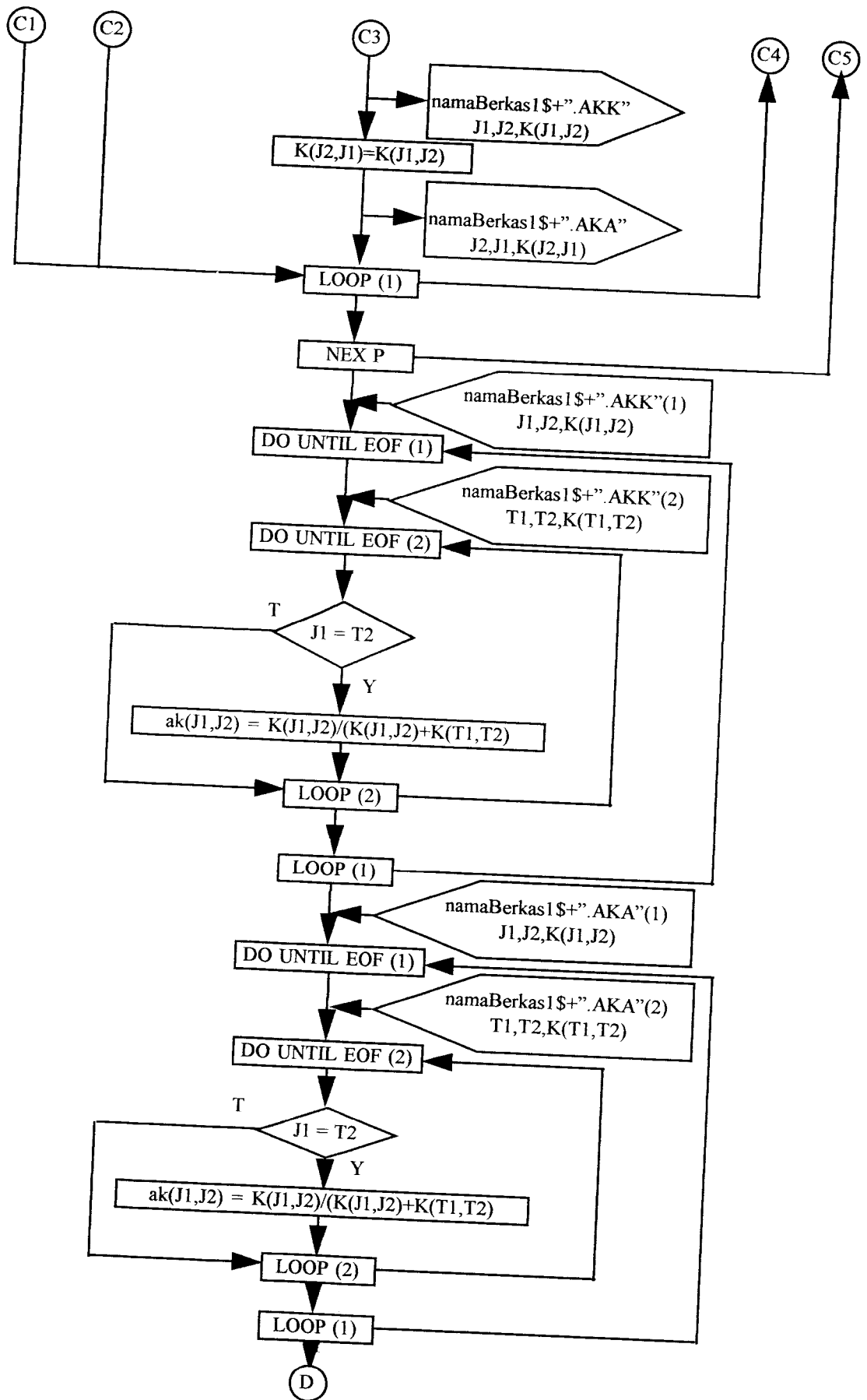


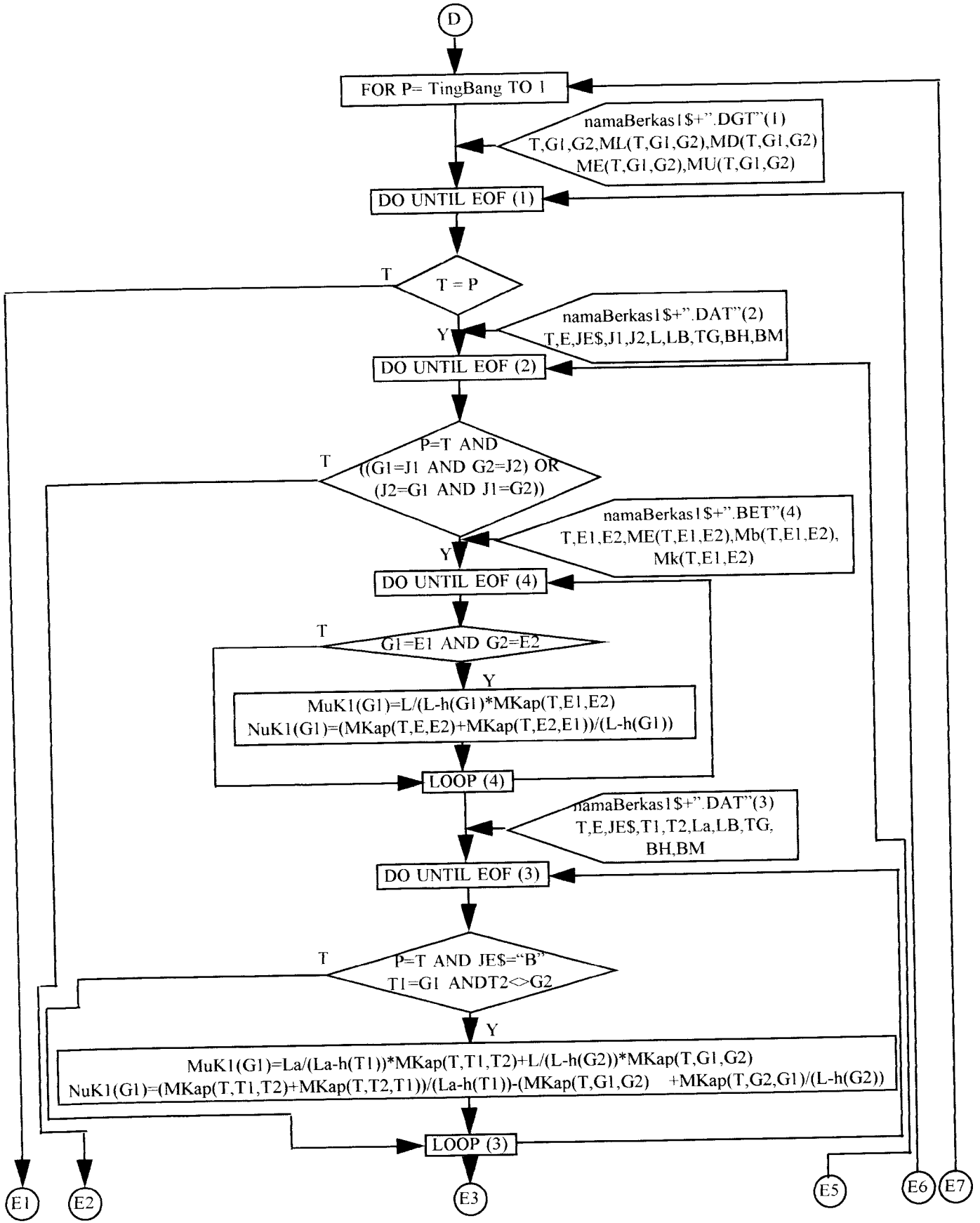
Flow Chart Desain Capacitas SK SNI T-15-1991-03

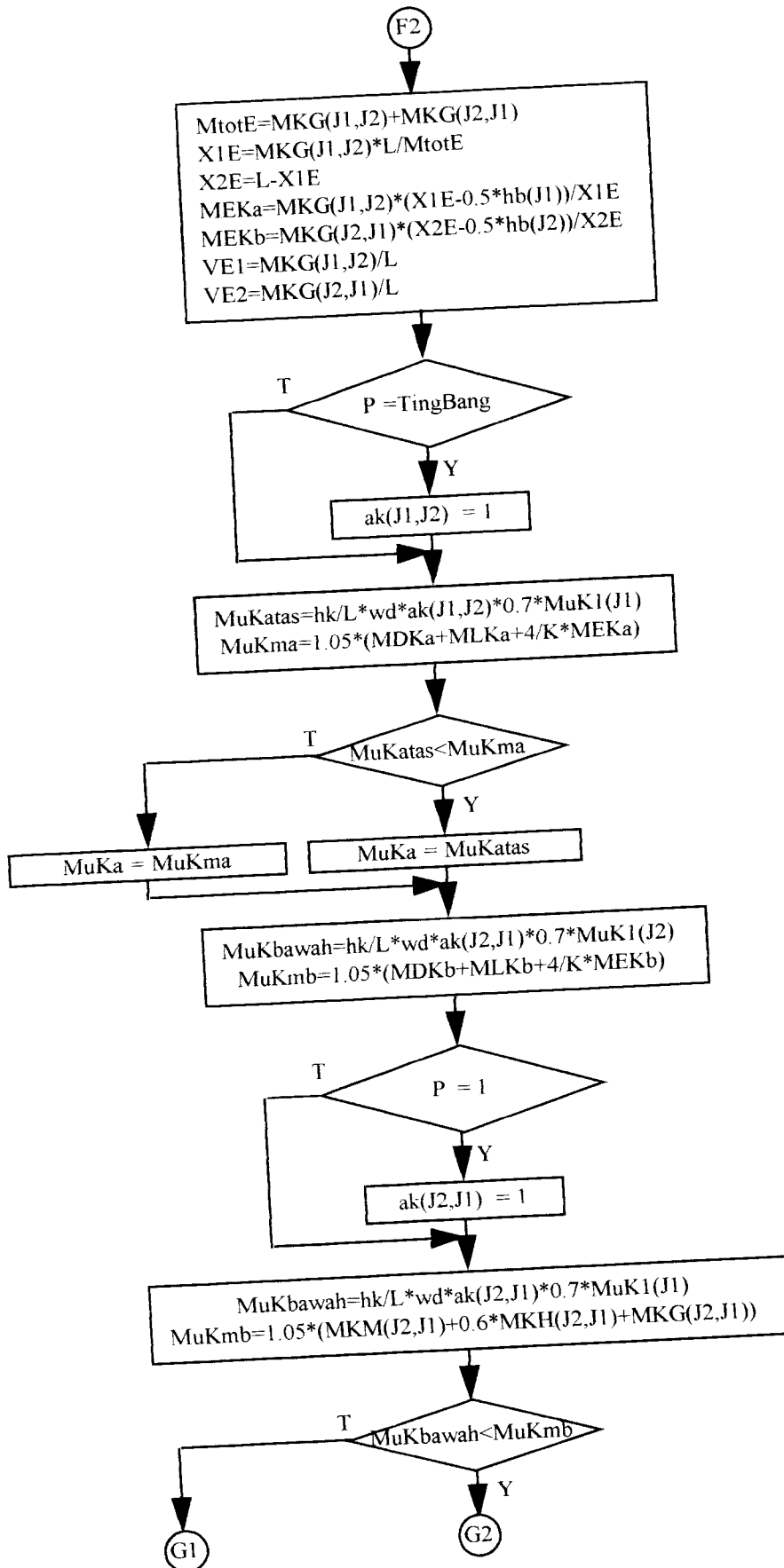




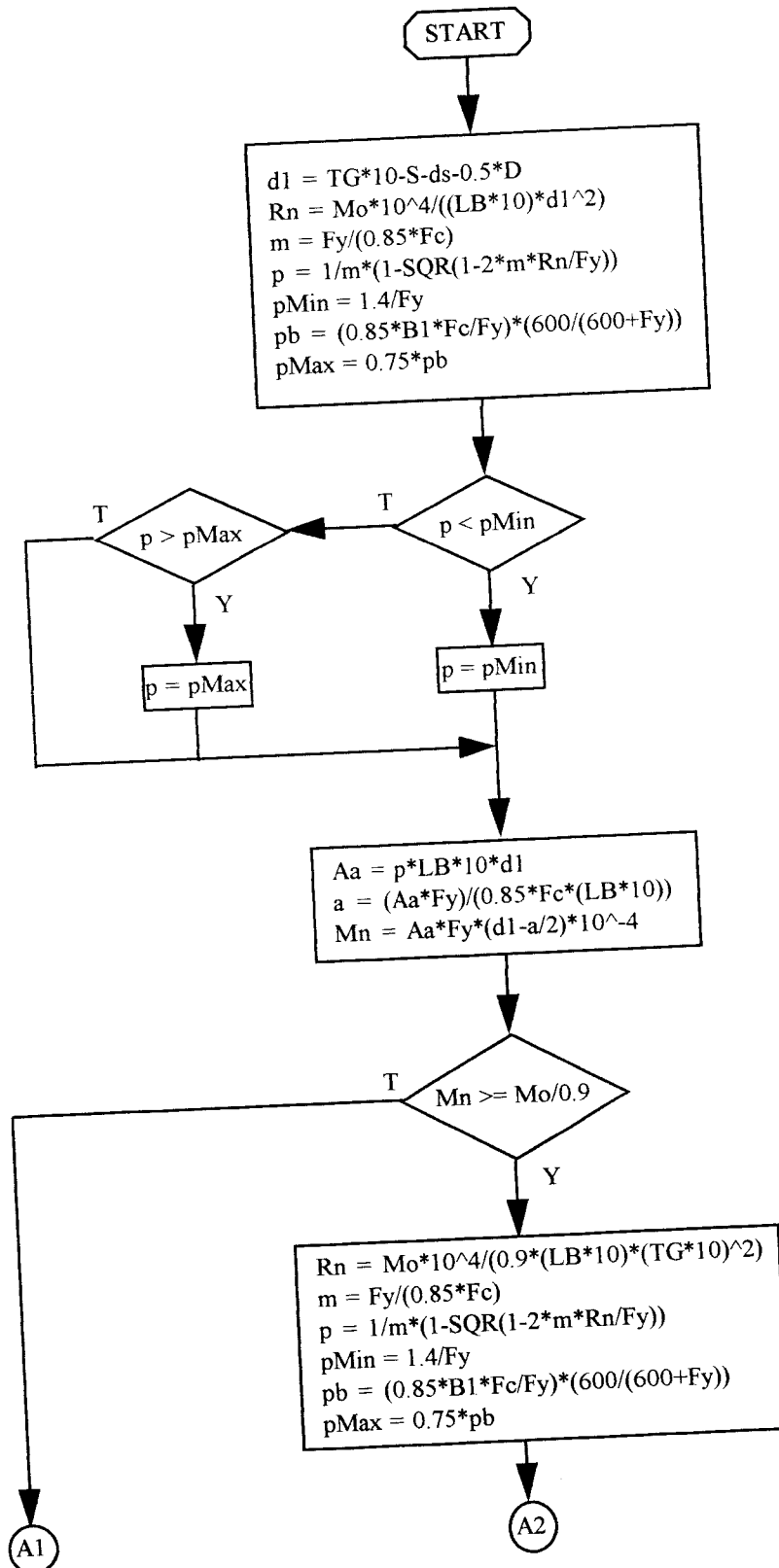


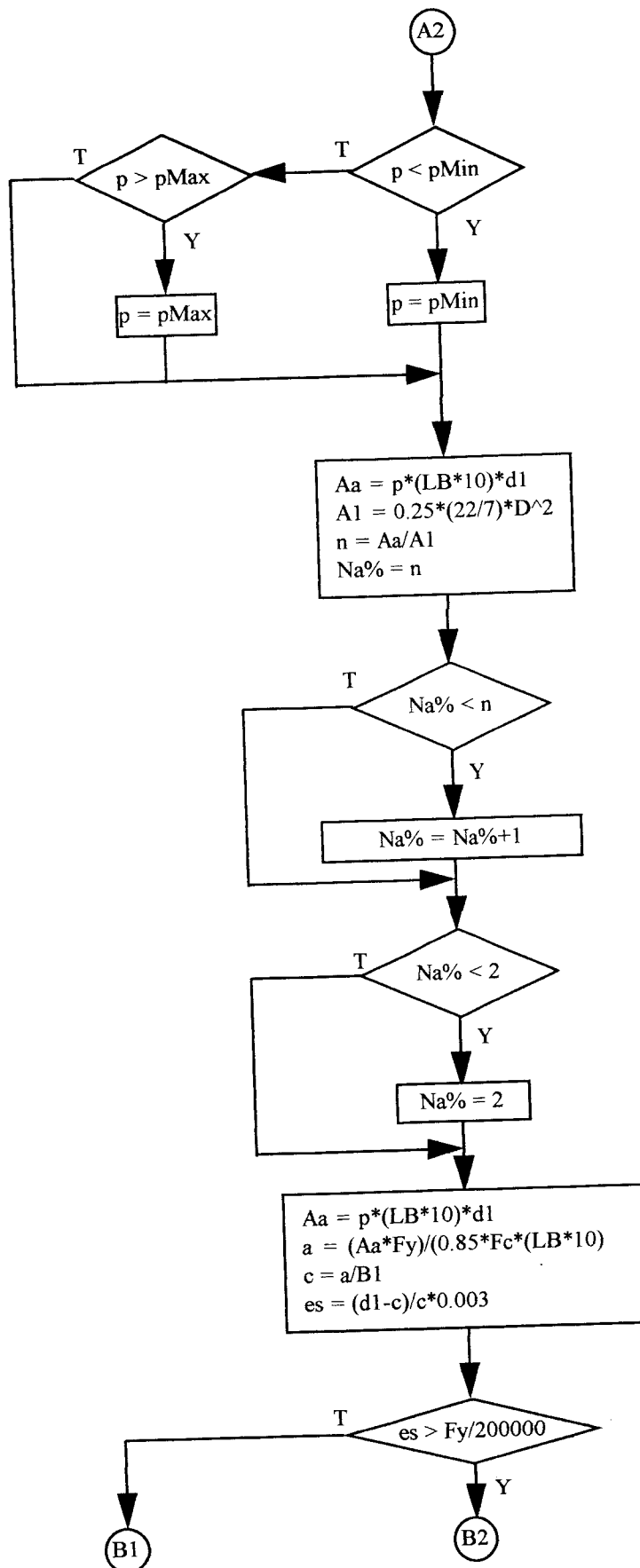


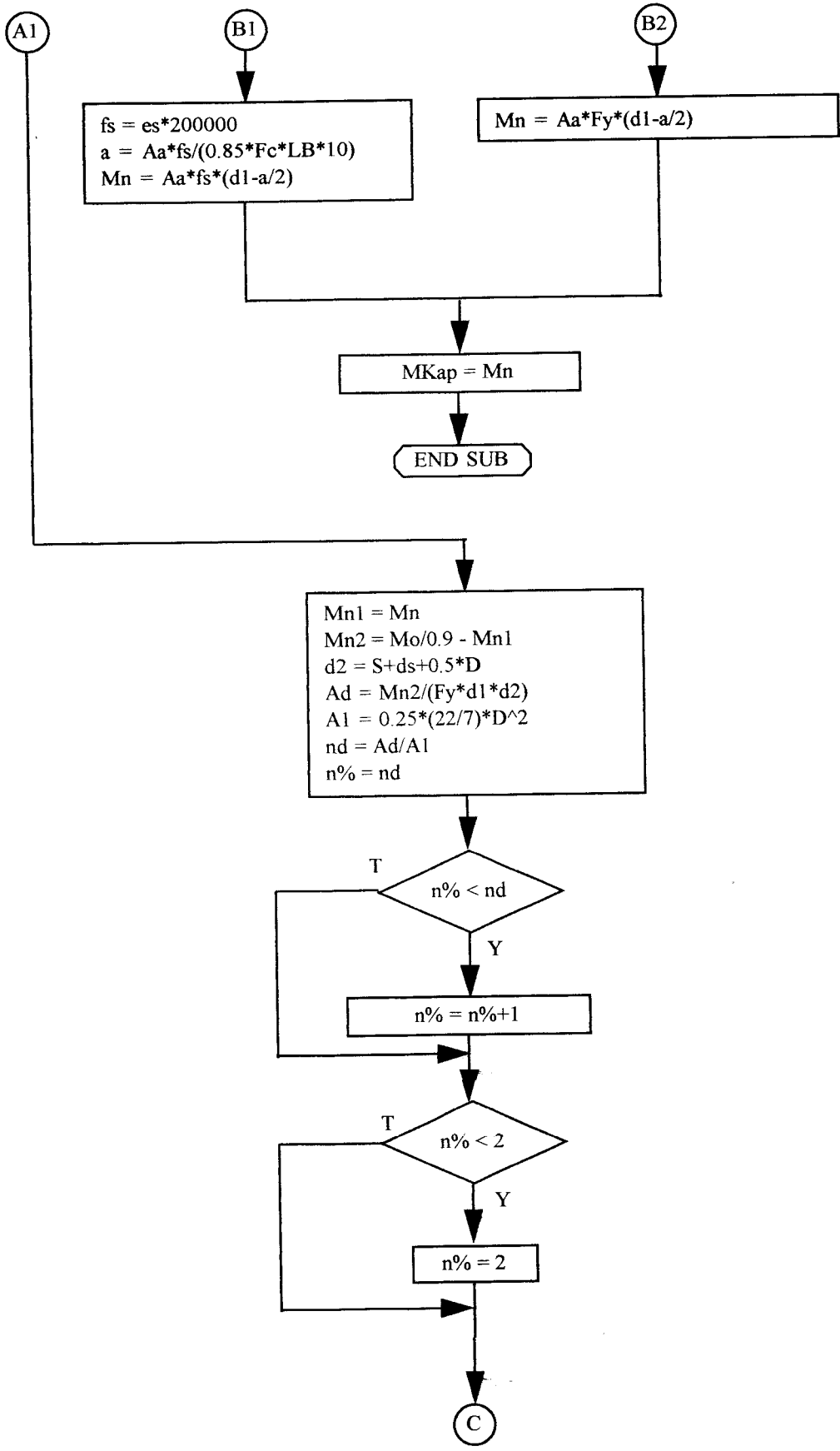




Flow Chart Sub Lentur







$fs = es \cdot 200000$
 $a = \frac{Aa \cdot fs}{0.85 \cdot Fc \cdot LB \cdot 10}$
 $Mn = Aa \cdot fs \cdot (d1 - a/2)$

$Mn = Aa \cdot Fy \cdot (d1 - a/2)$

$MKap = Mn$

END SUB

$Mn1 = Mn$
 $Mn2 = Mo/0.9 - Mn1$
 $d2 = S + ds + 0.5 \cdot D$
 $Ad = \frac{Mn2}{Fy \cdot d1 \cdot d2}$
 $A1 = 0.25 \cdot (22/7) \cdot D^2$
 $nd = Ad/A1$
 $n\% = nd$

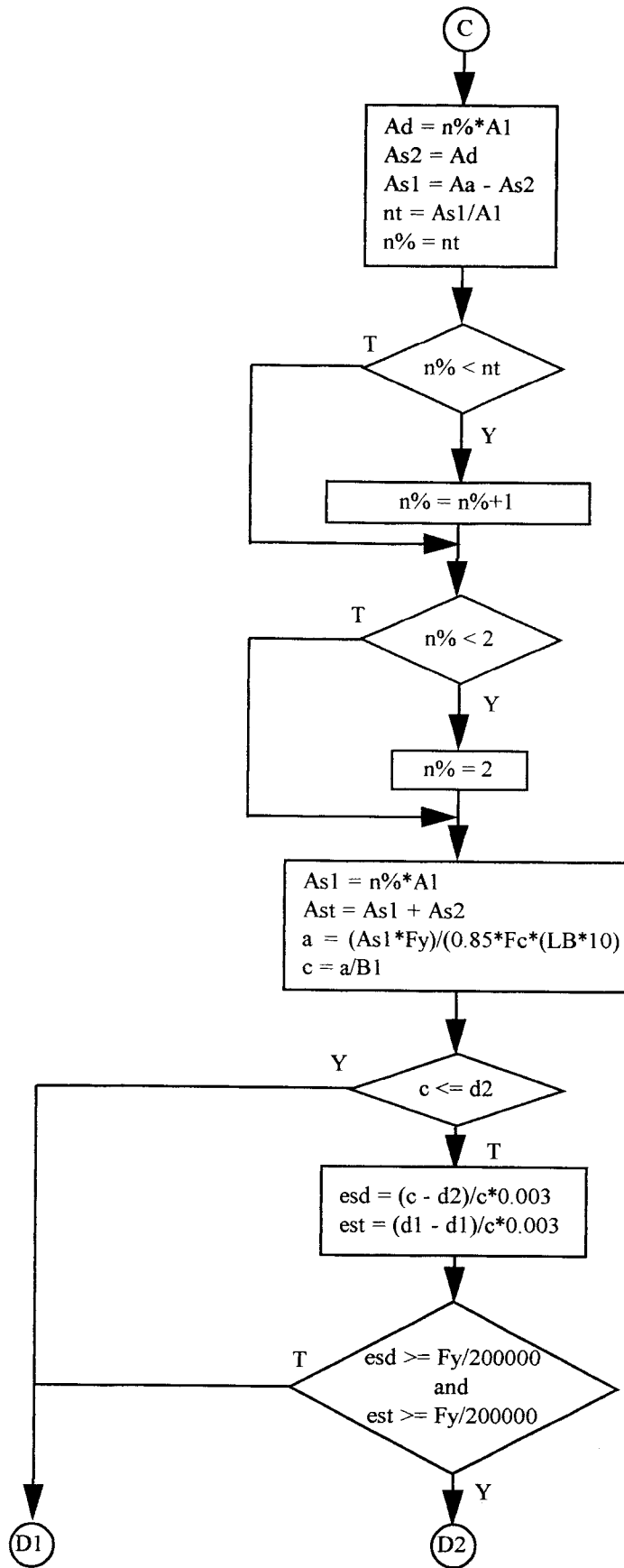
T
 n% < nd

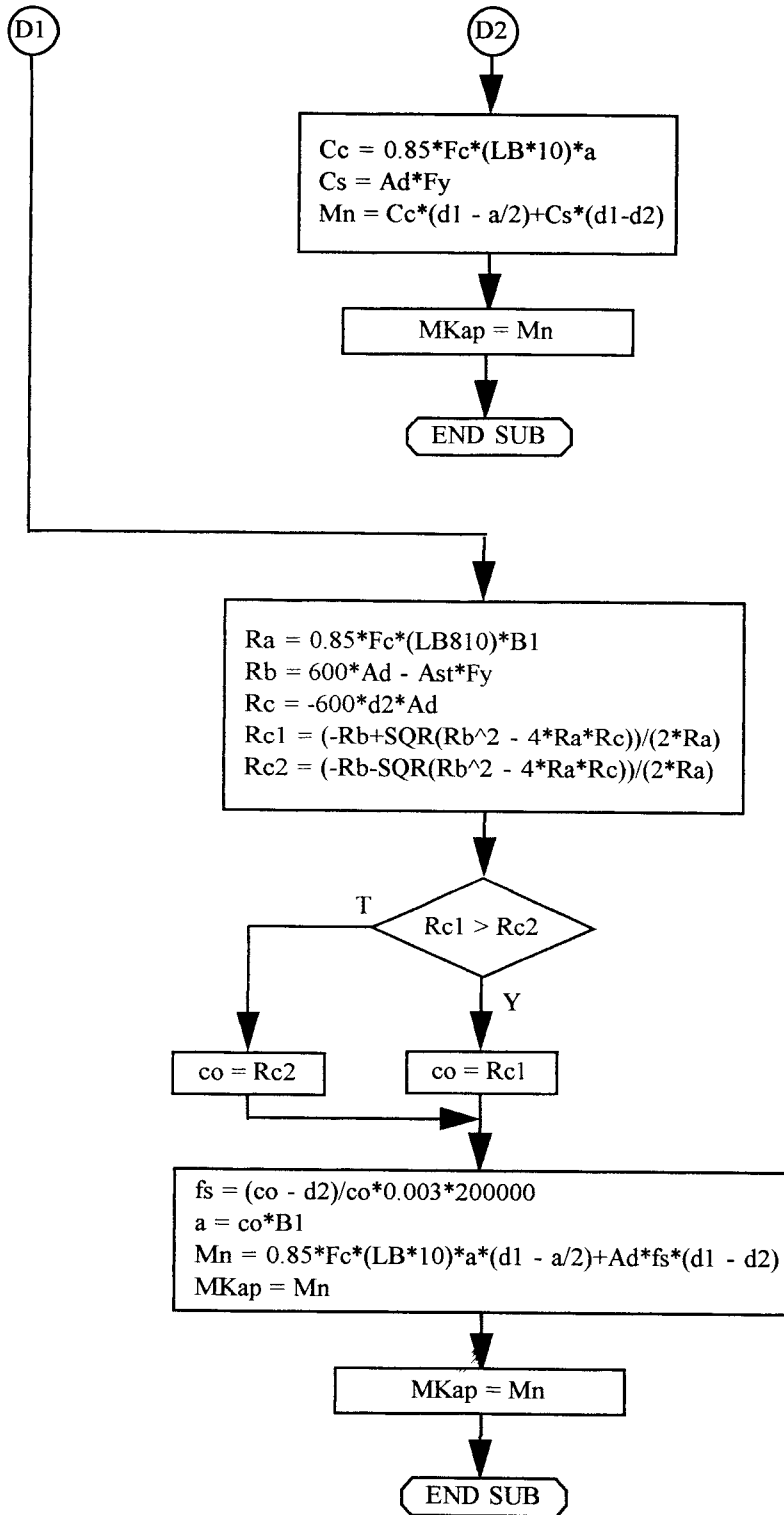
Y
 $n\% = n\% + 1$

T
 n% < 2

Y
 $n\% = 2$

C





Perhitungan Manual Beban Gempa

1. Beban Total Portal (W_t)

a). Beban Atap (W_3)

$$\begin{aligned} W_3 &= 4.1635.7,2 + 5.(0,45.0,45.2400).3,5 + 0,5.446.4.7,2 \\ &= 62015,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

b). Beban Lantai ($W_1 - W_2$)

$$\begin{aligned} W_2 &= 4.3035.7,2 + 5.(0,45.0,45.2400).3,5 + 0,5.743.4.7,2 \\ &= 106612,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= 4.3035.7,2 + 5.(0,45.0,45.2400).4 + 0,5.743.4.7,2 \\ &= 107872,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{maka, } W_t = W_1 + W_2 + W_3$$

$$= 276454,8 \text{ kg}$$

2. Waktu getar alami (T), adalah :

$$\begin{aligned} T &= 0,006. H^{3/4} \\ &= 0,006. 11^{3/4} = 0,362406 \end{aligned}$$

3. Koefisien gempa dasar (C),

$$T = 0,362406 \Rightarrow C = 0,09$$

4. Beban geser horisontal (V),

$$\begin{aligned} V &= C. I. K. W_t \\ &= 0,09. 1,5. 1. 276454,8 = 37321,398 \text{ kg} \end{aligned}$$

5. Distribusi gaya geser,

$$F_i = \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i} \cdot V$$

Tgt	Hi	Wi	Wi.Hi	Fi	V
3	11	62015.40	682169.40	13308.201	13308.201
2	7.5	106612.20	799591.50	15598.947	28907.148
1	4	107827.20	431308.80	8414.250	37321.398
			Σ 1913069.70		

6. Checking berdasarkan rumus T Rayleigh,

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

$$= 4700 \cdot \sqrt{30} \quad \text{MPa}$$

$$= 25742,96 \text{ MPa} = 257429,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 1/12 \cdot 45 \cdot (45)^3$$

$$= 341718,8 \text{ cm}^4$$

$$= 3.417188\text{E-}03 \text{ m}^4$$

ki = kekakuan tiap kolom pada lantai ke-i

$$= 12 \cdot E \cdot I / L^3$$

$$k_{i.3} = 12 \cdot 257429,6 \cdot 341718,8 / (350)^3$$

$$= 24620,93$$

$$k_{i.2} = 12 \cdot 257429,6 \cdot 341718,8 / (350)^3$$

$$= 24620,93$$

$$k_{i.1} = 12 \cdot 257429,6 \cdot 341718,8 / (400)^3$$

$$= 16494,10$$

$$K_i = \sum k_i$$

$$K_{i.3} = 5. 24620,93$$

$$= 123104,64$$

$$K_{i.2} = 5. 24620,93$$

$$= 123104,64$$

$$K_{i.1} = 5. 16494,10$$

$$= 82470,49$$

Tgt	Vi	Ki	Δ_i	δ_i
3	13308.201	123104.64	0.1081048	0.7954650
2	28907.148	123104.64	0.2348177	0.6873602
1	37321.398	82470.490	0.452425	0.452425

dengan :

$$\Delta_i = V_i / K_i \text{ dan } \delta_i = \Sigma \Delta_i$$

Tgt	δ	Wi	Fi	Wi. δ^2	Fi. δ
3	0.7954650	62015.400	13308.201	39241.148	10586.208
2	0.6873602	106612.20	15598.947	50370.431	10722.095
1	0.4525425	107827.20	8414.2500	22082.441	3807.806
				111694.020	25116.109

$$T = 2. \pi. \sqrt{\frac{\Sigma(W_i. \delta^2)}{g. \Sigma(F_i. \delta)}}$$

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{111694.020}{9,81.(25116.109). 100}}$$

$$= 0,424175 \text{ det.}$$

7. Perhitungan ulang gaya geser

a. Koefisien gempa dasar (C),

$$T = 0,424175 \text{ det} \Rightarrow C = 0,09$$

b. Beban geser horisontal

$$V = C.I.K.Wt$$

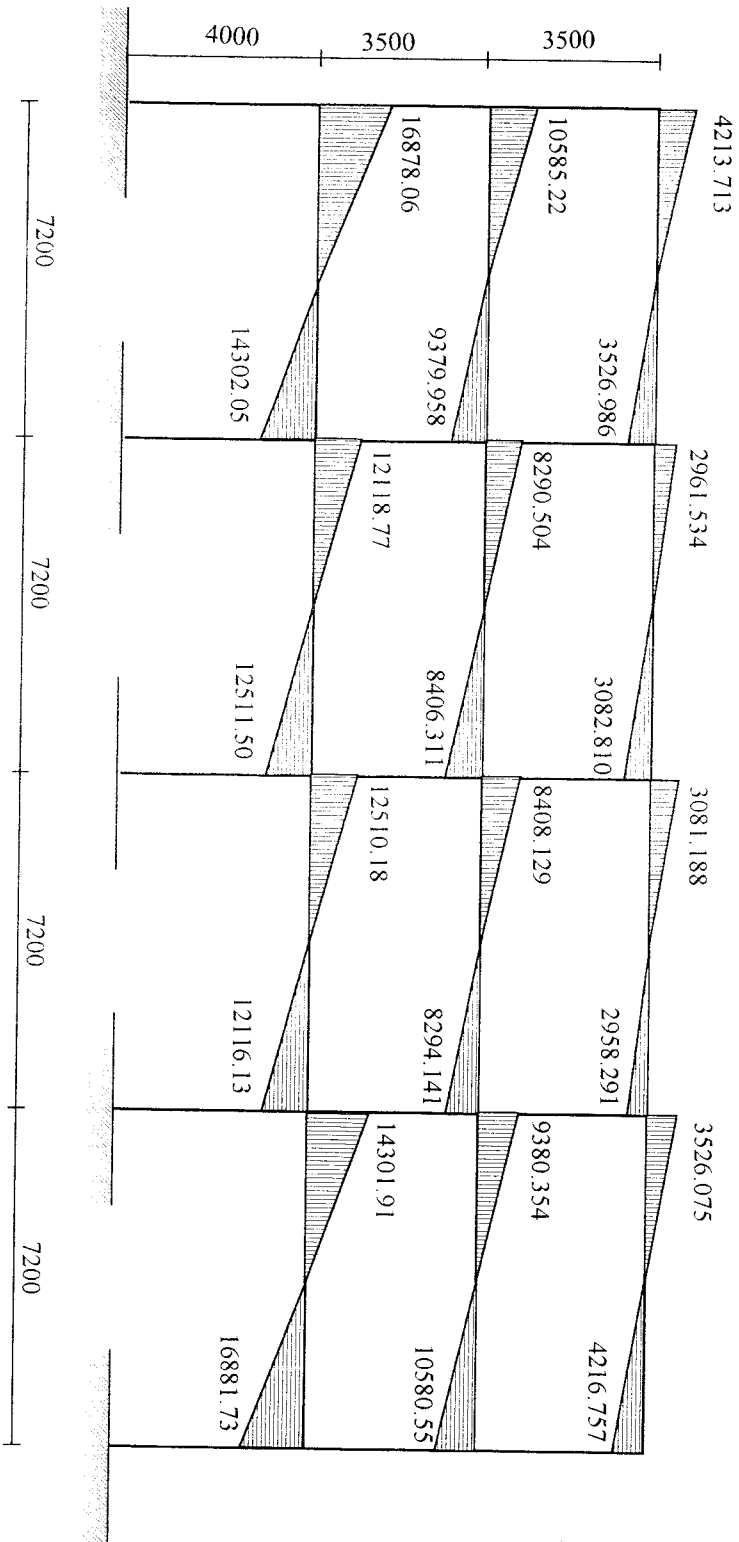
$$= 0,09. 1,5. 1. 276454,8 = 37321,398 \text{ kg}$$

c. Distribusi gaya geser (Fi)

$$F_i = \frac{W_i.H_i}{\Sigma(W_i.H_i)} \cdot V$$

Tgt	Hi	Wi	Wi.Hi	Fi
3	11	62015.40	682169.40	13308.201
2	7.5	106612.20	799591.50	15598.947
1	4	107827.20	431308.80	8414.250

Grafik Momen Akibat Beban Gempa



Perhitungan Manual Capacity Design Method

A. Momen Ultimit Kombinasi

$$Mu = 1,0. M_D + 1,3. M_L + 1,0. M_E$$

Tabel 1. $Mu = 1,0. M_D + 1,3. M_L + 1,0. M_E$

L	E	Balok	M_D	M_L	M_E	Mu
3	27	20 - 19	-4260.187	-1135.509	4213.713	-1522.636
		19 - 20	8109.969	2219.844	3526.986	14522.75
	26	19 - 18	-7536.170	-2063.358	2961.534	-7257.001
		18 - 19	6826.737	1858.407	3082.810	12325.48
	25	18 - 17	-6826.682	-1858.390	3081.188	-6161.401
		17 - 18	7536.194	2063.367	2958.291	13176.86
	24	17 - 16	-8109.933	-2219.831	3526.075	-7469.638
		16 - 17	4260.264	1135.533	4216.757	9953.214
2	18	11 - 12	-9662.310	-2382.713	10585.22	-2174.617
		12 - 11	14564.48	3560.813	9379.958	28573.49
	17	12 - 13	-13472.75	-3293.053	8290.504	-9463.215
		13 - 12	12930.43	3168.117	8406.311	25455.29
	16	13 - 14	-12930.38	-3168.096	8408.129	-8640.776
		14 - 13	13472.84	3293.081	8294.141	26047.99
	15	14 - 15	-14564.38	-3560.781	9380.354	-9813.041
		15 - 14	9662.390	2382.740	10580.55	23340.50
1	9	10 - 9	-8933.992	-2184.179	16878.06	5104.635
		9 - 10	14773.52	3617.361	14302.05	33778.14
	8	9 - 8	-13679.55	-3350.007	12118.77	-5915.789
		8 - 9	12827.06	3139.645	12511.50	29420.10
	7	8 - 7	-12826.98	-3139.623	12510.18	-4398.31
		7 - 8	13679.59	3350.018	12116.13	30150.74
	6	7 - 6	-14773.49	-3617.348	14301.91	-5174.132
		6 - 7	8934.084	2184.206	16881.73	28655.28

B. Redistribusi Momen Balok Pada Garis Pusat Kolom

1.a. Pada kolom interior

$$M_i = 0,70. M_{ex,i}$$

$$M_i \text{ maks} = M_i + Z \% . M_{ex,i}$$

Nilai redistribusinya adalah :

$$q_i = \frac{M_{e,i} - M_{i, \text{maks}}}{M_{e,i}}$$

maka, akan diperoleh besarnya momen setelah redistribusi sebagai berikut :

$$M_{oc,i, ki} = M_{i, ki} = M_{e,i} - q_i \cdot M_{e,i}$$

$$M_{oc,i, ka} = M_{i, ka} = M_{ki} + q_i \cdot M_{e,i}$$

1.b. Pada kolom eksterior

$$M_e = 0,70 \cdot M_{e,e}$$

$$M_e \text{ maks} = M_e + Z \% \cdot M_{e,e}$$

Nilai redistribusinya adalah :

$$q_e = \frac{M_{e,e} - M_e \text{ maks}}{M_{e,e}}$$

maka, akan diperoleh besarnya momen setelah redistribusi sebagai berikut :

$$M_{oc,e, ki} = M_{e, ki} = M_{e,e} - q_e \cdot M_{e,e}$$

$$M_{oc,e, ka} = M_{e, ka} = M_{ki} + q_e \cdot M_{e,e}$$

Tabel 2. Momen balok pada garis pusat kolom teredistribusi (Moc).

L	E	Balok	Mu	Ze dan Zi	Me dan Mi maks	qe dan qi	Moc
3	27	20 - 19	-1522.636	0.500000	6779.462	29.50000	4458.834
		19 - 20	14522.75	0.493250	10237.56	29.50675	10237.560
	26	19 - 18	-7257.001	0.493250	10237.56	29.50675	11542.190
		18 - 19	12325.48	0.493250	8688.631	29.50675	8688.631
	25	18 - 17	-6161.401	0.493250	8688.631	29.50675	9798.250
		17 - 18	13176.86	0.493250	9288.797	29.50675	9288.797
	24	17 - 16	-7469.638	0.493250	9288.797	29.50675	11357.700
		16 - 17	9953.214	0.500000	6779.462	29.50000	6779.462
2	18	11 - 12	-2174.617	1.750000	16746.81	28.25000	8768.308
		12 - 11	28573.49	1.726373	20494.73	28.27363	20494.73
	17	12 - 13	-9463.215	1.726373	20494.73	28.27363	17541.98
		13 - 12	25455.29	1.726373	18258.16	28.27363	18258.16
	16	13 - 14	-8640.776	1.726373	18258.16	28.27363	15835.08

		14 - 13	26047.99	1.726373	18683.28	28.27363	18683.28
	15	14 - 15	-9813.041	1.726373	18683.28	28.27363	17177.75
		15 - 14	23340.50	1.750000	16746.81	28.25000	16746.81
1	9	10 - 9	5104.635	3.000000	20918.35	27.00000	12841.56
		9 - 10	33778.14	2.959500	24644.36	27.04050	24644.36
	8	9 - 8	-5915.789	2.959500	24644.36	27.04050	15049.57
		8 - 9	29420.10	2.959500	21464.76	27.04050	21464.76
	7	8 - 7	-4398.310	2.959500	21464.76	27.04050	12353.65
		7 - 8	30150.74	2.959500	21997.83	27.04050	21997.83
	6	7 - 6	-5174.132	2.959500	21997.83	27.04050	13327.04
		6 - 7	28655.28	3.000000	20918.35	27.00000	20918.35

2.a. Momen Balok Pada Muka Kolom Awal (Mof)

a. Menentukan jarak momen bernilai nol ke garis pusat kolom (x), yaitu :

$$M_{tot} = M_{oc_{ki}} + M_{oc_{ka}}$$

$$x_{ki} = \frac{M_{oc_{ki}} \cdot L}{M_{tot}} \quad \text{maka, } x_{ka} = L - x_{ki}$$

b. Menentukan besarnya momen pada balok pada muka kolom awal (Mof), yaitu :

$$M_{of_{ki}} = \frac{M_{oc_{ki}} \cdot (x_{ki} - a)}{x_{ki}}$$

$$M_{of_{ka}} = \frac{M_{oc_{ka}} \cdot (x_{ka} - b)}{x_{ka}}$$

Tabel 3. Momen balok pada muka kolom awal.

L	E	Balok	Moc	M tot	x ki	x ka	Mof
3	27	20 - 19	4458.834	14696.39	2.184455		3999.571
		19 - 20	10237.560				
	26	19 - 18	11542.190	20230.82	4.107781	5.015545	9778.298
		18 - 19	8688.631				
	25	18 - 17	9798.250	19087.05	3.696087	3.092219	8056.418
		17 - 18	9288.797				
	24	17 - 16	11357.700	18137.16	4.508724	3.503913	8692.327
		16 - 17	6779.462				
						2.691276	6212.675
2	18	11 - 12	8768.308	29263.04	2.157391		7853.838

		12 - 11	20494.73			5.042609	19580.26
	17	12 - 13	17541.98	35800.14	3.527982		16423.23
		13 - 12	18258.16			3.672018	17139.41
	16	13 - 14	15835.08	34518.36	3.302955		14756.38
		14 - 13	18683.28			3.897045	17604.58
	15	14 - 15	17177.75	33924.56	3.645730		16117.61
		15 - 14	16746.81			3.554270	15686.67
1	9	10 - 9	12841.56	37485.92	2.466506		11670.13
		9 - 10	24644.36			4.733494	23472.92
	8	9 - 8	15049.57	36514.33	2.967517		13908.50
		8 - 9	21464.76			4.232483	20323.69
	7	8 - 7	12353.65	34351.48	2.589299		11280.17
		7 - 8	21997.83			4.610701	20924.35
	6	7 - 6	13327.04	34245.39	2.801974		12256.87
		6 - 7	20918.35			4.398026	19848.18

2.b. Momen Balok Pada Muka Kolom Akhir (Mfo)

1. Menentukan momen balok karena kombinasi beban terbagi rata, yaitu :

$$Q = Q_D + 1,3 Q_L$$

dengan asumsi perletakan sebagai sendi-sendi, sehingga didapatkan :

$$M = 1/8. Q.L^2$$

2. Menentukan besarnya pengurangan dan penambahan momen balok pada muka kolom yang sebenarnya, yaitu :

$$y_1 = \frac{a. (Moc_{ki} + Moc_{ka})}{L}$$

$$y_2 = \frac{b. (Moc_{ki} + Moc_{ka})}{L}$$

$$y'_1 = \frac{4.M.a.(L - a)}{L^2}$$

$$y'_2 = \frac{4.M.b.(L - b)}{L^2}$$

3. Menentukan momen balok pada muka kolom akhir (Mfo), yaitu :

$$M'of_{ki} = Moc_{ki} - y_1 - y'_1$$

$$M'of_{ka} = Moc_{ka} - y_2 + y'_2$$

Tabel 4. Momen balok pada muka kolom akhir.

L	E	Balok	Moc	y ₁	y' ₁	y ₂	y' ₂	M'fo	
3	27	20 - 19	4458.834	459.2622	1737.925			2261.647	
		19 - 20	10237.56			459.2622	1737.925	11516.22	
	26	19 - 18	11542.19	632.2131	1737.925			9172.050	
		18 - 19	8688.631			632.2131	1737.925	9794.340	
	25	18 - 17	9798.250	596.4703	1737.925			7463.850	
		17 - 18	9288.797			596.4703	1737.925	10430.25	
24	17 - 16	11357.70	566.7863	1737.925			9053.012		
	16 - 17	6779.462			566.7863	1737.925	7950.601		
2	18	11 - 12	8768.308	914.4700	3139.456			4714.382	
		12 - 11	20494.73			914.4700	3139.456	22719.72	
	17	12 - 13	17541.98	1118.754	3139.456			13283.77	
		13 - 12	18258.16			1118.754	3139.456	20278.86	
	16	13 - 14	15835.08	1078.699	3139.456			11616.93	
		14 - 13	18683.28			1078.699	3139.456	20744.04	
	15	14 - 15	17177.75	1061.143	3139.456			13978.46	
		15 - 14	16746.81			1061.143	3139.456	18826.12	
	1	9	10 - 9	12841.56	1171.435	3139.456			8530.669
			9 - 10	24644.36			1171.435	3139.456	26612.38
8		9 - 8	15049.57	1141.073	3139.456			10769.04	
		8 - 9	21464.76			1141.073	3139.456	23463.14	
7		8 - 7	12353.65	1073.484	3139.456			8140.710	
		7 - 8	21997.83			1073.484	3139.456	24063.80	
6		7 - 6	13327.04	1070.168	3139.456			9117.416	
		6 - 7	20918.35			1070.168	3139.456	22987.64	

C. Mencari besarnya momen gempa balok pada muka kolom dengan cara sebagai berikut :

1. Menentukan jarak momen gempal balok bernilai nol dari garis pusat kolom (x), yaitu :

$$M_1 \text{ tot} = \text{Mec}_1 + \text{Mec}_2$$

$$M_2 \text{ tot} = \text{Mec}_3 + \text{Mec}_4$$

maka, didapatkan jarak momen gempal bernilai nol (x) :

$$x_{ki} = \frac{\text{Mec}_{ki} \cdot L}{M \text{ tot}} \quad \text{maka, } x_{ka} = L - x_{ki}$$

2. Menentukan momen gempal balok pada muka kolom, yaitu :

$$\text{Mfe}_{ki} = \frac{\text{Mec}_{ki} \cdot (x_{ki} - a)}{x_{ki}}$$

$$\text{Mfe}_{ka} = \frac{\text{Mec}_{ka} \cdot (x_{ka} - b)}{x_{ka}}$$

Tabel 5. Momen gempal balok pada muka kolom.

L	E	Balok	Mec	M tot	x ki	x ka	Mfe
3	27	20 - 19	4213.713	7740.699	3.919379		3971.816
		19 - 20	3526.986				3285.089
	26	19 - 18	2961.534	6044.344	3.527768		2772.648
		18 - 19	3082.810				2893.924
	25	18 - 17	3081.188	6039.479	3.673256		2892.454
		17 - 18	2958.291				2769.557
24	17 - 16	3526.075	7742.832	3.278871		3284.112	
	16 - 17	4216.757				3974.793	
2	18	11 - 12	10585.22	19965.18	3.817326		9961.308
		12 - 11	9379.958				8756.046
	17	12 - 13	8290.504	16696.64	3.575069		7768.734
		13 - 12	8406.133				7884.363
	16	13 - 14	8406.129	16702.27	3.624469		7886.183
		14 - 13	8294.141				7772.195
15	14 - 15	9380.354	19960.90	3.383542		8756.576	
	15 - 14	10580.55				9956.772	
1	9	10 - 9	16878.06	31180.11	3.897422		15093.68
		9 - 10	14302.05				13327.67
	8	9 - 8	12118.77	24630.27	3.542598		11349.07

		8 - 9	12511.50			3.657402	11741.804
	7	8 - 7	12510.18	24626.31	3.657604		11740.608
		7 - 8	12116.13			3.542396	11347.288
	6	7 - 6	14301.91	31183.64	3.302172		13327.42
		6 - 7	16881.73			3.897828	10905.57

B. Momen Kapasitas Balok dan Faktor Kuat Lebih Lentur Balok (ϕ_o) :

- 1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (ϕ_p dan ϕ_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana ($M'fo$), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).
- 2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton (f'_c) yang dipakai, yaitu :

Jika $f'_c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.

Jika $30 \text{ MPa} < f'_c < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$.

Jika $f'_c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.

- 3). Menentukan harga R_n , yaitu :

$$R_n = M'fo / \phi(b \cdot d^2)$$

dengan : $d = h - s - \frac{1}{2} \cdot \phi_p - \phi_s$

dimana, ϕ adalah faktor reduksi kekuatan sebesar 0,9 dan.

- 4). Menentukan rasio penulangan (ρ), yaitu :

$$\rho = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right\}$$

dengan :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}$$

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum (ρ_{min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan berdasarkan nilai rasio penulangannya, yaitu :

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

7). Menentukan panjang blok desak beton (a), yaitu :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

8). Menentukan momen kapasitas awal balok (M_n), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

Jika $M_n > M'fo / \phi$, maka balok bertulangan sebelah.

Jika $M_n \leq M'fo / \phi$, maka balok bertulangan rangkap.

Tabel. 6.

L	E	Balok	M'fo	Rn	ρ	ρ dipakai	As
3	27	20 - 19	2261.647	0.187215	0.000626	0.004667	959.6519
		19 - 20	11516.22	0.953292	0.003239	0.004667	959.6519
	26	19 - 18	9172.050	0.759246	0.002569	0.004667	959.6519
		18 - 19	9794.340	0.810758	0.002747	0.004667	959.6519
	25	18 - 17	7463.850	0.617844	0.002085	0.004667	959.6519
		17 - 18	10430.25	0.863398	0.002928	0.004667	959.6519
24	17 - 16	9053.012	0.749392	0.002536	0.004667	959.6519	
	16 - 17	7950.601	0.658136	0.002223	0.004667	959.6519	
2	18	11 - 12	4714.382	0.390248	0.001311	0.004667	959.6519
		12 - 11	22719.72	1.880699	0.006519	0.006519	1340.469
	17	12 - 13	13283.77	1.099607	0.003748	0.004667	959.6519
		13 - 12	20278.86	1.678607	0.005793	0.005793	1191.186
	16	13 - 14	11616.93	0.961629	0.003268	0.004667	959.6519
		14 - 13	20744.04	1.717155	0.005931	0.005931	1219.562
15	14 - 15	13978.46	1.157112	0.003949	0.004667	959.6519	
	15 - 14	18826.12	1.558392	0.005364	0.005364	1102.973	
1	9	10 - 9	8530.669	0.706154	0.002387	0.004667	959.6519
		9 - 10	26612.38	2.202926	0.007691	0.007691	1581.462

	8	9 - 8	10769.04	0.891442	0.003025	0.004667	959.6519
		8 - 9	23463.14	1.942237	0.006741	0.006741	1386.118
	7	8 - 7	8140.710	0.673874	0.002277	0.004667	959.6519
		7 - 8	24063.80	1.991959	0.006922	0.006922	1423.336
	6	7 - 6	9117.416	0.754723	0.002554	0.004667	959.6519
		6 - 7	22987.64	1.902876	0.006599	0.006599	1356.919

Tabel. 7.

L	E	Balok	a	Mn	M'fo/ ϕ	Keterangan
3	27	20 - 19	32.25721	16449.53	2512.941	SEBELAH
		19 - 20	32.25721	16449.53	12795.80	SEBELAH
	26	19 - 18	32.25721	16449.53	10191.17	SEBELAH
		18 - 19	32.25721	16449.53	10882.60	SEBELAH
	25	18 - 17	32.25721	16449.53	8293.167	SEBELAH
		17 - 18	32.25721	16449.53	11589.17	SEBELAH
24	17 - 16	32.25721	16449.53	10058.90	SEBELAH	
	16 - 17	32.25721	16449.53	8834.001	SEBELAH	
2	18	11 - 12	32.25721	16449.53	5238.202	SEBELAH
		12 - 11	45.05778	22719.79	25244.13	RANGKAP
	17	12 - 13	32.25721	16449.53	14759.74	SEBELAH
		13 - 12	40.03987	20279.23	22532.07	RANGKAP
	16	13 - 14	32.25721	16449.53	12907.70	SEBELAH
		14 - 13	40.99368	20744.87	23048.93	RANGKAP
15	14 - 15	32.25721	16449.53	15531.62	SEBELAH	
	15 - 14	37.07472	18826.51	20917.91	RANGKAP	
1	9	10 - 9	32.25721	16449.53	9478.521	SEBELAH
		9 - 10	53.15839	26612.25	29569.31	RANGKAP
	8	9 - 8	32.25721	16449.53	11965.60	SEBELAH
		8 - 9	46.59220	23461.60	26070.16	RANGKAP
	7	8 - 7	32.25721	16449.53	9045.233	SEBELAH
		7 - 8	47.84323	24064.84	26737.56	RANGKAP
	6	7 - 6	32.25721	16449.53	10130.46	SEBELAH
		6 - 7	45.61072	22987.73	25541.82	RANGKAP

B. Balok bertulangan sebelah.

- 1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (ϕ_p dan ϕ_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana ($M'fo$), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).

2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton (f'_c) yang dipakai, yaitu :

Jika $f'_c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.

Jika $30 \text{ MPa} < f'_c < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$.

Jika $f'_c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.

3). Menentukan harga R_n sesuai dengan Persamaan (4.63).

4). Menentukan ρ dan m sesuai Persamaan (4.64) dan (4.65).

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum (ρ_{\min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan sesuai dengan Persamaan (4.66).

7). Menghitung luas satu tulangan berdasarkan diameter tulangan pokok dipakai.

$$A_{sD} = \pi \cdot (\phi p T_r / 2)^2 \dots \dots \dots (4.69)$$

8). Menentukan jumlah tulangan dipakai dan luas tulangan total.

$$n = \frac{A_s}{\pi \cdot (\phi p T_r / 2)^2}$$

$$\text{maka : } A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi p T_r / 2)^2$$

7). Menentukan panjang blok desak beton (a) sesuai Persamaan (4.67), maka :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$c = a / \beta_1$$

8). Check regangan baja berdasarkan nilai c , yaitu :

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003$$

a. 1. Jika $\epsilon_s \geq \epsilon_y = f_y / E_s$, maka anggapan awal $f_s = f_y$ benar (baja telah luluh).

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

2. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{M_{kap}}{M_{fe}} \quad \text{dengan } M_{kap} = 1,25 \cdot M_n$$

b. 1. Jika $\epsilon_s \geq \epsilon_y = f_y / E_s$, maka :

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

2. Menentukan panjang blok beton desak (a), yaitu :

$$a = \frac{A_s \cdot f_s}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

3. Menentukan momen kapasitas balok (M_n), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot (d - a/2)$$

4. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{M_{kap}}{M_{fe}} \quad \text{dengan } M_{kap} = 1,25 \cdot M_n$$

Tabel. 8.

L	E	Balok	n dan n pakai	As aktual	a	c
3	27	20 - 19	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		19 - 20	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
	26	19 - 18	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		18 - 19	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
	25	18 - 17	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344

		17 - 18	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
	24	17 - 16	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		16 - 17	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
2	18	11 - 12	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		12 - 11	-	-	-	-
	17	12 - 13	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		13 - 12	-	-	-	-
3	16	13 - 14	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		14 - 13	-	-	-	-
	15	14 - 15	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		15 - 14	-	-	-	-
1	9	10 - 9	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		9 - 10	-	-	-	-
	8	9 - 8	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		8 - 9	-	-	-	-
2	7	8 - 7	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		7 - 8	-	-	-	-
	6	7 - 6	1.9549 ≈ 2	981.7478	32.99993	38.82344
		6 - 7	-	-	-	-

Tabel. 9.

L	E	Balok	es	fs	Mn	1,25. Mn
3	27	20 - 19	0.042398	300	16817.34	21021.68
		19 - 20	0.042398	300	16817.34	21021.68
	26	19 - 18	0.042398	300	16817.34	21021.68
		18 - 19	0.042398	300	16817.34	21021.68
	25	18 - 17	0.042398	300	16817.34	21021.68
		17 - 18	0.042398	300	16817.34	21021.68
	24	17 - 16	0.042398	300	16817.34	21021.68
		16 - 17	0.042398	300	16817.34	21021.68
2	18	11 - 12	0.042398	300	16817.34	21021.68
		12 - 11	-	-	-	-
	17	12 - 13	0.042398	300	16817.34	21021.68
		13 - 12	-	-	-	-
	16	13 - 14	0.042398	300	16817.34	21021.68
		14 - 13	-	-	-	-
	15	14 - 15	0.042398	300	16817.34	21021.68
		15 - 14	-	-	-	-
1	9	10 - 9	0.042398	300	16817.34	21021.68
		9 - 10	-	-	-	-
	8	9 - 8	0.042398	300	16817.34	21021.68
		8 - 9	-	-	-	-
	7	8 - 7	0.042398	300	16817.34	21021.68

		7 - 8	-	-	-	-
	6	7 - 6	0.042398	300	16817.34	21021.68
		6 - 7	-	-	-	-

Tabel. 10.

L	E	Balok	Mfe	ϕ_o
3	27	20 - 19	3971.816	5.292712
		19 - 20	3285.089	6.399118
	26	19 - 18	2772.648	7.581804
		18 - 19	2893.924	7.264072
	25	18 - 17	2892.454	7.267764
		17 - 18	2769.557	7.590265
	24	17 - 16	3284.112	6.401024
		16 - 17	3974.793	5.288746
2	18	11 - 12	9961.308	2.110333
		12 - 11	-	-
	17	12 - 13	7768.734	2.705935
		13 - 12	-	-
	16	13 - 14	7886.183	2.665634
		14 - 13	-	-
	15	14 - 15	8756.576	2.400673
		15 - 14	-	-
1	9	10 - 9	15093.68	1.321812
		9 - 10	-	-
	8	9 - 8	11349.07	1.852281
		8 - 9	-	-
	7	8 - 7	11740.61	1.790510
		7 - 8	-	-
	6	7 - 6	13327.42	1.577325
		6 - 7	-	-

C. Balok bertulangan rangkap.

- 1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (ϕ_p dan ϕ_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana ($M'fo$), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).
- 2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton (f'_c) yang dipakai, yaitu :

Jika $f'c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.

Jika $30 \text{ MPa} < f'c < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30)$.

Jika $f'c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.

- 3). Menentukan harga R_n sesuai dengan Persamaan (4.63).
- 4). Menentukan ρ dan m sesuai Persamaan (4.64) dan (4.65).
- 5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum (ρ_{min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).

- 6). Menghitung luas tulangan sesuai dengan Persamaan (4.66), yaitu :

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

- 7). Menentukan momen kapasitas balok tarik (M_{n1}), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$M_{n1} = M_n$$

- 8). Momen kapasitas balok desak (M_{n2}) adalah :

$$M_{n2} = M'_{fo} / \phi - M_{n1}$$

- 9). Luas baja tulangan desak (A'_s) adalah :

$$A'_s = \frac{M_{n2}}{f_y \cdot (d - d')}$$

- 10). Menentukan jumlah tulangan desak (n'), yaitu :

$$n' = \frac{A'_s}{\pi \cdot (\phi_p T_k / 2)^2}$$

$$\text{maka : } A's = n' \cdot \pi \cdot (\phi p T_k / 2)^2$$

11). Menentukan luas tulangan tarik (A_s), yaitu :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$\text{dengan : } A_{s2} = A's$$

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

$$A_{s1} = A_s - A_{s2}$$

$$= A_s - A's$$

sehingga :

$$n = \frac{A_{s1}}{\pi \cdot (\phi p T_r / 2)^2}$$

$$A_{s1} = n \cdot \pi \cdot (\phi p T_r / 2)^2$$

12). Menghitung panjang blok beton desak (a), yaitu :

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_s}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$c = a / \beta_1$$

13). Menentukan nilai regangan tulangan desak ($\epsilon's$), yaitu :

$$\epsilon's = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003$$

a. Jika $\epsilon's \geq \epsilon_y$, maka :

1. $C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a$

2. $C_s = A's \cdot f_y$

3. Momen kapasitas balok (M_n) adalah :

$$M_n = C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d')$$

4. Sehingga faktor kuat lebih baloknya adalah :

$$\phi_o = \frac{M_{kap}}{M_{fe}} \quad \text{dengan } M_{kap} = 1,25 \cdot M_n$$

b. Jika $\epsilon'_s < \epsilon_y$, maka :

1. Regangan tulangan desaknya adalah :

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

$$\text{sehingga : } f'_s = \epsilon'_s \cdot E_s$$

$$= \frac{c - d'}{c} \cdot 600$$

2. Menghitung kuat desak beton (C_c) :

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

3. Menghitung kuat desak baja tulangan (C_s) :

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

4. Menghitung kuat tarik baja tulangan (T_s) :

$$T_s = T_{s1} + T_{s2}$$

$$= A_{s1} \cdot f_y + A_{s2} \cdot f_y$$

$$= A_s \cdot f_y$$

5. Menghitung harga c dengan keseimbangan gaya horisontal :

a. Keseimbangan $C = T$ atau $C - T = 0$,

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85.f'c.b.a + A's. \{((c - d')/c). 600\} - As.fy = 0$$

$$0,85.f'c.b.\beta_1.c + A's. \{((c - d')/c). 600\} - As.fy = 0$$

$$(0,85.f'c.b. \beta_1).c^2 + (600.A's - As.fy).c - 600.d'.A's = 0$$

maka : $A = 0,85.f'c.b. \beta_1$; $B = (600.A's - As.fy)$; $C = - 600.d'.A's$

b. Menghitung nilai c berdasarkan dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4.A.C}}{2A}$$

6. Menghitung nilai berdasarkan nilai a :

$$a = c . \beta_1$$

7. Menentukan tegangan tulangan desak (f's), yaitu :

$$\epsilon's = \frac{c - d'}{c} . 0,003$$

sehingga : $f's = \epsilon's . Es$

8. Menentukan momen kapasitas balok (Mn) adalah :

$$Mn = 0,85.f'c. b. a.(d - a/2) + A's.f's.(d - d')$$

9. Faktor kuat lebih balok adalah :

$$\phi_o = \frac{M_{kap}}{M_{fe}} \quad \text{dengan} \quad M_{kap} = 1,25. Mn$$

Tabel. 11.

L	E	Balok	M'fo / φ	Mn1 = Mn	Mn2	A's
3	27	20 - 19	-	-	-	-
		19 - 20	-	-	-	-
	26	19 - 18	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-

	25	18 - 17	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-	-
		12 - 11	25244.13	22719.79	2524.34	160.2756
	17	12 - 13	-	-	-	-
		13 - 12	22532.07	20279.23	2252.84	143.0375
	16	13 - 14	-	-	-	-
		14 - 13	23048.93	20744.87	2304.06	146.2895
	15	14 - 15	-	-	-	-
		15 - 14	20917.91	18826.51	2091.40	132.7873
1	9	10 - 9	-	-	-	-
		9 - 10	29569.31	26612.25	2957.06	187.7498
	8	9 - 8	-	-	-	-
		8 - 9	26070.16	23461.60	2608.56	165.6229
	7	8 - 7	-	-	-	-
		7 - 8	26737.56	24064.84	2672.72	169.6965
	6	7 - 6	-	-	-	-
		6 - 7	25541.82	22987.73	2554.09	162.1644

Tabel. 12.

L	E	Balok	n'	n' pakai	A's aktual	As2
3	27	20 - 19	-	-	-	-
		19 - 20	-	-	-	-
	26	19 - 18	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-	-
		12 - 11	0.3265	2	981.7478	981.7478
	17	12 - 13	-	-	-	-
		13 - 12	0.2914	2	981.7478	981.7478
	16	13 - 14	-	-	-	-
		14 - 13	0.2980	2	981.7478	981.7478
	15	14 - 15	-	-	-	-
		15 - 14	0.2705	2	981.7478	981.7478
1	9	10 - 9	-	-	-	-
		9 - 10	0.3825	2	981.7478	981.7478
	8	9 - 8	-	-	-	-
		8 - 9	0.3374	2	981.7478	981.7478
	7	8 - 7	-	-	-	-
		7 - 8	0.3457	2	981.7478	981.7478

6	7 - 6	-	-	-	-
	6 - 7	0.3304	2	981.7478	981.7478

Tabel. 13.

L	E	Balok	Asl	n dan n pakai	Asl aktual	As
3	27	20 - 19	-	-	-	-
		19 - 20	-	-	-	-
	26	19 - 18	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-	-
		12 - 11	358.7212	0.7308 ≈ 2	981.7478	1963.496
	17	12 - 13	-	-	-	-
		13 - 12	209.4382	0.4621 ≈ 2	981.7478	1963.496
	16	13 - 14	-	-	-	-
		14 - 13	237.8142	0.4845 ≈ 2	981.7478	1963.496
	15	14 - 15	-	-	-	-
		15 - 14	121.2252	0.2470 ≈ 2	981.7478	1963.496
1	9	10 - 9	-	-	-	-
		9 - 10	599.7142	1.2217 ≈ 2	981.7478	1963.496
	8	9 - 8	-	-	-	-
		8 - 9	404.3702	0.8238 ≈ 2	981.7478	1963.496
	7	8 - 7	-	-	-	-
		7 - 8	441.5882	0.8996 ≈ 2	981.7478	1963.496
	6	7 - 6	-	-	-	-
		6 - 7	375.1712	0.7643 ≈ 2	981.7478	1963.496

Tabel. 14.

L	E	Balok	a	c	d'	Keterangan
3	27	20 - 19	-	-	-	-
		19 - 20	-	-	-	-
	26	19 - 18	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-	-
		12 - 11	32.99993	38.82344	62.5	c < d'

	17	12 - 13	-	-	-	-
		13 - 12	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	16	13 - 14	-	-	-	-
		14 - 13	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	15	14 - 15	-	-	-	-
		15 - 14	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
1	9	10 - 9	-	-	-	-
		9 - 10	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	8	9 - 8	-	-	-	-
		8 - 9	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	7	8 - 7	-	-	-	-
		7 - 8	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	6	7 - 6	-	-	-	-
		6 - 7	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$

Tabel. 15.

L	E	Balok	A	B	C	c	a
3	27	20 - 19	-	-	-	-	-
		19 - 20	-	-	-	-	-
	26	19 - 18	-	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-	-	-
		12 - 11	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	17	12 - 13	-	-	-	-	-
		13 - 12	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	16	13 - 14	-	-	-	-	-
		14 - 13	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	15	14 - 15	-	-	-	-	-
		15 - 14	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
1	9	10 - 9	-	-	-	-	-
		9 - 10	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	8	9 - 8	-	-	-	-	-
		8 - 9	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	7	8 - 7	-	-	-	-	-
		7 - 8	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	6	7 - 6	-	-	-	-	-
		6 - 7	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353

Tabel. 16.

L	E	Balok	f's	Mn	1,25. Mn
---	---	-------	-----	----	----------

Lampiran Manual Capacity Design Method 21

3	27	20 - 19	-	-	-
		19 - 20	-	-	-
	26	19 - 18	-	-	-
		18 - 19	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-
		17 - 18	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-
		16 - 17	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-
		12 - 11	61.69400	32663.40	40829.25
	17	12 - 13	-	-	-
		13 - 12	61.69400	32663.40	40829.25
	16	13 - 14	-	-	-
		14 - 13	61.69400	32663.40	40829.25
	15	14 - 15	-	-	-
		15 - 14	61.69400	32663.40	40829.25
1	9	10 - 9	-	-	-
		9 - 10	61.69400	32663.40	40829.25
	8	9 - 8	-	-	-
		8 - 9	61.69400	32663.40	40829.25
	7	8 - 7	-	-	-
		7 - 8	61.69400	32663.40	40829.25
	6	7 - 6	-	-	-
		6 - 7	61.69400	32663.40	40829.25

Tabel. 17.

L	E	Balok	Mfe	ϕ_o
3	27	20 - 19	-	-
		19 - 20	-	-
	26	19 - 18	-	-
		18 - 19	-	-
	25	18 - 17	-	-
		17 - 18	-	-
	24	17 - 16	-	-
		16 - 17	-	-
2	18	11 - 12	-	-
		12 - 11	8756.046	4.662978
	17	12 - 13	-	-
		13 - 12	7884.363	5.178396
	16	13 - 14	-	-
		14 - 13	7772.195	5.253245
	15	14 - 15	-	-
		15 - 14	9956.772	4.100651
1	9	10 - 9	-	-

		9 - 10	13327.67	3.063495
8		9 - 8	-	
		8 - 9	11741.80	3.477255
7		8 - 7	-	
		7 - 8	11347.29	3.598382
6		7 - 6	-	
		6 - 7	10905.57	2.566708

6. Menentukan besarnya gaya geser balok karena beban gempa (V_{Eo}), dengan

cara sebagai berikut :

$$V_{Eo1} = \frac{(Mef_1 \cdot \phi_{o1}) + (Mef_2 \cdot \phi_{o2})}{L_{n1}}$$

$$V_{Eo2} = \frac{(Mef_3 \cdot \phi_{o3}) + (Mef_4 \cdot \phi_{o4})}{L_{n2}}$$

dimana, Mef adalah momen gempa balok pada muka kolom, dan L_n adalah bentang bersih balok (muka kolom ke muka kolom).

7. Menentukan besarnya gaya aksial kolom karena beban gempa (P_{Eo}) dengan

cara sebagai berikut :

$$P_{Eo} = R_v \cdot \Sigma V_{Eo}$$

$$= (1 - n/67) \cdot \Sigma V_{Eo}$$

dimana, n adalah jumlah tingkat yang ditinjau dan R_v adalah faktor reduksi

beban aksial ,serta ΣV_{Eo} adalah gaya geser balok karena gempa dari seluruh

tingkat di atas tingkat yang ditinjau.

Tabel. 18.

L	E	Balok	Mfe	ϕ_o	V_{Eo}	ΣV_{Eo}
3	27	20 - 19	3971.816	5.292712	3114.323	3114.323
		19 - 20	3285.089	6.399118	6228.644	6228.644
	26	19 - 18	2772.648	7.581804		

		18 - 19	2893.924	7.264072	6228.644	6228.644
	25	18 - 17	2892.454	7.267764		
		17 - 18	2769.557	7.590265		
	24	17 - 16	3284.112	6.401024	6228.645	6228.645
		16 - 17	3974.793	5.288746	3114.322	3114.322
2	18	11 - 12	9961.308	2.110333	3114.323	6228.646
		12 - 11	8756.046	4.662978	9163.102	15391.75
	17	12 - 13	7768.734	2.705935		
		13 - 12	7884.363	5.178396	9162.968	15391.61
	16	13 - 14	7886.183	2.665634		
		14 - 13	7772.195	5.253245		
	15	14 - 15	8756.576	2.400673	9163.099	15391.74
		15 - 14	9956.772	4.100651	6048.777	9163.099
1	9	10 - 9	15903.68	1.321812	3114.322	9342.968
		9 - 10	13327.67	3.063495	9163.099	24554.85
	8	9 - 8	11349.07	1.852281		
		8 - 9	11741.80	3.477255	9163.098	24554.71
	7	8 - 7	11740.60	1.790510		
		7 - 8	11347.28	3.598382		
	6	7 - 6	13327.42	1.577325	9163.490	24555.71
		6 - 7	15907.24	2.566708	6048.776	15211.88

Tabel 19. Gaya aksial balok karena gempa.

L	E	Balok	ΣV_{Eo}	n	R_v	P_{Eo}
3	27	20 - 19	3114.323	3	0.955224	2974.876
		19 - 20	6228.644			5949.750
	26	19 - 18				
		18 - 19	6228.644			5949.750
	25	18 - 17				
		17 - 18				
	24	17 - 16	6228.645			5949.751
		16 - 17	3114.322			2974.875
2	18	11 - 12	6228.646	2	0.970149	6042.715
		12 - 11	15391.75			14932.29
	17	12 - 13				
		13 - 12	15391.61			14932.16
	16	13 - 14				
		14 - 13				
	15	14 - 15	15391.74			14932.28
		15 - 14	9163.099			8889.571
1	9	10 - 9	9342.968	1	0.985075	9203.524
		9 - 10	24554.85			24188.37
	8	9 - 8				
		8 - 9	24554.71			24188.23
	7	8 - 7				

		7 - 8			
	6	7 - 6	24555.71		24188.74
		6 - 7	15211.88		14984.84

8. Menentukan gaya aksial kolom (P_u), dengan cara sebagai berikut :

a. Gaya aksial kolom maksimum (P_u maks), yaitu :

$$P_u \text{ maks} = (Q_D + Q_L + P_{Eo})$$

b. Gaya aksial kolom minimum (P_u min), yaitu :

$$P_u \text{ min} = (0,90 Q_D - P_{Eo})$$

dengan :

$$Q_D = M_D / L \quad ; \quad \text{dan} \quad Q_L = M_L / L$$

dimana, M_D adalah momen balok karena beban mati, dan Q_L adalah momen balok karena beban hidup.

Tabel 16. Gaya aksial kolom maksimum dan minimum.

L	E	Balok	Q_D	Q_L	P_{Eo}	P_u min	P_u maks
3	27	20 - 19	591.6926	157.7096	2974.876	-2442.353	3724.278
		19 - 20	1126.385	308.3117	5949.750	-3993.983	8717.714
	26	19 - 18	1046.690	286.5775	5949.750	-4243.073	8362.280
		18 - 19	948.1579	258.1121			
	25	18 - 17	948.1503	258.1097	5949.751	-3993.985	8717.713
		17 - 18	1046.694	286.5788			
24	17 - 16	1126.379	308.3099	2974.875	-2442.342	3724.291	
	16 - 17	591.7033	157.7129				
2	18	11 - 12	1341.988	330.9324	6042.715	-4834.926	7715.635
		12 - 11	2022.844	494.5574	14932.29	-11427.64	19778.27
	17	12 - 13	1871.215	457.3685	14932.16	-11699.56	19403.97
		13 - 12	1795.893	440.0163			
	16	13 - 14	1795.886	440.0133	14932.28	-11427.63	19778.26
		14 - 13	1871.228	457.3724			
15	14 - 15	2022.831	494.5529	8889.571	-7681.772	10562.51	
	15 - 14	1341.999	330.9361				
1	9	10 - 9	1240.832	303.3582	9203.524	-8086.775	10747.71
		9 - 10	2051.878	502.4113	24188.37	-20631.74	29107.88

	8	9 - 8	1899.938	465.2788			
		8 - 9	1781.536	436.0618	24188.23	-20981.48	28623.41
	7	8 - 7	1781.525	436.0588			
		7 - 8	1899.943	465.2803			
	6	7 - 6	2051.874	502.4094	24188.74	-20632.10	29108.25
		6 - 7	1240.845	303.3619	14984.84	-13868.08	16529.05

9. Menentukan besarnya gaya geser kolom (V_u) dengan cara sebagai berikut :

a. Pada tingkat pertama (*column base*), yaitu :

$$V_u = \frac{\phi_o^* \cdot Me^* + 1,3 \cdot \phi_o \cdot Me_{top}}{h'k + 0,5 hb}$$

dengan :

$\phi_o^* = \lambda_o / \phi_c$, dimana ϕ_c adalah faktor reduksi kekuatan kolom untuk geser yang nilainya 0,85.

b. Pada tingkat atas (selain tingkat pertama), yaitu :

$$V_u = 1,3 \cdot \phi_o \cdot V_{E \text{ code}}$$

dengan :

$$V_{E \text{ code}} = \frac{Me_{bottom} + Me_{top}}{hk}$$

dimana, $V_{E \text{ code}}$ adalah gaya geser dari kolom tingkat yang ditinjau karena gempa, Me_{bottom} dan Me_{top} adalah momen gempa kolom pada bagian bawah dan atas, serta hk adalah tinggi kolom.

Tabel 17. Gaya geser kolom pada tingkat atas (selain tingkat 1).

L	E	Kolom	M_E	$V_{E \text{ code}}$	$\phi_o \text{ ki}$	$\phi_o \text{ ka}$	$\phi_o \text{ pakai}$
3	19	20 - 11	-4233.509	1843.259	5.292712	-	5.292712
		11 - 20	-2217.898		2.110333	-	2.110333
	20	19 - 12	-6496.640	3266.498	6.399118	7.581804	6.990461
		12 - 19	-4936.103		4.662978	2.705935	3.684456
	21	18 - 13	-6182.138	3088.154	7.264072	7.267726	7.265918
		13 - 18	-4626.401		5.178396	2.665634	3.922015

Lampiran Manual Capacity Design Method 26

	22	17 - 14	-6497.890	3266.35	7.590265	6.401024	6.995645
		14 - 17	-4934.335		5.253245	2.400673	3.826959
	23	15 - 15	-4232.258	1843.942	5.288746	-	5.288746
		15 - 16	-2221.539		4.100651	-	4.100651
2	10	11 - 10	-8385.616	4151.236	-	2.110333	2.110333
		10 - 11	-6143.710		-	1.321812	1.321812
	11	12 - 9	-12761.89	6995.680	4.662978	2.705935	3.684456
		9 - 12	-11722.99		3.063495	1.852281	2.457888
	12	13 - 8	-12213.96	6613.134	5.178396	2.665634	3.922015
		8 - 13	-10932.01		3.477255	1.790510	2.633883
	13	14 - 7	-12759.86	6995.303	5.253245	2.400673	3.826959
		7 - 14	-11723.70		3.598382	1.577325	2.587853
	14	15 - 6	-8389.112	4151.795	4.100651	-	4.100651
		6 - 15	-6142.171		2.566708	-	2.566708

Tabel 18. Gaya geser kolom pada tingkat atas (selain tingkat 1).

L	E	Kolom	V_u
3	19	20 - 11	12682.59
		11 - 20	5056.776
	20	19 - 12	29684.63
		12 - 19	15645.85
	21	18 - 13	29169.75
		13 - 18	15745.32
	22	17 - 14	29705.29
		14 - 17	16250.24
	23	15 - 15	12677.78
		15 - 16	9829.771
2	10	11 - 10	11388.64
		10 - 11	7133.300
	11	12 - 9	33507.86
		9 - 12	22352.98
	12	13 - 8	33717.85
		8 - 13	22643.69
	13	14 - 7	34801.96
		7 - 14	23533.66
	14	15 - 6	22132.58
		6 - 15	138583.38

Tabel 19. Gaya geser kolom pada tingkat satu.

L	E	Kolom	$P_i = P_u$ maks	λ_{o1}	λ_{o2}	λ_o	λ_o / ϕ_c
1	1	10 - 1	10747.71	1.28	0.015920	1.295920	1.524612
		1 - 10					1.513382
	2	9 - 2	29107.88	1.28	0.006375	1.286375	1.513382
		2 - 9					1.513614
	3	8 - 3	28623.41	1.28	0.006572	1.286572	1.513614

		3 - 8					
	4	7 - 4	29108.25	1.28	0.006375	1.286375	1.513382
		4 - 7					
	5	6 - 5	16529.05	1.28	0.012452	1.292452	1.520532
		5 - 6					

Tabel 20. Gaya geser kolom pada tingkat satu.

L	E	Kolom	M _E	φ _o ki	φ _o ka	φ _o pakai	V _u
1	1	10 - 1	-10749.11	-	1.321812	1.321812	10612.78
		1 - 10	-15728.81	-	1.390000	1.390000	10850.99
	2	9 - 2	-14705.43	3.063495	1.852281	2.457888	18446.25
		2 - 9	-17706.97	1.390000	1.390000	1.390000	13342.53
	3	8 - 3	-14102.26	3.477255	1.790510	2.633883	18657.96
		3 - 8	-17405.39	1.390000	1.390000	1.390000	12956.96
	4	7 - 4	-14707.46	3.598382	1.577325	2.587853	19069.48
		4 - 7	-17707.99	1.390000	1.390000	1.390000	13343.83
	5	6 - 5	-10745.27	2.566708	-	2.053367	14941.80
		5 - 6	-15726.90	1.390000	-	1.390000	10832.49

10. Menentukan besarnya momen kolom (M_{u, k}), yaitu :

$$M_{u,k} = R_m \cdot (\phi_o \cdot \omega \cdot M_e - 0,3 \cdot h_b \cdot V_u)$$

$$R_m = 1 + 0,5 \cdot (\omega - 1) \{ (P_u \cdot 10) / (A_g \cdot f'_c) - 1 \} \leq 1,0$$

dimana, R_m adalah faktor reduksi untuk kolom yang nilainya tergantung pada besarnya nilai P_u/f'_c·A_g, ω adalah faktor pembesaran dinamik dari momen kolom, P_u adalah gaya aksial maksimum kolom, A_g adalah luas tampang beton dan f'_c adalah kuat desak beton.

Tabel 21. Momen kolom.

L	E	Kolom	M _E	φ _o	V _u
3	19	20 - 11	-4233.509	5.292712	12682.59
		11 - 20	-2217.898	2.110333	5056.776
	20	19 - 12	-6496.640	6.990461	29684.63
		12 - 19	-4936.103	3.684456	15645.85
	21	18 - 13	-6182.138	7.265918	29169.75
		13 - 18	-4626.401	3.922015	15745.32
	22	17 - 14	-6497.890	6.995645	29705.29

Lampiran Manual Capacity Design Method 28

		14 - 17	-4934.335	3.826959	16250.24
	23	15 - 15	-4232.258	5.288746	12677.78
		15 - 16	-2221.539	4.100651	9829.771
2	10	11 - 10	-8385.616	2.110333	11388.64
		10 - 11	-6143.710	1.321812	7133.300
	11	12 - 9	-12761.89	3.684456	33507.86
		9 - 12	-11722.99	2.457888	22352.98
	12	13 - 8	-12213.96	3.922015	33717.85
		8 - 13	-10932.01	2.633883	22643.69
	13	14 - 7	-12759.86	3.826959	34801.96
		7 - 14	-11723.70	2.587853	23533.66
	14	15 - 6	-8389.112	4.100651	22132.58
		6 - 15	-6142.171	2.566708	138583.38
I	1	10 - 1	-10749.11	1.321812	10612.78
		1 - 10	-15728.81	1.390000	10850.99
	2	9 - 2	-14705.43	2.457888	18446.25
		2 - 9	-17706.97	1.390000	13342.53
	3	8 - 3	-14102.26	2.633883	18657.96
		3 - 8	-17405.39	1.390000	12956.96
	4	7 - 4	-14707.46	2.587853	19069.48
		4 - 7	-17707.99	1.390000	13343.83
	5	6 - 5	-10745.27	2.053367	14941.80
		5 - 6	-15726.90	1.390000	10832.49

Tabel 22.

L	E	Kolom	ω	Rm	M_E	ϕ_o	M_u
3	19	20 - 11	1.0	1.0	-4233.509	5.292712	19933.63
		11 - 20	1.0	1.0	-2217.898	2.110333	3694.357
	20	19 - 12	1.0	1.0	-6496.640	6.990461	39626.01
		12 - 19	1.0	1.0	-4936.103	3.684456	15135.91
	21	18 - 13	1.0	1.0	-6182.138	7.265918	39230.81
		13 - 18	1.0	1.0	-4626.401	3.922015	15074.48
	22	17 - 14	1.0	1.0	-6497.890	6.995645	39664.40
		14 - 17	1.0	1.0	-4934.335	3.826959	15714.70
	23	15 - 15	1.0	1.0	-4232.258	5.288746	19913.12
		15 - 16	1.0	1.0	-2221.539	4.100651	7192.951
2	10	11 - 10	1.104505	0.954383	-8385.616	2.110333	16534.76
		10 - 11	1.104505	0.954383	-6143.710	1.321812	7232.818
	11	12 - 9	1.104505	0.964758	-12761.89	3.684456	43800.61
		9 - 12	1.104505	0.964758	-11722.99	2.457888	26498.27
	12	13 - 8	1.104505	0.964436	-12213.96	3.922015	44686.79
		8 - 13	1.104505	0.964436	-10932.01	2.633883	26413.28
	13	14 - 7	1.104505	0.964758	-12759.86	3.826959	45486.75
		7 - 14	1.104505	0.964758	-11723.70	2.587853	27901.61
	14	15 - 6	1.104505	0.956831	-8389.112	4.100651	32226.19
		6 - 15	1.104505	0.956831	-6142.171	2.566708	14076.26

Perhitungan Manual Cara SK SNI T-15-1991-03

1. Menentukan besarnya kuat momen lentur maksimum perlu berdasarkan kombinasi beban terfaktor, yaitu :

$$M_u = 1,05 (M_D + M_{Lr} + M_E)$$

$$= 1,05 (M_D + 0,6. M_L + M_E)$$

Tabel 23. $M_u = 1,05 (M_D + 0,6. M_L + M_E)$

L	E	Balok	M_D	M_L	M_E	M_u
3	27	20 - 19	-4260.187	-1135.509	4213.713	-764.1684
		19 - 20	8109.969	2219.844	3526.986	13617.30
	26	19 - 18	-7536.170	-2063.358	2961.534	-6103.283
		18 - 19	6826.737	1858.407	3082.810	11575.82
	25	18 - 17	-6826.682	-1858.390	3081.188	-5103.554
		17 - 18	7536.194	2063.367	2958.291	12319.13
	24	17 - 16	-8109.933	-2219.831	3526.075	-6211.544
		16 - 17	4260.264	1135.533	4216.757	9616.258
2	18	11 - 12	-9662.310	-2382.713	10585.22	-532.0537
		12 - 11	14564.48	3560.813	9379.958	27384.97
	17	12 - 13	-13472.75	-3293.053	8290.504	-7515.982
		13 - 12	12930.43	3168.117	8406.311	24399.49
	16	13 - 14	-12930.38	-3168.096	8408.129	-6744.264
		14 - 13	13472.84	3293.081	8294.141	24929.97
	15	14 - 15	-14564.38	-3560.781	9380.354	-7686.519
		15 - 14	9662.390	2382.740	10580.55	22756.21
1	9	10 - 9	-8933.992	-2184.179	16878.06	6965.239
		9 - 10	14773.52	3617.361	14302.05	32808.29
	8	9 - 8	-13679.55	-3350.007	12118.77	-3749.323
		8 - 9	12827.06	3139.645	12511.50	28583.46
	7	8 - 7	-12826.98	-3139.623	12510.18	-2310.602
		7 - 8	13679.59	3350.018	12116.13	29196.02
	6	7 - 6	-14773.49	-3617.348	14301.91	-2774.088
		6 - 7	8934.084	2184.206	16881.73	28482.65

2. Menentukan momen kapasitas balok pada tumpuan (M_{kap}) yaitu momen momen lentur balok berdasarkan luas baja tulangan terpasang.

- 1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (ϕ_p dan ϕ_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana (M'_{fo}), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).
- 2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton (f'_c) yang dipakai, yaitu :
 - Jika $f'_c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.
 - Jika $30 \text{ MPa} < f'_c < 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$.
 - Jika $f'_c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.
- 3). Menentukan harga R_n , yaitu :

$$R_n = M'_{fo} / \phi(b \cdot d^2)$$
 dengan : $d = h - s - \frac{1}{2} \cdot \phi_p - \phi_s$
 dimana, ϕ adalah faktor reduksi kekuatan sebesar 0,9 dan.
- 4). Menentukan rasio penulangan (ρ), yaitu :

$$\rho = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right\}$$
 dengan :

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}$$
- 5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :
 - a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),
 - b. rasio penulangan minimum (ρ_{min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).
- 6). Menghitung luas tulangan berdasarkan nilai rasio penulangannya, yaitu :

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

7). Menentukan panjang blok desak beton (a), yaitu :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

8). Menentukan momen kapasitas awal balok (M_n), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

Jika $M_n > M_u / \phi$, maka balok bertulangan sebelah.

Jika $M_n \leq M_u / \phi$, maka balok bertulangan rangkap.

Tabel. 24.

L	E	Balok	Mu	Rn	ρ	ρ dipakai	As	
3	27	20 - 19	-764.1684	0.063257	0.000211	0.004667	959.6519	
		19 - 20	13617.30	1.127216	0.003844	0.004667	959.6519	
	26	19 - 18	-6103.283	0.505219	0.001701	0.004667	959.6519	
		18 - 19	11575.82	0.958226	0.003256	0.004667	959.6519	
	25	18 - 17	-5103.554	0.422463	0.001420	0.004667	959.6519	
		17 - 18	12319.13	1.019756	0.003470	0.004667	959.6519	
	24	17 - 16	-6211.544	0.514181	0.001732	0.004667	959.6519	
		16 - 17	9616.258	0.796017	0.002696	0.004667	959.6519	
	2	18	11 - 12	-532.0537	0.044042	0.000147	0.004667	959.6519
			12 - 11	27384.97	2.266880	0.007926	0.007926	1629.784
17		12 - 13	-7515.982	0.622160	0.002099	0.004667	959.6519	
		13 - 12	24399.49	2.019747	0.007023	0.007023	1444.104	
16		13 - 14	-6744.264	0.558279	0.001882	0.004667	959.6519	
		14 - 13	24929.97	2.063659	0.007182	0.007182	1476.799	
15		14 - 15	-7686.519	0.636277	0.002148	0.004667	959.6519	
		15 - 14	22756.21	1.883719	0.006530	0.006530	1342.731	
1		9	10 - 9	6965.239	0.576570	0.001944	0.004667	959.6519
			9 - 10	32808.29	2.715813	0.009594	0.009594	1972.766
	8	9 - 8	-3749.323	0.310364	0.001041	0.004667	959.6519	
		8 - 9	28583.46	2.366089	0.008291	0.008291	1704.837	
	7	8 - 7	-2310.602	0.191268	0.000640	0.004667	959.6519	
		7 - 8	29196.02	2.416795	0.008479	0.008479	1743.494	
	6	7 - 6	-2774.088	0.229634	0.000769	0.004667	959.6519	
		6 - 7	28482.65	2.357744	0.008261	0.008261	1698.668	

Tabel. 25.

L	E	Balok	a	Mn	Mu/φ	Keterangan
3	27	20 - 19	32.25721	16449.53	955.2105	SEBELAH
		19 - 20	32.25721	16449.53	17021.63	RANGKAP
	26	19 - 18	32.25721	16449.53	7629.104	SEBELAH
		18 - 19	32.25721	16449.53	14469.78	SEBELAH
	25	18 - 17	32.25721	16449.53	6379.443	SEBELAH
		17 - 18	32.25721	16449.53	15398.91	SEBELAH
	24	17 - 16	32.25721	16449.53	7764.430	SEBELAH
		16 - 17	32.25721	16449.53	12020.32	SEBELAH
2	18	11 - 12	32.25721	16449.53	665.0671	SEBELAH
		12 - 11	54.78266	27385.68	34231.21	RANGKAP
	17	12 - 13	32.25721	16449.53	9394.978	SEBELAH
		13 - 12	48.54131	24400.85	30499.36	RANGKAP
	16	13 - 14	32.25721	16449.53	8430.330	SEBELAH
		14 - 13	49.63997	24928.96	31162.46	RANGKAP
	15	14 - 15	32.25721	16449.53	9608.149	SEBELAH
		15 - 14	45.13382	22756.60	28445.26	RANGKAP
1	9	10 - 9	32.25721	16449.53	8706.549	SEBELAH
		9 - 10	66.31146	32807.75	41010.36	RANGKAP
	8	9 - 8	32.25721	16449.53	4686.654	SEBELAH
		8 - 9	57.30545	28582.31	35729.33	RANGKAP
	7	8 - 7	32.25721	16449.53	2888.253	SEBELAH
		7 - 8	58.60484	29196.42	36495.03	RANGKAP
	6	7 - 6	32.25721	16449.53	3467.610	SEBELAH
		6 - 7	57.09808	28484.16	35603.31	RANGKAP

B. Balok bertulangan sebelah.

1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (ϕ_p dan ϕ_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana ($M'fo$), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).

2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton (f'_c) yang dipakai, yaitu :

Jika $f'_c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.

Jika $30 \text{ MPa} < f'_c < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$.

Jika $f^c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.

3). Menentukan harga R_n sesuai dengan Persamaan (4.63).

4). Menentukan ρ dan m sesuai Persamaan (4.64) dan (4.65).

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum (ρ_{min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan sesuai dengan Persamaan (4.66).

7). Menghitung luas satu tulangan berdasarkan diameter tulangan pokok dipakai.

$$A_{sD} = \pi \cdot (\phi p_{Tr} / 2)^2 \dots \dots \dots (4.69)$$

8). Menentukan jumlah tulangan dipakai dan luas tulangan total.

$$n = \frac{A_s}{\pi \cdot (\phi p_{Tr} / 2)^2}$$

$$\text{maka : } A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi p_{Tr} / 2)^2$$

7). Menentukan panjang blok desak beton (a) sesuai Persamaan (4.67), maka :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f^c \cdot b}$$

$$c = a / \beta_1$$

8). Check regangan baja berdasarkan nilai c, yaitu :

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003$$

a. Jika $\epsilon_s \geq \epsilon_y = f_y / E_s$, maka anggapan awal $f_s = f_y$ benar (baja telah luluh).

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

b. 1. Jika $\epsilon_s \geq \epsilon_y = f_y / E_s$, maka :

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

2. Menentukan panjang blok beton desak (a), yaitu :

$$a = \frac{A_s \cdot f_s}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

3. Menentukan momen kapasitas balok (M_n), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot (d - a/2)$$

Tabel.26.

L	E	Balok	n dan n pakai	As aktual	a	c
3	27	20 - 19	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		19 - 20	-	-	-	-
	26	19 - 18	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		18 - 19	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
	25	18 - 17	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		17 - 18	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
24	17 - 16	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344	
	16 - 17	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344	
2	18	11 - 12	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		12 - 11	-	-	-	-
	17	12 - 13	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		13 - 12	-	-	-	-
	16	13 - 14	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		14 - 13	-	-	-	-
15	14 - 15	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344	
	15 - 14	-	-	-	-	
1	9	10 - 9	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		9 - 10	-	-	-	-
	8	9 - 8	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		8 - 9	-	-	-	-
	7	8 - 7	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344
		7 - 8	-	-	-	-
6	7 - 6	1.9549 \approx 2	981.7478	32.99993	38.82344	
	6 - 7	-	-	-	-	

Tabel. 27.

L	E	Balok	ϵ_s	f_s	Mn	
3	27	20 - 19	0.042398	300	16817.34	
		19 - 20	-	-	-	
	26	19 - 18	0.042398	300	16817.34	
		18 - 19	0.042398	300	16817.34	
	25	18 - 17	0.042398	300	16817.34	
		17 - 18	0.042398	300	16817.34	
	24	17 - 16	0.042398	300	16817.34	
		16 - 17	0.042398	300	16817.34	
	2	18	11 - 12	0.042398	300	16817.34
			12 - 11	-	-	-
17		12 - 13	0.042398	300	16817.34	
		13 - 12	-	-	-	
16		13 - 14	0.042398	300	16817.34	
		14 - 13	-	-	-	
15		14 - 15	0.042398	300	16817.34	
		15 - 14	-	-	-	
1		9	10 - 9	0.042398	300	16817.34
			9 - 10	-	-	-
	8	9 - 8	0.042398	300	16817.34	
		8 - 9	-	-	-	
	7	8 - 7	0.042398	300	16817.34	
		7 - 8	-	-	-	
	6	7 - 6	0.042398	300	16817.34	
		6 - 7	-	-	-	

C. Balok bertulangan rangkap.

1). Data yang diperlukan untuk perencanaan balok berturut-turut adalah diameter tulangan (ϕ_p dan ϕ_s), kuat desak beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y), momen rencana (M'_{fo}), lebar balok (b), tinggi balok (h), dan faktor reduksi kekuatan (ϕ), serta tebal selimut beton (s).

2). Menentukan harga β_1 berdasarkan kuat desak beton (f'_c) yang dipakai, yaitu :

Jika $f'_c \leq 30$ MPa, maka $\beta_1 = 0,85$.

Jika $30 \text{ MPa} < f'_c < 55 \text{ MPa}$, maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$.

Jika $f'c \geq 55$ MPa, maka $\beta_1 = 0,65$.

3). Menentukan harga R_n sesuai dengan Persamaan (4.63).

4). Menentukan ρ dan m sesuai Persamaan (4.64) dan (4.65).

5). Menentukan rasio penulangan minimum dan *balance*, yaitu :

a. rasio penulangan *balanced* (ρ_b) sesuai dengan Persamaan (3.29),

b. rasio penulangan minimum (ρ_{min}) sesuai dengan Persamaan (3.30).

6). Menghitung luas tulangan sesuai dengan Persamaan (4.66), yaitu :

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

7). Menentukan momen kapasitas balok tarik (M_{n1}), yaitu :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$M_{n1} = M_n$$

8). Momen kapasitas balok desak (M_{n2}) adalah :

$$M_{n2} = M'_{fo}/\phi - M_{n1}$$

9). Luas baja tulangan desak (A'_s) adalah :

$$A'_s = \frac{M_{n2}}{f_y \cdot (d - d')}$$

10). Menentukan jumlah tulangan desak (n'), yaitu :

$$n' = \frac{A'_s}{\pi \cdot (\phi p T_k / 2)^2}$$

$$\text{maka : } A'_s = n' \cdot \pi \cdot (\phi p T_k / 2)^2$$

11). Menentukan luas tulangan tarik (A_s), yaitu :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

dengan : $A_{s2} = A's$

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

$$A_{s1} = A_s - A_{s2}$$

$$= A_s - A's$$

sehingga :

$$n = \frac{A_{s1}}{\pi \cdot (\phi p_{Tr} / 2)^2}$$

$$A_{s1} = n \cdot \pi \cdot (\phi p_{Tr} / 2)^2$$

12). Menghitung panjang blok beton desak (a), yaitu :

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_s}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$c = a / \beta_1$$

13). Menentukan nilai regangan tulangan desak ($\epsilon's$), yaitu :

$$\epsilon's = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003$$

a. Jika $\epsilon's \geq \epsilon_y$, maka :

1. $C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a$

2. $C_s = A's \cdot f_y$

3. Momen kapasitas balok (M_n) adalah :

$$M_n = C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d')$$

b. Jika $\epsilon's < \epsilon_y$, maka :

1. Regangan tulangan desaknya adalah :

$$\varepsilon's = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003$$

sehingga : $f's = \varepsilon's \cdot E_s$

$$= \frac{c - d'}{c} \cdot 600$$

2. Menghitung kuat desak beton (C_c) :

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

3. Menghitung kuat desak baja tulangan (C_s) :

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

4. Menghitung kuat tarik baja tulangan (T_s) :

$$T_s = T_{s1} + T_{s2}$$

$$= A_{s1} \cdot f_y + A_{s2} \cdot f_y$$

$$= A_s \cdot f_y$$

5. Menghitung harga c dengan keseimbangan gaya horisontal :

a. Keseimbangan $C = T$ atau $C - T = 0$,

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a + A's \cdot \left\{ \left(\frac{c - d'}{c} \right) \cdot 600 \right\} - A_s \cdot f_y = 0$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c + A's \cdot \left\{ \left(\frac{c - d'}{c} \right) \cdot 600 \right\} - A_s \cdot f_y = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1) \cdot c^2 + (600 \cdot A's - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot d' \cdot A's = 0$$

$$\text{maka : } A = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1 ; B = (600 \cdot A's - A_s \cdot f_y) ; C = - 600 \cdot d' \cdot A's$$

b. Menghitung nilai c berdasarkan dengan rumus ABC :

$$c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4.A.C}}{2A}$$

6. Menghitung nilai berdasarkan nilai a :

$$a = c \cdot \beta_1$$

7. Menentukan tegangan tulangan desak ($f's$), yaitu :

$$\epsilon's = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003$$

$$\text{sehingga : } f's = \epsilon's \cdot E_s$$

8. Menentukan momen kapasitas balok (M_n) adalah :

$$M_n = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2) + A's \cdot f's \cdot (d - d')$$

Tabel. 28.

L	E	Balok	Mu / ϕ	Mn1 = Mn	Mn2	A's
3	27	20 - 19	-	-	-	-
		19 - 20	17021.63	16449.53	572.100	36.32381
	26	19 - 18	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-
2	18	11 - 12				
		12 - 11	34231.21	27385.68	6845.53	434.6368
	17	12 - 13			-	-
		13 - 12	30499.36	24400.85	6098.51	387.2069
	16	13 - 14			-	-
		14 - 13	31162.46	24928.96	6233.50	395.7777
	15	14 - 15			-	-
		15 - 14	28445.26	22756.60	5688.66	361.1848
1	9	10 - 9			-	-
		9 - 10	41010.36	32807.75	8202.61	520.8006
	8	9 - 8			-	-
		8 - 9	35729.33	28582.31	7147.02	453.7790
	7	8 - 7			-	-
		7 - 8	36495.03	29196.42	7298.61	463.4038

	6	7 - 6			-	-
		6 - 7	35603.31	28484.16	7119.15	452.0095

Tabel. 29.

L	E	Balok	n'	n' pakai	A's aktual	As2
3	27	20 - 19	-	-	-	-
		19 - 20	0.073998	2	981.7478	981.7478
	26	19 - 18	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-	-
		12 - 11	0.885435	2	981.7478	981.7478
	17	12 - 13	-	-	-	-
		13 - 12	0.788811	2	981.7478	981.7478
	16	13 - 14	-	-	-	-
		14 - 13	0.806272	2	981.7478	981.7478
	15	14 - 15	-	-	-	-
		15 - 14	0.735799	2	981.7478	981.7478
1	9	10 - 9	-	-	-	-
		9 - 10	1.060966	2	981.7478	981.7478
	8	9 - 8	-	-	-	-
		8 - 9	0.924431	2	981.7478	981.7478
	7	8 - 7	-	-	-	-
		7 - 8	0.944038	2	981.7478	981.7478
	6	7 - 6	-	-	-	-
		6 - 7	0.920826	2	981.7478	981.7478

Tabel. 30.

L	E	Balok	Asl	n dan n pakai	Asl aktual	As
3	27	20 - 19	-	-	-	-
		19 - 20	0	0	0	0
	26	19 - 18	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-	-
		12 - 11	648.0362	1.3202 \approx 2	981.7478	1963.496
	17	12 - 13	-	-	-	-
		13 - 12	462.3562	0.9419 \approx 2	981.7478	1963.496

	16	13 - 14	-	-	-	-
		14 - 13	495.0512	$1.0085 \approx 2$	981.7478	1963.496
	15	14 - 15	-	-	-	-
		15 - 14	360.9832	$0.7354 \approx 2$	981.7478	1963.496
1	9	10 - 9	-	-	-	-
		9 - 10	991.0182	$2.0189 \approx 2$	981.7478	1963.496
	8	9 - 8	-	-	-	-
		8 - 9	723.0892	$1.4731 \approx 2$	981.7478	1963.496
	7	8 - 7	-	-	-	-
		7 - 8	761.7462	$1.5518 \approx 2$	981.7478	1963.496
	6	7 - 6	-	-	-	-
		6 - 7	716.9202	$1.4605 \approx 2$	981.7478	1963.496

Tabel. 31.

L	E	Balok	a	c	d'	Keterangan
3	27	20 - 19	-	-	-	-
		19 - 20	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	26	19 - 18	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-
		16 - 17	-	-	-	-
2	18	11 - 12	-	-	-	-
		12 - 11	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	17	12 - 13	-	-	-	-
		13 - 12	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	16	13 - 14	-	-	-	-
		14 - 13	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	15	14 - 15	-	-	-	-
		15 - 14	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
1	9	10 - 9	-	-	-	-
		9 - 10	49.49990	58.23518	62.5	$c < d'$
	8	9 - 8	-	-	-	-
		8 - 9	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	7	8 - 7	-	-	-	-
		7 - 8	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$
	6	7 - 6	-	-	-	-
		6 - 7	32.99993	38.82344	62.5	$c < d'$

Tabel. 32.

L	E	Balok	A	B	C	c	a
3	27	20 - 19	-	-	-	-	-
		19 - 20	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	26	19 - 18	-	-	-	-	-
		18 - 19	-	-	-	-	-
	25	18 - 17	-	-	-	-	-
		17 - 18	-	-	-	-	-
	24	17 - 16	-	-	-	-	-
16 - 17		-	-	-	-	-	
2	18	11 - 12	-	-	-	-	-
		12 - 11	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	17	12 - 13	-	-	-	-	-
		13 - 12	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	16	13 - 14	-	-	-	-	-
		14 - 13	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	15	14 - 15	-	-	-	-	-
15 - 14		7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353	
1	9	10 - 9	-	-	-	-	-
		9 - 10	7586.25	-147262.32	-36815542.5	69.66298	59.21353
	8	9 - 8	-	-	-	-	-
		8 - 9	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	7	8 - 7	-	-	-	-	-
		7 - 8	7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353
	6	7 - 6	-	-	-	-	-
6 - 7		7586.25	-0.12	-36815542.5	69.66298	59.21353	

Tabel. 33.

L	E	Balok	f's	Mn
3	27	20 - 19	-	-
		19 - 20	61.69400	32663.40
	26	19 - 18	-	-
		18 - 19	-	-
	25	18 - 17	-	-
		17 - 18	-	-
	24	17 - 16	-	-
16 - 17		-	-	
2	18	11 - 12	-	-
		12 - 11	61.69400	32663.40
	17	12 - 13	-	-
		13 - 12	61.69400	32663.40
	16	13 - 14	-	-
		14 - 13	61.69400	32663.40
	15	14 - 15	-	-
15 - 14		61.69400	32663.40	

1	9	10 - 9	-	-
		9 - 10	168.4007	42288.03
	8	9 - 8	-	-
		8 - 9	61.69400	32663.40
	7	8 - 7	-	-
		7 - 8	61.69400	32663.40
	6	7 - 6	-	-
		6 - 7	61.69400	32663.40

3. Menghitung kuat geser balok ($V_{u,b}$) dengan cara sebagai berikut :

a. Menentukan momen kapasitas balok pada tumpuan.

b. Menentukan besarnya gaya geser balok karena beban gravitasi (V_g), yaitu :

$$V_g = 1,0 V_D + 0,6 V_L$$

dimana, V_D adalah gaya geser balok karena beban mati, dan V_L adalah gaya geser balok karena beban hidup.

c. Menentukan Kuat geser balok ($V_{u,b}$), yaitu :

$$V_{u,b} = 0,07 \cdot \frac{M_{kap} + M'_{kap}}{L_n} + 1,05 \cdot V_g$$

dimana, M_{kap} adalah momen kapasitas balok pada muka kolom, M'_{kap} adalah momen kapasitas balok pada muka kolom sebelahnya, dan L_n adalah bentang bersih balok.

Tabel 34.

L	E	Balok	Q_D	Q_L	M_D	M_L
3	27	20 - 19	1635	446	-4260.187	-1135.509
		19 - 20	1635	446	8109.969	2219.844
	26	19 - 18	1635	446	-7536.170	-2063.358
		18 - 19	1635	446	6826.737	1858.407
	25	18 - 17	1635	446	-6826.682	-1858.390
		17 - 18	1635	446	7536.194	2063.367

	24	17 - 16	1635	446	-8109.933	-2219.831
		16 - 17	1635	446	4260.264	1135.533
2	18	11 - 12	3035	743	-9662.310	-2382.713
		12 - 11	3035	743	14564.48	3560.813
	17	12 - 13	3035	743	-13472.75	-3293.053
		13 - 12	3035	743	12930.43	3168.117
	16	13 - 14	3035	743	-12930.38	-3168.096
		14 - 13	3035	743	13472.84	3293.081
	15	14 - 15	3035	743	-14564.38	-3560.781
		15 - 14	3035	743	9662.390	2382.740
1	9	10 - 9	3035	743	-8933.992	-2184.179
		9 - 10	3035	743	14773.52	3617.361
	8	9 - 8	3035	743	-13679.55	-3350.007
		8 - 9	3035	743	12827.06	3139.645
	7	8 - 7	3035	743	-12826.98	-3139.623
		7 - 8	3035	743	13679.59	3350.018
	6	7 - 6	3035	743	-14773.49	-3617.348
		6 - 7	3035	743	8934.084	2184.206

Tabel 35.

L	E	Balok	VD	VL	1.05Vg
3	27	20 - 19	5351.308	1454.998	6224.307
		19 - 20	6420.692	1756.202	7474.413
	26	19 - 18	5984.532	1634.065	6964.971
		18 - 19	5787.607	1577.135	6733.888
	25	18 - 17	5787.457	1577.131	6733.736
		17 - 18	5984.543	1634.072	6964.986
	24	17 - 16	6420.676	1756.197	7474.394
		16 - 17	5351.323	1455.003	6224.325
2	18	11 - 12	10245.14	2511.175	11751.85
		12 - 11	11606.86	2838.425	13309.92
	17	12 - 13	11001.32	2692.152	12616.61
		13 - 12	10850.68	2657.448	12445.15
	16	13 - 14	10850.66	2657.441	12445.12
		14 - 13	11001.34	2692.159	12616.64
	15	14 - 15	11606.83	2838.416	13309.88
		15 - 14	10245.17	2511.183	11751.88
1	9	10 - 9	10114.95	2475.747	11600.40
		9 - 10	11737.05	2873.853	13461.36
	8	9 - 8	11044.40	2704.017	12666.81
		8 - 9	10807.60	2645.583	12394.95
	7	8 - 7	10807.58	2645.578	12394.93
		7 - 8	11044.42	2704.022	12666.83

	6	7 - 6	11737.03	2873.858	13461.34
		6 - 7	10114.97	2475.753	11600.42

d. Tetapi dalam segala hal, $V_{u,b}$ tidak perlu lebih dari :

$$V_{u,b} \text{ maks} = 1,05 (V_D + V_L + (4 / K) \cdot V_E)$$

dimana, K adalah faktor jenis struktur bangunan.

Tabel 36.

L	E	Balok	M kap	M'kap	1.05 Vg	Vu, k
3	27	20 - 19	21021.68	40829.25	6224.307	13554.82
		19 - 20	40829.25	21021.68	7474.413	14804.92
	26	19 - 18	21021.68	21021.68	6964.971	11947.94
		18 - 19	21021.68	21021.68	6733.888	11716.86
	25	18 - 17	21021.68	21021.68	6733.736	11716.71
		17 - 18	21021.68	21021.68	6964.986	11947.96
	24	17 - 16	21021.68	21021.68	7474.394	12457.37
16 - 17		21021.68	21021.68	6224.325	11207.29	
2	18	11 - 12	21021.68	40829.25	11751.85	19082.36
		12 - 11	40829.25	21021.68	13309.92	20640.43
	17	12 - 13	21021.68	40829.25	12616.61	19947.12
		13 - 12	40829.25	21021.68	12445.15	19775.66
	16	13 - 14	21021.68	40829.25	12445.12	19775.63
		14 - 13	40829.25	21021.68	12616.64	19947.15
	15	14 - 15	21021.68	40829.25	13309.88	20640.39
15 - 14		40829.25	21021.68	11751.88	19082.39	
1	9	10 - 9	21021.68	40829.25	11600.40	20356.78
		9 - 10	40829.25	21021.68	13461.36	22217.74
	8	9 - 8	21021.68	40829.25	12666.81	19997.32
		8 - 9	40829.25	21021.68	12394.95	19725.46
	7	8 - 7	21021.68	40829.25	12394.93	19725.44
		7 - 8	40829.25	21021.68	12666.83	19997.34
	6	7 - 6	21021.68	40829.25	13461.34	20791.85
6 - 7		40829.25	21021.68	11600.42	18930.93	

Tabel 37.

L	E	Balok	VD, b	VL, b	VE, b	Vu, km
3	27	20 - 19	591.6926	157.7096	585.2379	3244.871
		19 - 20	1126.385	308.3117	489.8592	3563.839
	26	19 - 18	1046.690	286.5775	411.3242	3127.493
		18 - 19	948.1579	258.1121	428.1681	3064.890
	25	18 - 17	948.1503	258.1097	427.9428	3063.933
		17 - 18	1046.694	286.5788	410.8738	3125.606
	24	17 - 16	1126.379	308.3099	489.7326	3563.300
16 - 17		591.7033	157.7129	585.6607	3246.662	

2	18	11 - 12	1341.988	330.9324	1470.169	7931.276
		12 - 11	2022.844	494.5574	1302.772	8114.914
	17	12 - 13	1871.215	457.3685	1151.459	7281.140
		13 - 12	1795.893	440.0163	1167.543	7251.385
	16	13 - 14	1795.886	440.0133	1167.796	7252.437
		14 - 13	1871.228	457.3724	1151.964	7283.279
	15	14 - 15	2022.831	494.5529	1302.827	8115.279
		15 - 14	1341.999	330.9361	1469.521	7928.633
1	9	10 - 9	1240.832	303.3582	2344.175	11466.93
		9 - 10	2051.878	502.4113	1986.396	11024.87
	8	9 - 8	1899.938	465.2788	1683.163	9552.762
		8 - 9	1781.536	436.0618	1737.708	9626.851
	7	8 - 7	1781.525	436.0588	1737.525	9626.068
		7 - 8	1899.943	465.2803	1682.796	9551.228
	6	7 - 6	2051.874	502.4094	1986.376	11024.78
		6 - 7	1240.845	303.3619	2344.685	11469.09

4. Menghitung kuat lentur kolom portal ($M_{u,k}$) dengan cara sebagai berikut :

- a. Menentukan momen kapasitas lentur balok sesuai langkah pada balok.
- b. Menentukan faktor distribusi momen (α_k) yang nilainya sebanding dengan kekakuan relatif elemen struktur pada join yang ditinjau, yaitu :

$$\alpha_{ka} = \frac{ka}{ka + kb} \quad ; \text{ atau } \alpha_{kb} = \frac{kb}{ka + kb}$$

dimana, ka adalah kekakuan relatif kolom atas join, dan kb adalah kekakuan relatif kolom bawah join.

c. Menentukan faktor pembesaran dinamik kolom (ω_d), yaitu :

- 1). untuk tingkat pertama dan tingkat puncak $\omega_d = 1,0$
- 2). untuk tingkat kedua $\omega_d = 1,15$
- 3). untuk tingkat lainnya diambil $\omega_d = 1,15$

d. Menentukan kuat lentur kolom ($M_{u,k}$), yaitu :

$$M_{u,k} = \frac{h'k}{hk} \omega_d \cdot \alpha_k \cdot 0,70 \left(\frac{L_{ki}}{L'_{ki}} M'_{kap} + \frac{L_{ka}}{L'_{ka}} M_{kap} \right)$$

Tabel 38.

L	E	Kolom	h'k / hk	ω_d	α_k	Lki/L'ki	Lka/L'ka	
3	19	20 - 11	0.814286	1.0	1.0	-	1.066667	
		11 - 20			0.5	-	1.066667	
	20	19 - 12		1.0	1.066667	1.066667		
		12 - 19		0.5	1.066667	1.066667		
	21	18 - 13		1.0	1.066667	1.066667		
		13 - 18		0.5	1.066667	1.066667		
	22	17 - 14		1.0	1.066667	1.066667		
		14 - 17		0.5	1.066667	1.066667		
	23	15 - 15		1.0	1.066667	-		
		15 - 16		0.5	1.066667	-		
	2	10	11 - 10	0.814286	1.15	0.5	-	1.066667
			10 - 11			0.5	-	1.066667
11		12 - 9		0.5	1.066667	1.066667		
		9 - 12		0.5	1.066667	1.066667		
12		13 - 8		0.5	1.066667	1.066667		
		8 - 13		0.5	1.066667	1.066667		
13		14 - 7		0.5	1.066667	1.066667		
		7 - 14		0.5	1.066667	1.066667		
14		15 - 6		0.5	1.066667	-		
		6 - 15		0.5	1.066667	-		
1		1	10 - 1	0.916250	1.0	0.466667	-	1.066667
			1 - 10			1.0	-	1.066667
	2	9 - 2		0.466667	1.066667	1.066667		
		2 - 9		1.0	1.066667	1.066667		
	3	8 - 3		0.466667	1.066667	1.066667		
		3 - 8		1.0	1.066667	1.066667		
	4	7 - 4		0.466667	1.066667	1.066667		
		4 - 7		1.0	1.066667	1.066667		
	5	6 - 5		0.466667	1.066667	-		
		5 - 6		1.0	1.066667	-		

Tabel 39.

L	E	Kolom	$M_{n,i}$	$M_{n,a}$	$M_{kap,i}$	$M_{kap,a}$	$M_{u,k}$
3	19	20 - 11	-	16817.34	-	21021.68	12781.19
		11 - 20	-	16817.34	-	21021.68	6390.594
	20	19 - 12	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	37605.39

		12 - 19	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	18802.69
	21	18 - 13	16817.34	16817.34	21021.68	21021.68	25562.38
		13 - 18	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	18802.69
	22	17 - 14	16817.34	16817.34	21021.68	21021.68	25562.38
		14 - 17	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	18802.69
	23	15 - 15	16817.34	-	21021.68	-	12781.19
		15 - 16	32663.40	-	40829.25	-	12412.10
2	10	11 - 10	-	16817.34	-	21021.68	7349.183
		10 - 11	-	16817.34	-	21021.68	7349.183
	11	12 - 9	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	21623.10
		9 - 12	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	21623.10
	12	13 - 8	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	21623.10
		8 - 13	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	21623.10
	13	14 - 7	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	21623.10
		7 - 14	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	21623.10
	14	15 - 6	32663.40		40829.25	-	14273.91
		6 - 15	32663.40		40829.25	-	14273.91
1	1	10 - 1	-	16817.34	-	21021.68	6711.434
		1 - 10	-	16817.34	-	21021.68	14381.64
	2	9 - 2	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	19746.69
		2 - 9	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	42314.29
	3	8 - 3	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	19746.69
		3 - 8	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	42314.29
	4	7 - 4	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	19746.69
		4 - 7	32663.40	16817.34	40829.25	21021.68	42314.29
	5	6 - 5	32663.40	-	40829.25	-	13035.25
		5 - 6	32663.40	-	40829.25	-	27932.66

e. Dalam segala hal, $M_{u,k}$ tidak perlu lebih besar dari :

$$M_{u,k} \text{ maks} = 1,05 (M_{D,k} + M_{L,k} + (4 / K). M_{E,k})$$

dimana, $M_{D,k}$, $M_{L,k}$, dan $M_{E,k}$ adalah momen kolom pada muka balok.

Tabel 40.

L	E	Kolom	MD	ML	ME
3	19	20 - 11	4260.231	1135.524	4233.509
		11 - 20	4519.199	1139.544	2217.898
	20	19 - 12	573.7822	156.4803	6496.640
		12 - 19	524.8829	133.0709	4936.103
	21	18 - 13	0.002520	8.911445E-04	6182.138
		13 - 18	0.011915	2.864484E-03	4626.401
	22	17 - 14	573.7547	156.4715	6497.890
		14 - 17	524.8954	133.0727	4934.335
	23	15 - 15	4260.208	1135.516	4232.258
		15 - 16	4519.194	1139.541	2221.539
2	10	11 - 10	5143.136	1243.180	8385.616

		10 - 11	5508.108	1342.795	6143.710
	11	12 - 9	566.7449	134.6558	12761.89
		9 - 12	657.5030	159.6494	11722.99
	12	13 - 8	8.973135E-03	2015018E-03	12213.96
		8 - 13	6.674550E-03	1.135469E-03	10932.01
	13	14 - 7	566.7476	134.6558	12759.86
		7 - 14	657.4623	159.6384	11723.70
	14	15 - 6	5143.129	1243.176	8389.112
		6 - 15	5508.074	1342.786	6142.171
1	1	10 - 1	3425.969	841.4081	10749.11
		1 - 10	1712.977	420.7018	15728.81
	2	9 - 2	436.4807	107.7065	14705.43
		2 - 9	218.2478	53.85544	17706.97
	3	8 - 3	1.796688E-02	4.456534E-03	14102.26
		3 - 8	1.487454E-03	5.798084E-05	17405.39
	4	7 - 4	436.4417	107.6974	14707.46
		4 - 7	218.2133	53.84655	17707.99
	5	6 - 5	3425.923	841.3962	10745.99
		5 - 6	1712.969	420.7003	15726.90

Tabel 41.

L	E	Kolom	MD, k	ML, k	ME, k	Mu ,km
3	19	20 - 11	3419.914	917.7675	3616.017	19741.84
		11 - 20	3678.882	921.7875	1600.406	11552.41
	20	19 - 12	468.6243	128.7661	5402.363	23317.18
		12 - 19	419.7250	105.3567	3841.826	16687.00
	21	18 - 13	1.138336E-03	5.136772E-04	5147.606	21619.95
		13 - 18	1.053364E-02	2.505017E-03	3591.869	15085.86
	22	17 - 14	468.5982	128.7580	5403.663	23322.61
		14 - 17	419.7389	105.3592	3840.108	16679.81
	23	15 - 15	3419.894	917.7605	3614.537	19735.59
		15 - 16	3678.880	921.7855	1603.818	11575.13
2	10	11 - 10	4123.660	995.6653	6994.952	34754.09
		10 - 11	4488.632	1095.280	4753.046	25825.90
	11	12 - 9	449.5669	106.4866	10418.337	44340.87
		9 - 12	540.3250	131.4802	9379.437	40099.03
	12	13 - 8	7.475428E-03	1.839167E-03	9998.560	41993.96
		8 - 13	5.176826E-03	8.206181E-04	8716.610	36609.77
	13	14 - 7	449.5732	106.4876	10416.43	44332.87
		7 - 14	540.2879	131.4702	9380.274	40102.50
	14	15 - 6	4123.657	995.6625	6998.261	34767.98
		6 - 15	4488.602	1095.272	4751.320	25818.61
1	1	10 - 1	2995.582	735.6653	8531.584	39750.51
		1 - 10	1712.977	420.7018	15728.81	68301.36
	2	9 - 2	381.6472	94.17569	11990.89	50861.35
		2 - 9	218.2478	53.85544	17706.97	74654.98

	3	8 - 3	1.633758E-02	4.034740E-03	11463.49	48146.68
		3 - 8	1.487454E-03	5.798084E-04	17405.39	73102.64
	4	7 - 4	381.6143	94.16809	11992.67	50868.79
		4 - 7	218.2133	53.84655	17707.99	74659.22
	5	6 - 5	2995.541	735.6965	8528.23	39736.36
		5 - 6	1712.969	420.7003	15726.90	68293.33

5. Mencari gaya aksial kolom ($P_{u,k}$) dengan cara sebagai berikut :

- a. Menentukan momen kapasitas balok sesuai dengan Persamaan (3.68)
- b. Menentukan gaya aksial kolom pada join akibat berat sendiri kolom dan beban gravitasi tak berfaktor, yaitu :

$$N_g = \sum_i^n (N_D + N_L + BS_{\text{kolom}})$$

dengan :

$$N_D = \frac{1}{2} \cdot Q_D \cdot L$$

$$N_L = \frac{1}{2} \cdot Q_L \cdot L$$

$$BS_{\text{kolom}} = b \cdot h \cdot h_k \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

dimana, N_D adalah gaya aksial kolom karena beban mati balok, N_L adalah gaya aksial kolom karena beban hidup balok, dan BS_{kolom} adalah berat sendiri kolom, serta \sum adalah jumlah total gaya aksial ditinjau dari join yang dimaksud dan seluruh gaya aksial dari tingkat di atasnya.

Tabel 42.

L	E	Balok	QD	QL	ND	NL
3	27	20 - 19	1635	446	5886.000	1605.600
		19 - 20	1635	446	5886.000	1605.600
	26	19 - 18	1635	446	5886.000	1605.600
		18 - 19	1635	446	5886.000	1605.600
	25	18 - 17	1635	446	5886.000	1605.600

		17 - 18	1635	446	5886.000	1605.600
	24	17 - 16	1635	446	5886.000	1605.600
		16 - 17	1635	446	5886.000	1605.600
2	18	11 - 12	3035	743	10926.00	2674.600
		12 - 11	3035	743	10926.00	2674.600
	17	12 - 13	3035	743	10926.00	2674.600
		13 - 12	3035	743	10926.00	2674.600
	16	13 - 14	3035	743	10926.00	2674.600
		14 - 13	3035	743	10926.00	2674.600
	15	14 - 15	3035	743	10926.00	2674.600
		15 - 14	3035	743	10926.00	2674.600
1	9	10 - 9	3035	743	10926.00	2674.600
		9 - 10	3035	743	10926.00	2674.600
	8	9 - 8	3035	743	10926.00	2674.600
		8 - 9	3035	743	10926.00	2674.600
	7	8 - 7	3035	743	10926.00	2674.600
		7 - 8	3035	743	10926.00	2674.600
	6	7 - 6	3035	743	10926.00	2674.600
		6 - 7	3035	743	10926.00	2674.600

Tabel 43.

L	E	Kolom	ND, ki	ND, ka	ND	NL, ki	NL, ka	NL
3	19	20 - 11	-	5886.000	5886.000	-	1605.600	1605.600
		11 - 20	-	-	-	-	-	-
	20	19 - 12	5886.000	5886.000	11772.00	1605.600	1605.600	3211.200
		12 - 19	-	-	-	-	-	-
	21	18 - 13	5886.000	5886.000	11772.00	1605.600	1605.600	3211.200
		13 - 18	-	-	-	-	-	-
	22	17 - 14	5886.000	5886.000	11772.00	1605.600	1605.600	3211.200
		14 - 17	-	-	-	-	-	-
	23	15 - 15	5886.000	-	5886.000	1605.600	-	1605.600
		15 - 16	-	-	-	-	-	-
2	10	11 - 10	-	10926.00	10926.00	-	2674.600	2674.600
		10 - 11	-	-	-	-	-	-
	11	12 - 9	10926.00	10926.00	21852.00	2674.600	2674.600	5349.200
		9 - 12	-	-	-	-	-	-
	12	13 - 8	10926.00	10926.00	21852.00	2674.600	2674.600	5349.200
		8 - 13	-	-	-	-	-	-
	13	14 - 7	10926.00	10926.00	21852.00	2674.600	2674.600	5349.200
		7 - 14	-	-	-	-	-	-
	14	15 - 6	10926.00	-	10926.00	2674.600	-	2674.600
		6 - 15	-	-	-	-	-	-
1	1	10 - 1	-	10926.00	10926.00	-	2674.600	2674.600
		1 - 10	-	-	-	-	-	-
	2	9 - 2	10926.00	10926.00	21852.00	2674.600	2674.600	5349.200

		2 - 9	-	-	-	-	-	-
3		8 - 3	10926.00	10926.00	21852.00	2674.600	2674.600	5349.200
		3 - 8	-	-	-	-	-	-
4		7 - 4	10926.00	10926.00	21852.00	2674.600	2674.600	5349.200
		4 - 7	-	-	-	-	-	-
5		6 - 5	10926.00	-	10926.00	2674.600	-	2674.600
		5 - 6	-	-	-	-	-	-

d. Menentukan faktor reduksi gaya aksial kolom (R_v) yaitu :

$$R_v = 1,0 \quad \text{untuk } 1 < n \leq 4$$

$$R_v = 1,10 - 1,125 n \quad \text{untuk } 4 < n \leq 20$$

$$R_v = 0,6 \quad \text{untuk } n > 20.$$

e. Menentukan gaya aksial kolom ($P_{u,k}$), yaitu :

$$P_{u,k} = R_v \cdot 0,70 \cdot \left(\frac{M_{kap,i} + M'_{kap,i}}{L'_{ki}} + \frac{M_{kap,a} + M'_{kap,a}}{L'_{ka}} \right) + 1,05 \cdot N_g$$

Tabel 44.

L	E	Kolom	ND, k	NL, k	BS. Kol	Ng	ΣNg	$1.05 \Sigma Ng$
3	19	20 - 11	5886.000	1605.600	1701.000	9192.600	9192.600	9652.230
		11 - 20	-	-	-	15301.60	15301.60	16066.68
	20	19 - 12	11772.00	3211.200	1701.000	16684.20	16684.20	17518.41
		12 - 19	-	-	-	28902.20	28902.20	30347.31
	21	18 - 13	11772.00	3211.200	1701.000	16684.20	16684.20	17518.41
		13 - 18	-	-	-	28902.20	28902.20	30347.31
	22	17 - 14	11772.00	3211.200	1701.000	16684.20	16684.20	17518.41
		14 - 17	-	-	-	28902.20	28902.20	30347.31
	23	15 - 15	5886.000	1605.600	1701.000	9192.600	9192.600	9652.230
		15 - 16	-	-	-	15301.60	15301.60	16066.68
2	10	11 - 10	10926.00	2674.600	1701.000	15301.60	24494.20	25718.91
		10 - 11	-	-	-	15301.60	30603.20	32133.36
	11	12 - 9	21852.00	5349.200	1701.000	28902.20	45586.40	47865.72
		9 - 12	-	-	-	28902.20	57804.40	60694.62
	12	13 - 8	21852.00	5349.200	1701.000	28902.20	45586.40	47865.72
		8 - 13	-	-	-	28902.20	57804.40	60694.62
	13	14 - 7	21852.00	5349.200	1701.000	28902.20	45586.40	47865.72
		7 - 14	-	-	-	28902.20	57804.40	60694.62
	14	15 - 6	10926.00	2674.600	1701.000	15301.60	24494.20	25718.91
		6 - 15	-	-	-	15301.60	30603.20	32133.36

1	1	10 - 1	10926.00	2674.600	1701.000	15544.60	40038.80	42040.74
		1 - 10	-	-	-	15544.60	46147.80	48455.19
	2	9 - 2	21852.00	5349.200	1701.000	29145.20	74731.60	78468.18
		2 - 9	-	-	-	29145.20	86949.60	91927.08
	3	8 - 3	21852.00	5349.200	1701.000	29145.20	74731.60	78468.18
		3 - 8	-	-	-	29145.20	86949.60	91927.08
	4	7 - 4	21852.00	5349.200	1701.000	29145.20	74731.60	78468.18
		4 - 7	-	-	-	29145.20	86949.60	91927.08
	5	6 - 5	10926.00	2674.600	1701.000	15544.60	40038.80	42040.74
		5 - 6	-	-	-	15544.60	46147.80	48455.19

Tabel 45.

L	E	Kolom	Rv	M'kap i	M kap i	M kap a	M'kap a	Nu, k
3	19	20 - 11	1.0	-	-	21021.68	40829.25	16066.40
		11 - 20		-	-	21021.68	40829.25	22480.85
	20	19 - 12		21021.68	40829.25	21021.68	21021.68	15464.29
		12 - 19		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	30347.31
	21	18 - 13		21021.68	21021.68	21021.68	21021.68	17518.41
		13 - 18		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	31347.31
	22	17 - 14		21021.68	21021.68	21021.68	21021.68	17518.41
		14 - 17		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	30347.31
	23	15 - 15		21021.68	21021.68	-	-	5292.178
		15 - 16		21021.68	40829.25	-	-	9652.509
2	10	11 - 10	1.0	-	-	21021.68	40829.25	32133.08
		10 - 11		-	-	21021.68	40829.25	38547.53
	11	12 - 9		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	47865.72
		9 - 12		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	60694.62
	12	13 - 8		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	47865.72
		8 - 13		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	60694.62
	13	14 - 7		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	47865.72
		7 - 14		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	60694.62
	14	15 - 6		21021.68	40829.25	-	-	19304.74
		6 - 15		21021.68	40829.25	-	-	25719.19
1	1	10 - 1	1.0	-	-	21021.68	40829.25	48454.91
		1 - 10		-	-	-	-	48455.19
	2	9 - 2		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	78468.18
		2 - 9		-	-	-	-	91297.08
	3	8 - 3		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	78468.18
		3 - 8		-	-	-	-	91297.08
	4	7 - 4		21021.68	40829.25	21021.68	40829.25	78468.18
		4 - 7		-	-	-	-	91297.08
	5	6 - 5		21021.68	40829.25	-	-	48454.91
		5 - 6		-	-	-	-	48455.19

f. Dalam segala hal, Pu, k tidak boleh lebih dari :

$$P_{u,k \text{ maks}} = 1,05 (N_{D,k} + N_{L,k} + (4 / K). N_{E,k})$$

dimana, $N_{D,k}$, $N_{L,k}$, dan $N_{E,k}$ adalah gaya aksial kolom akibat beban gravitasi tak berfaktor dan akibat beban gempa.

Tabel 46.

L	E	Balok	M_D	M_L	M_E
3	27	20 - 19	-4260.187	-1135.509	4213.713
		19 - 20	8109.969	2219.844	3526.986
	26	19 - 18	-7536.170	-2063.358	2961.534
		18 - 19	6826.737	1858.407	3082.810
	25	18 - 17	-6826.682	-1858.390	3081.188
		17 - 18	7536.194	2063.367	2958.291
	24	17 - 16	-8109.933	-2219.831	3526.075
		16 - 17	4260.264	1135.533	4216.757
2	18	11 - 12	-9662.310	-2382.713	10585.22
		12 - 11	14564.48	3560.813	9379.958
	17	12 - 13	-13472.75	-3293.053	8290.504
		13 - 12	12930.43	3168.117	8406.311
	16	13 - 14	-12930.38	-3168.096	8408.129
		14 - 13	13472.84	3293.081	8294.141
	15	14 - 15	-14564.38	-3560.781	9380.354
		15 - 14	9662.390	2382.740	10580.55
1	9	10 - 9	-8933.992	-2184.179	16878.06
		9 - 10	14773.52	3617.361	14302.05
	8	9 - 8	-13679.55	-3350.007	12118.77
		8 - 9	12827.06	3139.645	12511.50
	7	8 - 7	-12826.98	-3139.623	12510.18
		7 - 8	13679.59	3350.018	12116.13
	6	7 - 6	-14773.49	-3617.348	14301.91
		6 - 7	8934.084	2184.206	16881.73

Tabel 47.

L	E	Balok	$N_{D,k}$	$N_{L,k}$	$N_{E,k}$
3	27	20 - 19	591.6926	157.7096	585.2379
		19 - 20	1126.385	308.3117	489.8592
	26	19 - 18	1046.690	286.5775	411.3242
		18 - 19	948.1579	258.1121	428.1681
	25	18 - 17	948.1503	258.1097	427.9428
		17 - 18	1046.694	286.5788	410.8738
	24	17 - 16	1126.379	308.3099	489.7326
		16 - 17	591.7033	157.7129	585.6607
2	18	11 - 12	1341.988	330.9324	1470.169
		12 - 11	2022.844	494.5574	1302.772
	17	12 - 13	1871.215	457.3685	1151.459

		13 - 12	1795.893	440.0163	1167.543
	16	13 - 14	1795.886	440.0133	1167.796
		14 - 13	1871.228	457.3724	1151.964
	15	14 - 15	2022.831	494.5529	1302.827
		15 - 14	1341.999	330.9361	1469.521
1	9	10 - 9	1240.832	303.3582	2344.175
		9 - 10	2051.878	502.4113	1986.396
	8	9 - 8	1899.938	465.2788	1683.163
		8 - 9	1781.536	436.0618	1737.708
	7	8 - 7	1781.525	436.0588	1737.525
		7 - 8	1899.943	465.2803	1682.796
	6	7 - 6	2051.874	502.4094	1986.376
		6 - 7	1240.845	303.3619	2344.685

Tabel 48.

L	E	Kolom	ND, k i	ND, k a	ND, k pa	NL, k i	NL, k a	NL, k pa
3	19	20 - 11	-	591.6926	591.6926	-	157.7096	157.7096
		11 - 20	-	1341.988	1341.988	-	330.9324	330.9324
	20	19 - 12	1126.385	1046.690	2173.073	308.3117	286.5775	594.8892
		12 - 19	2022.844	1871.215	3894.059	494.5574	457.3685	951.9259
	21	18 - 13	948.1579	948.1503	1896.308	258.1121	258.1097	516.2218
		13 - 18	1795.893	1795.886	3591.779	440.0163	440.0133	880.0296
	22	17 - 14	1046.694	1126.379	2173.073	286.5788	308.3099	594.8887
		14 - 17	1871.228	2022.831	3894.059	457.3724	494.5529	951.9253
	23	15 - 15	591.7033	-	591.7033	157.7129	-	157.7129
		15 - 16	1341.999	-	1341.999	330.9361	-	330.9361
2	10	11 - 10	-	1341.988	1341.988	-	330.9324	330.9324
		10 - 11	-	1240.878	1240.878	-	303.3582	303.3582
	11	12 - 9	2022.844	1871.215	3894.059	494.5574	457.3685	951.9259
		9 - 12	2051.878	1899.938	3951.816	502.4113	465.2788	967.6901
	12	13 - 8	1795.893	1795.886	3591.779	440.0163	440.0133	880.0296
		8 - 13	1781.536	1781.525	3563.061	436.0618	436.0588	872.1206
	13	14 - 7	1871.228	2022.831	3894.059	457.3724	494.5529	951.9253
		7 - 14	1899.943	2051.874	3951.817	465.2803	502.4094	967.6897
	14	15 - 6	1341.999	-	1341.999	330.9361	-	330.9361
		6 - 15	1240.845	-	1240.845	303.3619	-	303.3619
1	1	10 - 1	-	1240.878	1240.878	-	303.3582	303.3582
		1 - 10	-	1240.878	1240.878	-	303.3582	303.3582
	2	9 - 2	2051.878	1899.938	3951.816	502.4113	465.2788	967.6901
		2 - 9	2051.878	1899.938	3951.816	502.4113	465.2788	967.6901
	3	8 - 3	1781.536	1781.525	3563.061	436.0618	436.0588	872.1206
		3 - 8	1781.536	1781.525	3563.061	436.0618	436.0588	872.1206
	4	7 - 4	1899.943	2051.874	3951.817	465.2803	502.4094	967.6897
		4 - 7	1899.943	2051.874	3951.817	465.2803	502.4094	967.6897

	5	6 - 5	1240.845	-	1240.845	303.3619	-	303.3619
		5 - 6	1240.845	-	1240.845	303.3619	-	303.3619

Tabel 49.

L	E	Kolom	NE, k i	NE, k a	NE, k pa	Nu, k m	
3	19	20 - 11	-	585.2379	585.2379	3244.871	
		11 - 20	-	1470.169	1470.169	7931.276	
	20	19 - 12	489.8592	411.3242	901.1834	6691.331	
		12 - 19	1302.772	1151.459	2454.231	15396.05	
	21	18 - 13	428.1681	427.9428	856.1109	6128.822	
		13 - 18	1167.543	1167.796	2335.339	14503.82	
	22	17 - 14	410.8738	489.7326	900.6064	6688.907	
		14 - 17	1151.964	1302.827	2454.791	15398.41	
	23	15 - 15	585.6607	-	585.6607	3246.662	
		15 - 16	1469.521	-	1469.521	7928.570	
	2	10	11 - 10	-	1470.169	1470.169	7931.276
			10 - 11	-	2344.175	2344.175	11466.98
11		12 - 9	1302.772	1151.459	2454.231	15396.05	
		9 - 12	1986.396	1683.163	3669.559	20577.63	
12		13 - 8	1167.543	1167.796	2335.339	14503.82	
		8 - 13	1737.708	1737.525	3475.233	19252.92	
13		14 - 7	1151.964	1302.827	2454.791	15398.41	
		7 - 14	1682.796	1986.376	3669.172	20576.00	
14		15 - 6	1469.521	-	1469.521	7928.570	
		6 - 15	2344.685	-	2344.685	11469.09	
1		1	10 - 1	-	2344.175	2344.175	11466.98
			1 - 10	-	2344.175	2344.175	11466.98
	2	9 - 2	1986.396	1683.163	3669.559	20577.63	
		2 - 9	1986.396	1683.163	3669.559	20577.63	
	3	8 - 3	1737.708	1737.525	3475.233	19252.92	
		3 - 8	1737.708	1737.525	3475.233	19252.92	
	4	7 - 4	1682.796	1986.376	3669.172	20576.00	
		4 - 7	1682.796	1986.376	3669.172	20576.00	
	5	6 - 5	2344.685	-	2344.685	11469.09	
		5 - 6	2344.685	-	2344.685	11469.09	

6. Mencari kuat geser kolom ($V_{u,k}$) dengan cara sebagai berikut :

- a. Menentukan kuat lentur kolom.
- b. Menentukan kuat geser kolom ($V_{u,k}$), yaitu :

$$V_{u,k} = \frac{M_{u,ka} + M_{u,kb}}{h'k}$$

dimana, $h'k$ adalah tinggi bersih kolom yang ditinjau.

Tabel 50.

L	E	Kolom	Mu, k a	Mu, k i	h'k	Vu, k	
3	19	20 - 11	12781.19	6390.594		6726.942	
		11 - 20					
	20	19 - 12	37605.39	18802.69	2.85	15566.69	
		12 - 19					
	21	18 - 13	25562.38	18802.69		15566.69	
		13 - 18					
22	17 - 14	25562.38	18802.69		15566.69		
	14 - 17						
23	15 - 15	12781.19	12412.10		8839.751		
	15 - 16						
2	10	11 - 10	7349.183	7349.183	2.85	5157.321	
		10 - 11					
	11	12 - 9	21623.10	21623.10		15174.11	
		9 - 12					
	12	13 - 8	21623.10	21623.10		15174.11	
		8 - 13					
	13	14 - 7	21623.10	21623.10		15174.11	
		7 - 14					
	14	15 - 6	14273.91	14273.91		10016.79	
		6 - 15					
	1	1	10 - 1	6711.434	14381.64	3.675	5739.612
			1 - 10				
		2	9 - 2	19746.69	42314.29		16887.34
			2 - 9				
3		8 - 3	19746.69	42314.29		16887.34	
		3 - 8					
4		7 - 4	19746.69	42314.29		16887.34	
		4 - 7					
5		6 - 5	13035.25	27932.66		11147.73	
		5 - 6					

c. Dalam segala hal, $V_{u,k}$ tidak lebih dari :

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

dimana, $V_{D,k}$, $V_{L,k}$ dan $V_{E,k}$ adalah gaya geser kolom karena beban gravitasi tak berfaktor dan gaya geser kolom akibat beban gempa, serta K adalah faktor jenis struktur bangunan.

Tabel 51.

L	E	Kolom	MD, k	ML, k	ME, k
3	19	20 - 11	4260.231	1135.524	4233.509
		11 - 20	4519.199	1139.544	2217.898
	20	19 - 12	573.7822	156.4803	6496.640

		12 - 19	524.8829	133.0709	4936.103
	21	18 - 13	0.002520	8.911445E-04	6182.138
		13 - 18	0.011915	2.864484E-03	4626.401
	22	17 - 14	573.7547	156.4715	6497.890
		14 - 17	524.8954	133.0727	4934.335
	23	15 - 15	4260.208	1135.516	4232.258
		15 - 16	4519.194	1139.541	2221.539
2	10	11 - 10	5143.136	1243.180	8385.616
		10 - 11	5508.108	1342.795	6143.710
	11	12 - 9	566.7449	134.6558	12761.89
		9 - 12	657.5030	159.6494	11722.99
	12	13 - 8	8.973135E-03	2015018E-03	12213.96
		8 - 13	6.674550E-03	1.135469E-03	10932.01
	13	14 - 7	566.7476	134.6558	12759.86
		7 - 14	657.4623	159.6384	11723.70
	14	15 - 6	5143.129	1243.176	8389.112
		6 - 15	5508.074	1342.786	6142.171
1	1	10 - 1	3425.969	841.4081	10749.11
		1 - 10	1712.977	420.7018	15728.81
	2	9 - 2	436.4807	107.7065	14705.43
		2 - 9	218.2478	53.85544	17706.97
	3	8 - 3	1.796688E-02	4.456534E-03	14102.26
		3 - 8	1.487454E-03	5.798084E-05	17405.39
	4	7 - 4	436.4417	107.6974	14707.46
		4 - 7	218.2133	53.84655	17707.99
	5	6 - 5	3425.923	841.3962	10745.99
		5 - 6	1712.969	420.7003	15726.90

Tabel 52.

L	E	Kolom	VD, k	VL, k	VE, k	Vu, k m	Vu, k pa
3	19	20 - 11	1217.209	324.4354	1209.574	6698.937	6698.937
		11 - 20	1291.200	325.5840	633.6851	4359.101	4359.101
	20	19 - 12	163.9378	44.70780	1856.183	8015.047	8015.047
		12 - 19	149.9665	38.02030	1410.315	6120.709	6120.709
	21	18 - 13	0.000720	0.000255	1766.325	7418.566	7418.566
		13 - 18	0.003404	0.008184	1321.829	5551.694	5551.694
	22	17 - 14	163.9299	44.70610	1856.540	8016.536	8016.536
		14 - 17	149.9701	38.02080	1409.810	6118.592	6118.592
	23	15 - 15	1217.202	324.4331	1209.217	6697.428	6697.428
		15 - 16	1291.198	325.5831	634.7254	4363.467	4363.467
2	10	11 - 10	1469.467	355.1943	2395.890	11978.63	11978.63
		10 - 11	1573.745	383.6557	1755.346	9427.724	9427.724
	11	12 - 9	161.9271	38.47310	3646.254	15524.69	15524.69
		9 - 12	187.8580	45.61410	3349.426	14312.73	14312.73
	12	13 - 8	0.002564	0.000615	3489.703	14656.76	14656.76
		8 - 13	0.001907	0.000324	3123.431	13118.41	13118.41

**PROSEDUR
MENJALANKAN PROGRAM**

PROSEDUR MENJALANKAN PROGRAM

1. Input Data

Cara input data dengan memilih kotak bertuliskan Data Baru pada layar monitor, tekan enter dan tulis nama file. Input data awal dapat juga dilakukan lewat Edit dari DOS dan WS non Dokumen. Kemudian disimpan dan diberi nama file. Tiap input data analisa struktur, data balok dan kolom diberi nama berbeda.

2. Eksekusi

Cara mengeksekusi analisa struktur, desain balok serta kolom, dan capacity design dilakukan sendiri-sendiri sebagai berikut :

a. Analisa Struktur

Pilih kotak tertulis Analisis Struktur pada layar monitor, tekan enter, tulis nama file, jumlah iterasi yang dikehendaki dan tekan enter.

b. Desain Balok dan Kolom

Pilih kotak Perancangan Beton pada layar monitor, tekan enter, tulis nama file dan tekan enter.

c. Capacity Design

Pilih kotak Perancangan Beton pada layar monitor, tekan enter, pilih Capacity Design, tulis nama file, tekan enter.

3.Melihat Hasil

Hasil dapat dilihat dengan cara pilih Kotak Baca Hasil pada layar monitor, tekan enter, tulis nama file dan tekan enter

**PEDOMAN
ISIAN INPUT DATA
PROGRAM**

PEDOMAN ISIAN INPUT DATA

PROGRAM UNIITS M-1

1. Input Data Analisa Struktur

Data Struktur dan Jenis Beban :

TingBang	JumBen	PanBan	JarPor	JumJoi	JumEle
WilGem	JenTan	FJS	FK	FRBH	Fc
Fy					

TingBang = tinggi bangunan

JumBen = jumlah bentang

PanBan = panjang bangunan

JarPor = Jarak Portal

JumJoi = jumlah join

JumEle = jumlah elemen

WilGem = wilayah gempa

JenTan = jenis tanah

FJS = faktor jenis struktur

FK = faktor keutamaan

FRBH = faktor reduksi beban hidup

Fc = kuat tekan beton

Fy = kuat tarik baja

Data Elemen dan Join Struktur :

T	E	JE	J1	J2	KR	L	TG	LB	BH	BM
---	---	----	----	----	----	---	----	----	----	----

E = elemen

J = join

JE = jenis elemen

LB = lebar tampang

TG = tinggi tampang

L = panjang batang

BH = beban hidup

BM = beban mati

2. INPUT DATA DESAIN BALOK DAN KOLOM

PD	PT	DS	DB	DK	DKS	SB
----	----	----	----	----	-----	----

PD = diameter tulangan pokok desak balok

PT = diameter tulangan pokok tarik balok

DS = diameter tulangan sengkang balok

DB = perbandingan dimensi balok

DK = diameter tulangan pokok kolom

DKS = diameter tulangan sengkang kolom

SB = selimut beton

3. INPUT DATA CAPACITY DESIGN

D	DS	SB
---	----	----

D = diameter tulangan pokok

DS = diameter tulangan sengkang

SB = selimut beton

Data Struktur dan Jenis Beban :

3 4 28.8 20 27 3.6 2 "L" 1 1.5 .5 30 300

Data Elemen dan Join Struktur :

3	27	"B"	20	19	6629.322	7.2	35	65	446	1635
3	26	"B"	19	18	6629.322	7.2	35	65	446	1635
3	25	"B"	18	17	6629.322	7.2	35	65	446	1635
3	24	"B"	17	16	6629.322	7.2	35	65	446	1635
3	23	"K"	16	15	24620.93	3.5	45	45	0	0
3	22	"K"	17	14	24620.93	3.5	45	45	0	0
3	21	"K"	18	13	24620.93	3.5	45	45	0	0
3	20	"K"	19	12	24620.93	3.5	45	45	0	0
3	19	"K"	20	11	24620.93	3.5	45	45	0	0
2	18	"B"	11	12	6629.322	7.2	35	65	743	3035
2	17	"B"	12	13	6629.322	7.2	35	65	743	3035
2	16	"B"	13	14	6629.322	7.2	35	65	743	3035
2	15	"B"	14	15	6629.322	7.2	35	65	743	3035
2	14	"K"	15	6	24620.93	3.5	45	45	0	0
2	13	"K"	14	7	24620.93	3.5	45	45	0	0
2	12	"K"	13	8	24620.93	3.5	45	45	0	0
2	11	"K"	12	9	24620.93	3.5	45	45	0	0
2	10	"K"	11	10	24620.93	3.5	45	45	0	0
1	9	"B"	10	9	6629.322	7.2	35	65	743	3035
1	8	"B"	9	8	6629.322	7.2	35	65	743	3035
1	7	"B"	8	7	6629.322	7.2	35	65	743	3035
1	6	"B"	7	6	6629.322	7.2	35	65	743	3035
1	5	"K"	6	5	16494.1	4	45	45	0	0
1	4	"K"	7	4	16494.1	4	45	45	0	0
1	3	"K"	8	3	16494.1	4	45	45	0	0
1	2	"K"	9	2	16494.1	4	45	45	0	0
1	1	"K"	10	1	16494.1	4	45	45	0	0

Data Desain Balok dan Kolom :

25 25 10 3 25 10 40

Data Capacity Design :

25 10 40

"L" = Jenis Tanah "Lunak" / "Keras"
 "B" = Balok
 "K" = Kolom

CONTOH DATA STRUKTUR

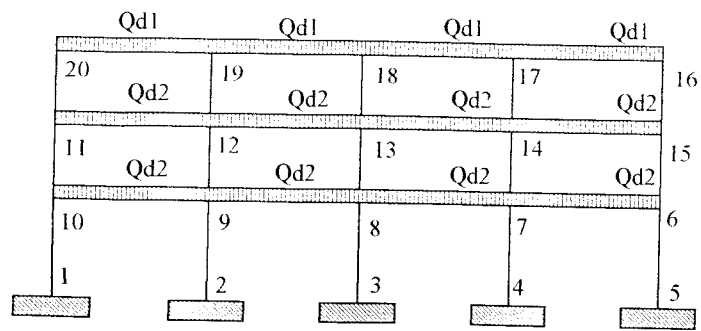
Program UNIITS M.1
Data Struktur Rencana

File = C:3t4b
 Jumlah Tingkat = 3 Lantai
 Jumlah Bentang = 4 Bentang
 Panjang Bangunan = 28.8 m
 Jarak Portal = 3.6 m
 Jumlah Join = 20 Join
 Jumlah Elemen = 27 Elemen
 Wilayah Gempa = 2
 Jenis Tanah = Lunak
 Faktor Jenis Struktur = 1
 Faktor Keutamaan = 1.5
 Faktor Reduksi Beban Hidup = .5
 Kuat Tekan Beton = 30 Mpa
 Batas Leleh Baja = 300 Mpa

Program UNIITS M.1
Data Elemen Struktur

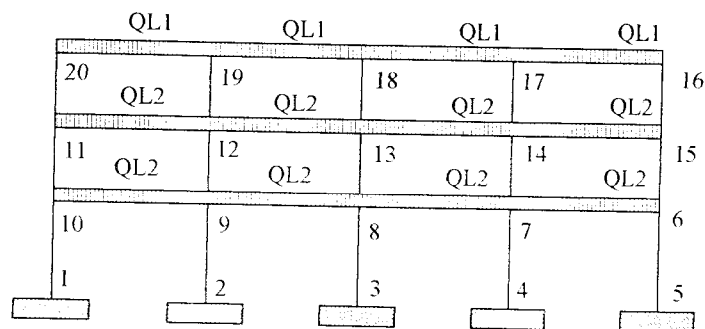
No. Eln	Jenis Eln	Join (1)	Join (2)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Panjang (m)	Beban (Kg/m)	
							Hidup	Mati
27	B	20	19	35	65	7.2	4.4600E+02	1.6350E+03
26	B	19	18	35	65	7.2	4.4600E+02	1.6350E+03
25	B	18	17	35	65	7.2	4.4600E+02	1.6350E+03
24	B	17	16	35	65	7.2	4.4600E+02	1.6350E+03
23	K	16	15	45	45	3.5	4.4600E+02	1.6350E+03
22	K	17	14	45	45	3.5		
21	K	18	13	45	45	3.5		
20	K	19	12	45	45	3.5		
19	K	20	11	45	45	3.5		
18	B	11	12	35	65	7.2	7.4300E+02	3.0350E+03
17	B	12	13	35	65	7.2	7.4300E+02	3.0350E+03
16	B	13	14	35	65	7.2	7.4300E+02	3.0350E+03
15	B	14	15	35	65	7.2	7.4300E+02	3.0350E+03
14	K	15	6	45	45	3.5		
13	K	14	7	45	45	3.5		
12	K	13	8	45	45	3.5		
11	K	12	9	45	45	3.5		
10	K	11	10	45	45	3.5		
9	B	10	9	35	65	7.2	7.4300E+02	3.0350E+03
8	B	9	8	35	65	7.2	7.4300E+02	3.0350E+03
7	B	8	7	35	65	7.2	7.4300E+02	3.0350E+03
6	B	7	6	35	65	7.2	7.4300E+02	3.0350E+03
5	K	6	5	45	45	4		
4	K	7	4	45	45	4		
3	K	8	3	45	45	4		
2	K	9	2	45	45	4		
1	K	10	1	45	45	4		

A. Beban Mati



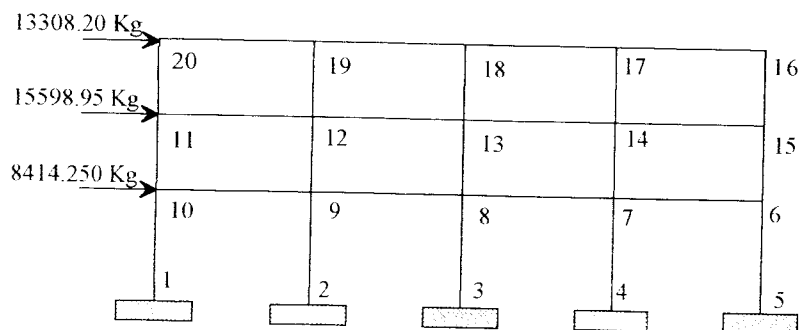
$Q_{d1} = 1635 \text{ kg/m}$
 $Q_{d2} = 3035 \text{ kg/m}$

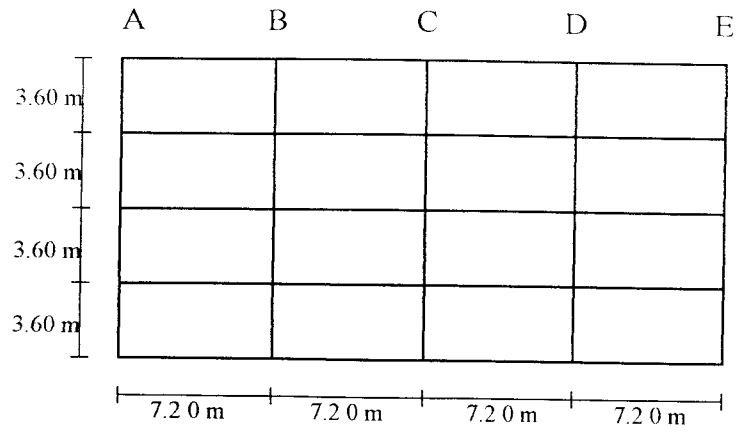
B. Beban Hidup



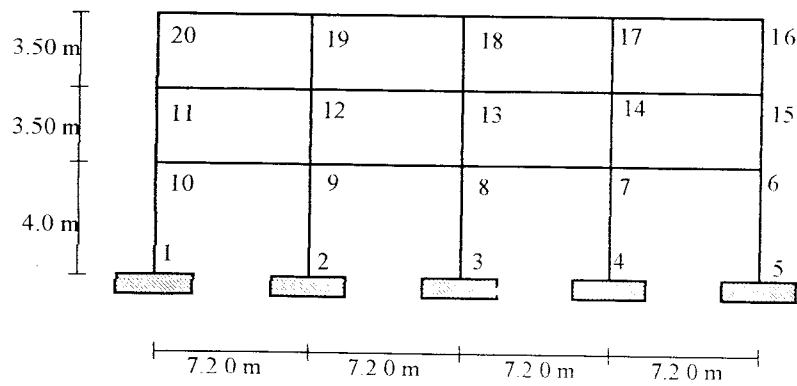
$Q_{L1} = 446 \text{ kg/m}$
 $Q_{L2} = 743 \text{ kg/m}$

C. Gaya Gempa





Gambar Denah



Gambar Portal

HASIL PERHITUNGAN

PROGRAM UNIITS M-1

<< HASIL PERHITUNGAN SK SNI T-15-1991-03 >>

Tingkat	Join 1:	Join 2:	Gaya Geser Kolom
3	16	15	6697.426
3	15	16	4363.467
3	17	14	8016.536
3	14	17	6118.592
3	18	13	7418.566
3	13	18	5551.686
3	19	12	8015.046
3	12	19	6120.709
3	20	11	6698.937
3	11	20	4359.1
2	15	6	10350.67
2	6	15	9425.863
2	14	7	15522.25
2	7	14	14313.57
2	13	8	14656.75
2	8	13	13118.41
2	12	9	15524.69

<< HASIL PERHITUNGAN SK SNI T-15-1991-03 >>

2	9	12	14312.73
2	11	10	5329.228
2	10	11	5329.228
1	6	5	8611.62
1	5	6	8611.62
1	7	4	10375.75
1	4	7	10375.75
1	8	3	10360.87
1	3	8	10360.87
1	9	2	11359.51
1	2	9	11359.51
1	10	1	5755.267
1	1	10	5755.267

Tingkat	Join 1:	Join 2:	Gaya Aksial
3	16	15	3246.662
2	15	6	7928.569
-	6	5	11469.09
3	17	14	6688.906
1	14	7	15398.4
1	7	4	20576.01
	18	13	6128.822
	13	8	14503.82
	8	3	19252.92
	19	12	6691.332
	12	9	15396.05
	9	2	20577.63
	20	11	3244.871
	11	10	7931.277
	10	1	11466.93

<< HASIL PERHITUNGAN CAPASITY DESIGN >>

tingkat	Join 1:	Join 2:	Gaya Geser Kolom
	20	11	12682.59
	19	12	29684.62
	18	13	29169.75
	17	14	29705.29
	16	15	12677.78
	15	16	9829.771
	14	17	16250.24
	13	18	15745.32
	12	19	15645.85
	11	20	5056.857
	15	6	22132.58
	14	7	34801.96
	13	8	33717.86
	12	9	33507.86
	11	10	11388.64
	10	11	7133.299
	9	12	22352.98
	8	13	22643.69

<< HASIL PERHITUNGAN CAPASITY DESIGN >>

	7	14	23533.66
	6	15	13853.38
	10	1	12999.6
	9	2	21182.95
	8	3	21347.04
	7	4	21806.34
	6	5	17344.37
	5	6	13235.05
	4	7	16080.69
	3	8	15646.04
	2	9	16079.23
	1	10	13237.81

<< HASIL PERHITUNGAN CAPASITY DESIGN >>

ngkat	Join 1:	Join 2:	Gaya Aksial
	20	19	3724.277
	19	20	8717.714
	18	19	8362.28
	17	18	8717.712
	16	17	3724.291
	15	14	10562.51
	14	13	19778.27
	13	12	19404.1
	12	11	19778.28
	11	12	7715.635
	10	9	10747.71
	9	10	29107.86
	8	9	28623.54
	7	8	29107.86
	6	7	16529.04

Program UNIITS M.1
 Hasil Perhitungan Momen Akhir Beban Gempa

Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)	Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)
1	10	-1.572881E+04	10	1	-1.074911E+04
2	9	-1.770697E+04	9	2	-1.470543E+04
3	8	-1.740539E+04	8	3	-1.410226E+04
4	7	-1.770799E+04	7	4	-1.470746E+04
5	6	-1.572690E+04	6	5	-1.074527E+04
6	7	1.688173E+04	7	6	1.430191E+04
6	15	-6.142171E+03	15	6	-8.389112E+03
7	8	1.211613E+04	8	7	1.251018E+04
7	14	-1.172370E+04	14	7	-1.275986E+04
8	9	1.251150E+04	9	8	1.211877E+04
8	13	-1.093201E+04	13	8	-1.221396E+04
9	10	1.430205E+04	10	9	1.687806E+04
9	12	-1.172299E+04	12	9	-1.276189E+04
10	11	-6.143710E+03	11	10	-8.385616E+03
11	12	1.058522E+04	12	11	9.379958E+03
11	20	-2.217898E+03	20	11	-4.233509E+03
12	13	8.290504E+03	13	12	8.406311E+03
12	19	-4.936103E+03	19	12	-6.496640E+03
13	14	8.408129E+03	14	13	8.294141E+03
13	18	-4.626401E+03	18	13	-6.182138E+03
14	15	9.380354E+03	15	14	1.058055E+04
14	17	-4.934335E+03	17	14	-6.497890E+03
15	16	-2.221539E+03	16	15	-4.232258E+03
16	17	4.216757E+03	17	16	3.526075E+03
17	18	2.958291E+03	18	17	3.081188E+03
18	19	3.082810E+03	19	18	2.961534E+03
19	20	3.526986E+03	20	19	4.213713E+03

Program UNIITS M.1
 Hasil Perhitungan Momen Akhir Beban Hidup

Join 1)	Join (2)	Momen (kg.m)	Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)
1	10	4.207018E+02	10	1	8.414081E+02
2	9	-5.385544E+01	9	2	-1.077065E+02
3	8	5.798084E-05	8	3	4.456534E-03
4	7	5.384655E+01	7	4	1.076974E+02
5	6	-4.207003E+02	6	5	-8.413962E+02
6	7	2.184206E+03	7	6	-3.617348E+03
6	15	-1.342786E+03	15	6	-1.243176E+03
7	8	3.350018E+03	8	7	-3.139623E+03
7	14	1.596384E+02	14	7	1.346558E+02
8	9	3.139645E+03	9	8	-3.350007E+03
8	13	1.135469E-03	13	8	-2.154018E-03
9	10	3.617361E+03	10	9	-2.184179E+03
9	12	-1.596494E+02	12	9	-1.346558E+02
10	11	1.342795E+03	11	10	1.243180E+03
11	12	-2.382713E+03	12	11	3.560813E+03
11	20	1.139544E+03	20	11	1.135524E+03
12	13	-3.293053E+03	13	12	3.168117E+03
12	19	-1.330709E+02	19	12	-1.564803E+02
13	14	-3.168096E+03	14	13	3.293081E+03
13	18	-2.864484E-03	18	13	-8.911445E-04
14	15	-3.560781E+03	15	14	2.382740E+03
14	17	1.330727E+02	17	14	1.564715E+02
15	16	-1.139541E+03	16	15	-1.135516E+03
16	17	1.135533E+03	17	16	-2.219831E+03
17	18	2.063367E+03	18	17	-1.858390E+03
18	19	1.858407E+03	19	18	-2.063358E+03
19	20	2.219844E+03	20	19	-1.135509E+03

Program UNIITS M.1

Momen Akhir Kombinasi $\mu = 1.05 \times (M_m + 0.6 \times M_h + M_g)$

Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)	Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)
1	10	-1.445158E+04	10	1	-7.159211E+03
2	9	-1.885541E+04	9	2	-1.596686E+04
3	8	-1.827566E+04	8	3	-1.480735E+04
4	7	-1.833034E+04	7	4	-1.491672E+04
5	6	-1.857690E+04	6	5	-1.540983E+04
6	7	2.848265E+04	7	6	-2.774088E+03
6	15	-1.307871E+04	15	6	-1.499205E+04
7	8	2.919602E+04	8	7	-2.310603E+03
7	14	-1.151898E+04	14	7	-1.271793E+04
8	9	2.858346E+04	9	8	-3.749324E+03
8	13	-1.147860E+04	13	8	-1.282467E+04
9	10	3.280829E+04	10	9	6.965239E+03
9	12	-1.310010E+04	12	9	-1.407990E+04
10	11	1.785788E+02	11	10	-2.621400E+03
11	12	-5.320535E+02	12	11	2.738497E+04
11	20	3.134279E+03	20	11	7.434384E+02
12	13	-7.515981E+03	13	12	2.439949E+04
12	19	-5.817870E+03	19	12	-7.522526E+03
13	14	-6.744264E+03	14	13	2.492997E+04
13	18	-4.857735E+03	18	13	-6.491248E+03
14	15	-7.686520E+03	15	14	2.275621E+04
14	17	-4.546076E+03	17	14	-6.121765E+03
15	16	-7.795680E+03	16	15	-9.632464E+03
16	17	9.616258E+03	17	16	-6.211544E+03
17	18	1.231913E+04	18	17	-5.103554E+03
18	19	1.157582E+04	19	18	-6.103283E+03
19	20	1.361730E+04	20	19	-7.641685E+02

Program UNIITS M.1

Momen Akhir dari Kombinasi Redistribusi Cara SKSNI

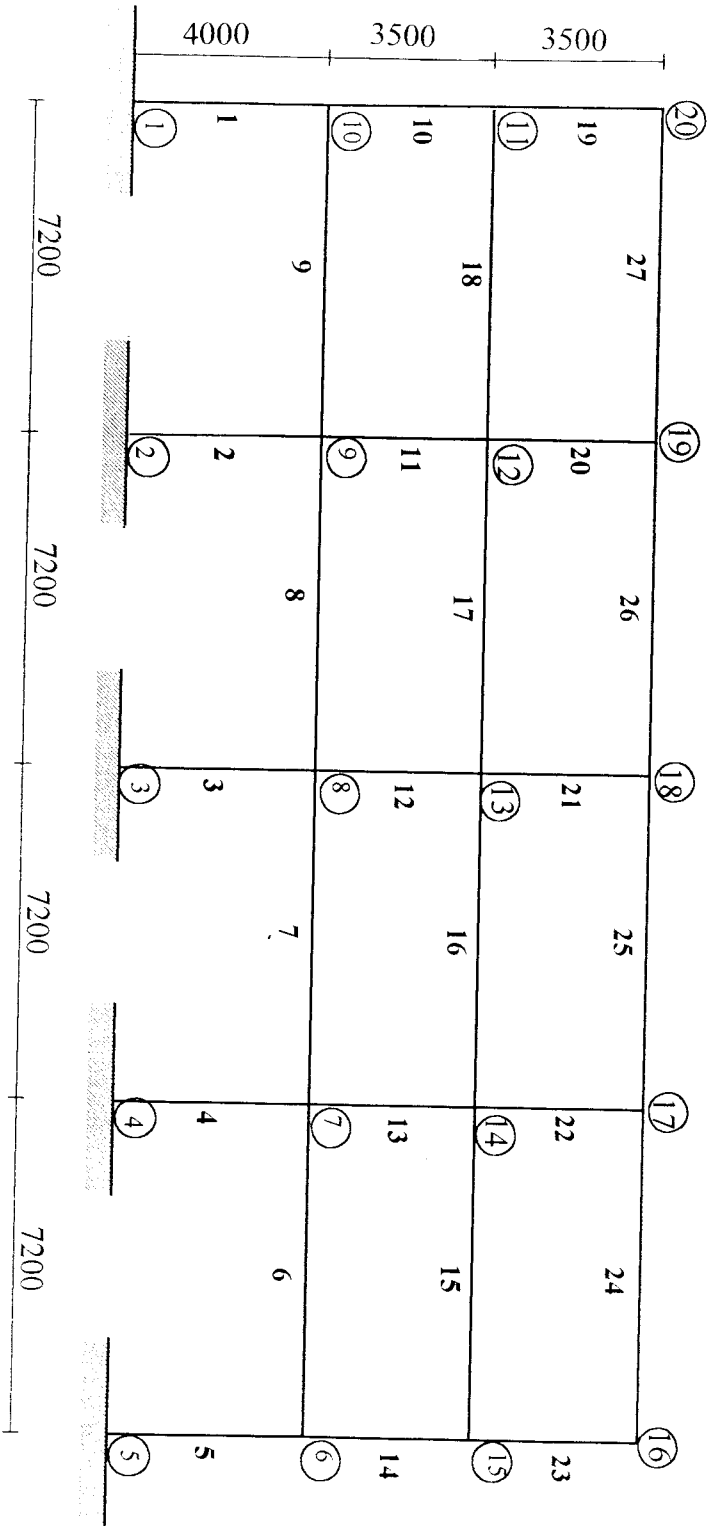
Join 1)	Join (2)	Momen (kg.m)	Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)
1	10	1.442087E+04	10	1	6.729738E+03
2	9	1.885541E+04	9	2	2.289079E+04
3	8	1.827566E+04	8	3	1.980054E+04
4	7	1.833034E+04	7	4	1.980054E+04
5	6	1.857690E+04	6	5	1.307080E+04
6	7	2.848265E+04	7	6	2.774088E+03
6	15	1.522550E+04	15	6	1.427390E+04
7	8	2.919602E+04	8	7	2.310603E+03
7	14	2.306462E+04	14	7	2.162308E+04
8	9	2.858346E+04	9	8	3.749324E+03
8	13	2.306462E+04	13	8	2.162308E+04
9	10	3.280829E+04	10	9	6.965239E+03
9	12	2.666429E+04	12	9	2.162308E+04
10	11	7.839122E+03	11	10	7.349177E+03
11	12	5.320535E+02	12	11	2.738497E+04
11	20	6.390589E+03	20	11	1.278118E+04
12	13	7.515981E+03	13	12	2.439949E+04
12	19	1.880268E+04	19	12	2.556236E+04
13	14	6.744264E+03	14	13	2.492997E+04
13	18	1.828310E+04	18	13	2.556236E+04
14	15	7.686520E+03	15	14	2.275621E+04
14	17	1.880268E+04	17	14	2.556236E+04
15	16	1.241209E+04	16	15	1.278118E+04
16	17	9.616258E+03	17	16	6.211544E+03
17	18	1.231913E+04	18	17	5.103554E+03
18	19	1.157582E+04	19	18	6.103283E+03
19	20	1.361730E+04	20	19	7.641685E+02

Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)	Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)
1	10	-1.418713E+04	10	1	-7.665738E+03
2	9	-1.790339E+04	9	2	-1.509826E+04
3	8	-1.740539E+04	8	3	-1.410224E+04
4	7	-1.751160E+04	7	4	-1.431466E+04
5	6	-1.726857E+04	6	5	-1.382860E+04
6	7	2.492241E+04	7	6	1.005769E+03
6	15	-1.109944E+04	15	6	-1.301793E+04
7	8	2.442776E+04	8	7	9.658976E+02
7	14	-1.113198E+04	14	7	-1.224979E+04
8	9	2.405585E+04	9	8	-1.928250E+02
8	13	-1.093200E+04	13	8	-1.221397E+04
9	10	2.759822E+04	10	9	8.837468E+03
9	12	-1.231474E+04	12	9	-1.327196E+04
10	11	-1.186413E+03	11	10	-3.756794E+03
11	12	1.889141E+03	12	11	2.248799E+04
11	20	1.849381E+03	20	11	-3.993010E+02
12	13	-3.834971E+03	13	12	2.004370E+04
12	19	-5.408498E+03	19	12	-7.013044E+03
13	14	-3.229213E+03	14	13	2.041970E+04
13	18	-4.626412E+03	18	13	-6.182141E+03
14	15	-3.727588E+03	15	14	1.927670E+04
14	17	-4.461929E+03	17	14	-5.981511E+03
15	16	-6.288813E+03	16	15	-8.066445E+03
16	17	8.050995E+03	17	16	-3.772865E+03
17	18	9.740865E+03	18	17	-3.062826E+03
18	19	9.226873E+03	19	18	-3.821019E+03
19	20	1.082596E+04	20	19	3.795447E+02

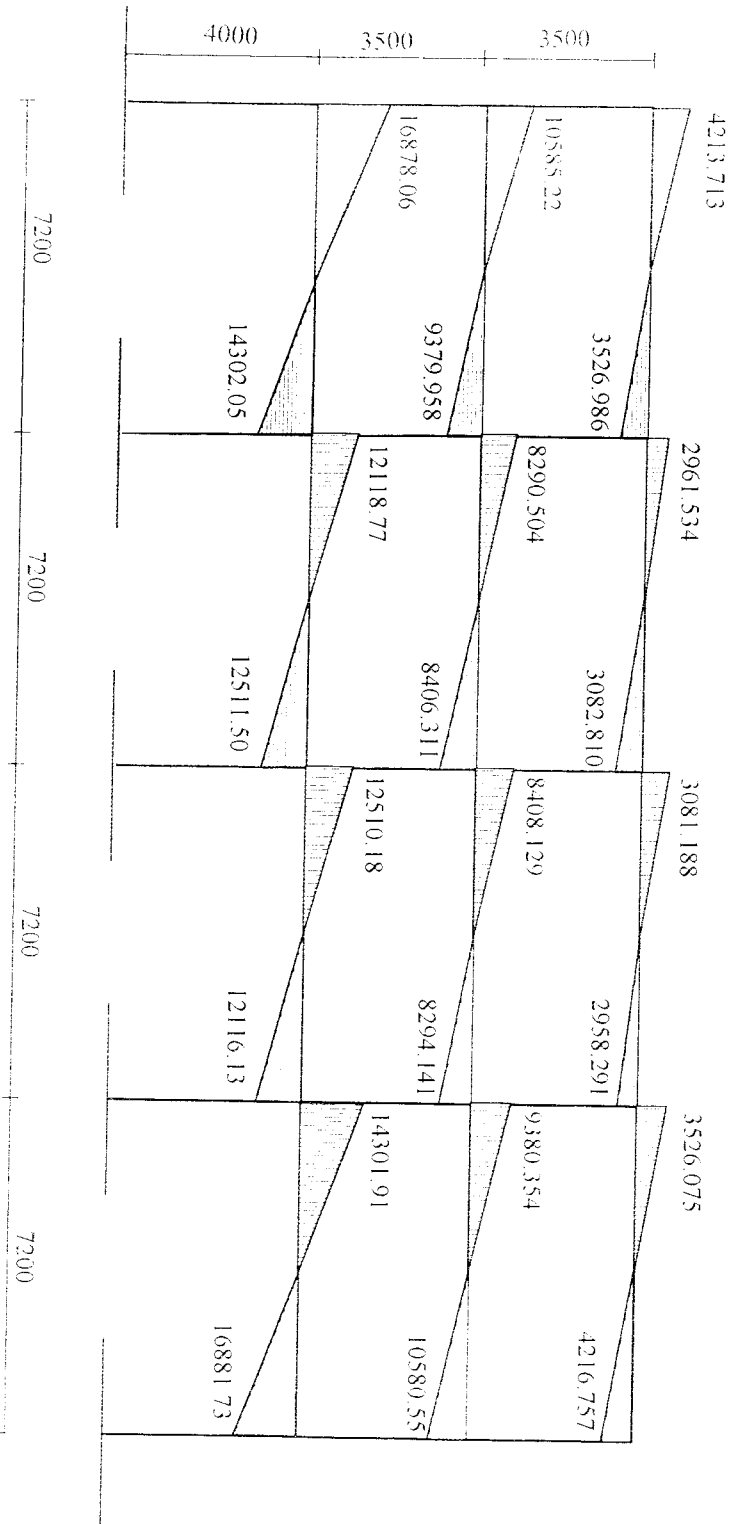
Program UNIITS M.1
Momen Akhir dari Kombinasi Redistribusi Design Capacity

Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)	Join (1)	Join (2)	Momen (kg.m)
1	10	1.932812E+04	10	1	1.167338E+04
2	9	2.048201E+04	9	2	3.201362E+04
3	8	2.003082E+04	8	3	3.298103E+04
4	7	2.036187E+04	7	4	3.380851E+04
5	6	1.847824E+04	6	5	2.419782E+04
6	7	2.298764E+04	7	6	9.117416E+03
6	15	2.408569E+04	15	6	3.424722E+04
7	8	2.406380E+04	8	7	8.140710E+03
7	14	4.367678E+04	14	7	4.805005E+04
8	9	2.346314E+04	9	8	1.076904E+04
8	13	4.166216E+04	13	8	4.720721E+04
9	10	2.661238E+04	10	9	8.530669E+03
9	12	4.204722E+04	12	9	4.626877E+04
10	11	1.239904E+04	11	10	1.761675E+04
11	12	4.714382E+03	12	11	2.271972E+04
11	20	9.265587E+03	20	11	1.993363E+04
12	13	1.328377E+04	13	12	2.027886E+04
12	19	2.871713E+04	19	12	3.962601E+04
13	14	1.161967E+04	14	13	2.074395E+04
13	18	2.792695E+04	18	13	3.923080E+04
14	15	1.297815E+04	15	14	1.882613E+04
14	17	2.872632E+04	17	14	3.966440E+04
15	16	9.276988E+03	16	15	1.991117E+04
16	17	8.180732E+03	17	16	9.045564E+03
17	18	1.043025E+04	18	17	7.463852E+03
18	19	9.794341E+03	19	18	9.172052E+03
19	20	1.151622E+04	20	19	2.261646E+03

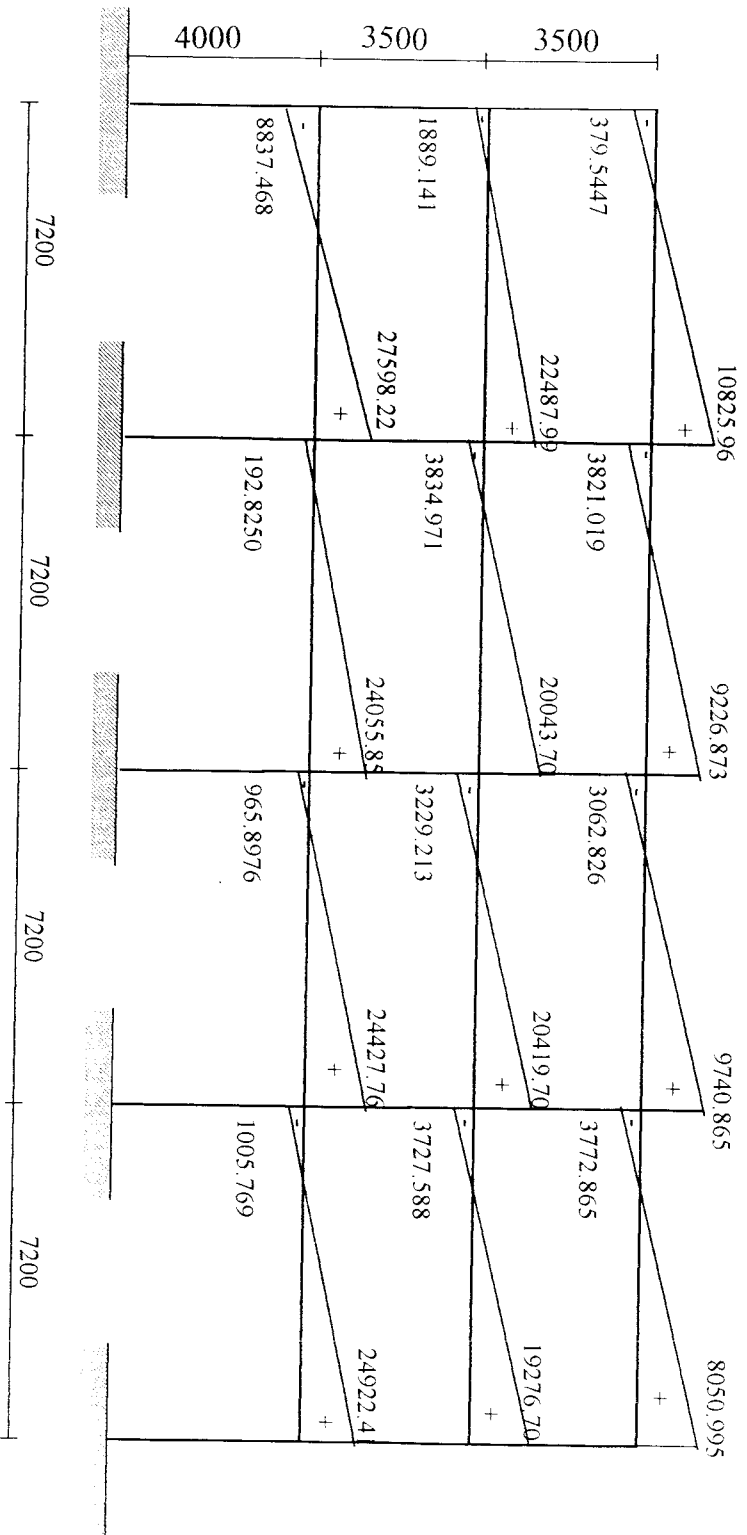
Gambar Portal



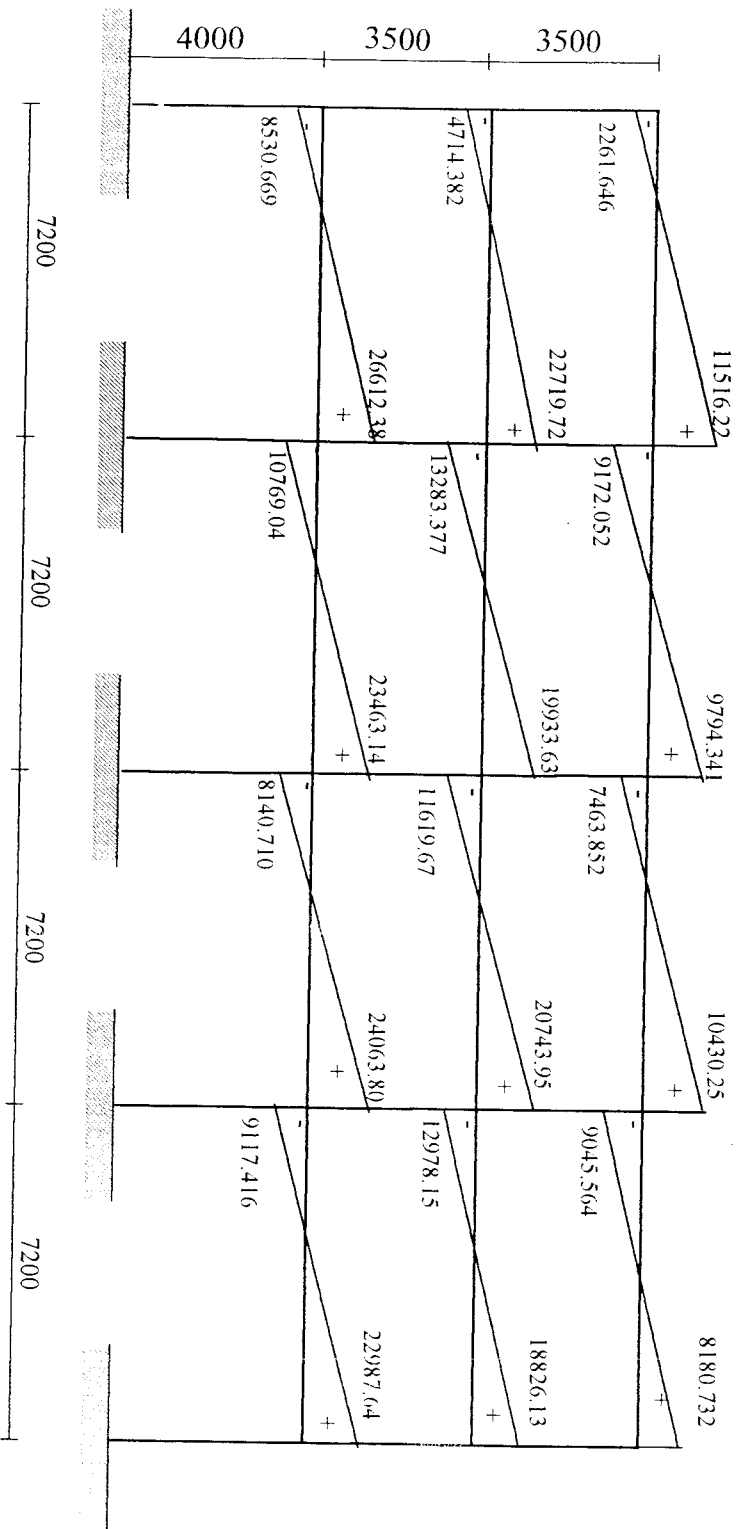
Grafik Momen Akibat Beban Gempa



Grafik Momen Sebelum Redistribusi



Grafik Momen Sesudah Redistribusi Design Capacity



VERIFIKASI
PROGRAM UNIITS M-1
DENGAN
PROGRAM MICROFEAP

80	79	78	77	76
71	72	73	74	75
70	69	68	67	66
61	62	63	64	65
60	59	58	57	56
51	52	53	54	55
50	49	48	47	46
41	42	43	44	45
40	39	38	37	36
31	32	33	34	35
30	29	28	27	26
21	22	23	24	25
20	19	18	17	16
11	12	13	14	15
10	9	8	7	6
1	2	3	4	5

GEOMETRY (1 = 4.42E+00)

Gedung Bertingkat 4 bentang 15 lantai :

Join 1:	Join 2:	Momen	Join 1:	Join 2:	Momen
1	10	421.0939	59	58	-3306.564
2	9	-53.75358	59	60	3561.366
3	7	53.72128	59	62	-127.4306
5	6	-421.0843	60	51	1180.633
6	5	-842.1568	60	59	-2361.317
6	7	2183.072	71	70	1186.256
6	15	-1340.848	71	72	-2352.665
7	4	107.4544	71	80	1166.379
7	6	-3618.146	72	69	-124.5438
7	8	3349.724	72	71	3568.281
7	14	160.951	72	73	-3303.138
8	3	1.783483E-02	72	79	-140.5448
8	7	-3139.749	73	68	-6.940695E-03
8	9	3139.815	73	72	3163.058
8	13	5.667909E-03	73	74	-3163.07
9	2	107.4954	73	78	-1.095979E-02
9	8	-3349.708	74	67	124.5529
9	10	3618.166	74	73	3303.168
9	12	-160.9772	74	75	-3568.251
10	1	842.1997	74	77	140.5724
10	9	-2182.996	75	66	-1186.268
10	11	1340.875	75	74	2352.653
11	10	1237.982	75	76	-1166.401
11	12	-2390.926	76	75	-1142.991
11	20	1152.94	76	77	1143.013
12	9	-137.6739	77	74	158.1697
12	11	3554.031	77	76	-2218.434
12	13	-3296.628	77	78	2060.246
12	19	-119.6182	78	73	3.151526E-03
13	8	-1.639411E-02	78	77	-1859.946
13	12	3166.317	78	79	1859.962
13	14	-3166.295	79	72	-158.1743
13	18	-.0147297	79	78	-2060.258
14	7	137.6973	79	80	2218.423
14	13	3296.707	80	71	1142.997
14	15	-3553.943	80	79	-1142.997
14	17	119.6306			

```

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

```

TRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

OAD FACTOR : 1

LEM	MA	HINGE SECTION (m)	AXIAL F. (Kg)	SHEAR (Kg)	MOMENT (Kg-m)
6	2	0.00	4.8699D+02	2.7745D+03	-3.2541D+03
		2.40	4.8699D+02	9.9126D+02	1.2648D+03
		4.80	4.8699D+02	-7.9194D+02	1.5040D+03
		7.20	4.8699D+02	-2.5751D+03	-2.5365D+03
7	2	0.00	5.1461D+02	2.6533D+03	-3.1357D+03
		2.40	5.1461D+02	8.7006D+02	1.0923D+03
		4.80	5.1461D+02	-9.1314D+02	1.0406D+03
		7.20	5.1461D+02	-2.6963D+03	-3.2908D+03
8	2	0.00	5.1461D+02	2.6963D+03	-3.2908D+03
		2.40	5.1461D+02	9.1314D+02	1.0406D+03
		4.80	5.1461D+02	-8.7006D+02	1.0923D+03
		7.20	5.1461D+02	-2.6533D+03	-3.1357D+03
9	2	0.00	4.8699D+02	2.5751D+03	-2.5365D+03
		2.40	4.8699D+02	7.9194D+02	1.5040D+03
		4.80	4.8699D+02	-9.9126D+02	1.2648D+03
		7.20	4.8699D+02	-2.7745D+03	-3.2541D+03
87	2	0.00	2.6381D+01	2.2620D+03	-1.4603D+03
		2.40	2.6381D+01	4.7882D+02	1.8287D+03
		4.80	2.6381D+01	-1.3044D+03	8.3800D+02
		7.20	2.6381D+01	-3.0876D+03	-4.4324D+03
88	2	0.00	5.2549D+01	2.6561D+03	-2.9845D+03
		2.40	5.2549D+01	8.7289D+02	1.2503D+03
		4.80	5.2549D+01	-9.1031D+02	1.2054D+03
		7.20	5.2549D+01	-2.6935D+03	-3.1192D+03
89	2	0.00	5.2549D+01	2.6935D+03	-3.1192D+03
		2.40	5.2549D+01	9.1031D+02	1.2054D+03
		4.80	5.2549D+01	-8.7289D+02	1.2503D+03
		7.20	5.2549D+01	-2.6561D+03	-2.9845D+03

LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (Kg)	SHEAR (Kg)	MOMENT (Kg-m)
1	1		0.00	-4.3284D+04	-3.7852D+02	5.1824D+02
			1.33	-4.3284D+04	-3.7852D+02	1.3540D+01
			2.67	-4.3284D+04	-3.7852D+02	-4.9115D+02
			4.00	-4.3284D+04	-3.7852D+02	-9.9585D+02

=====

MICROFEAP-P1 DATE: 06-04-1998 <COMB> P.3
 PROJECT : gedung 15t4b FILENAME: Gedung 1
 AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986 ENGINEER: Winarno

=====

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (Kg)	SHEAR (Kg)	MOMENT (Kg-m)
2	1		0.00	-7.4064D+04	-6.3986D+00	1.5488D+01
			1.33	-7.4064D+04	-6.3986D+00	6.9567D+00
			2.67	-7.4064D+04	-6.3986D+00	-1.5747D+00
			4.00	-7.4064D+04	-6.3986D+00	-1.0106D+01
3	1		0.00	-7.7725D+04	-6.2895D-05	7.7422D-05
			1.33	-7.7725D+04	-6.2895D-05	-6.4376D-06
			2.67	-7.7725D+04	-6.2895D-05	-9.0298D-05
			4.00	-7.7725D+04	-6.2895D-05	-1.7416D-04
4	1		0.00	-7.4064D+04	6.3988D+00	-1.5488D+01
			1.33	-7.4064D+04	6.3988D+00	-6.9567D+00
			2.67	-7.4064D+04	6.3988D+00	1.5750D+00
			4.00	-7.4064D+04	6.3988D+00	1.0107D+01
5	1		0.00	-4.3284D+04	3.7852D+02	-5.1823D+02
			1.33	-4.3284D+04	3.7852D+02	-1.3540D+01
			2.67	-4.3284D+04	3.7852D+02	4.9115D+02
			4.00	-4.3284D+04	3.7852D+02	9.9585D+02
15	2		0.00	2.8876D+01	2.6569D+03	-2.8978D+03
			2.40	2.8876D+01	8.7366D+02	1.3389D+03
			4.80	2.8876D+01	-9.0954D+02	1.2958D+03
			7.20	2.8876D+01	-2.6927D+03	-3.0269D+03
16	2		0.00	1.2551D+02	2.6674D+03	-3.1493D+03
			2.40	1.2551D+02	8.8424D+02	1.1127D+03
			4.80	1.2551D+02	-8.9897D+02	1.0950D+03
			7.20	1.2551D+02	-2.6822D+03	-3.2023D+03

LOAD FACTOR : 1
 ELEM MA HINGE SECTION AXIAL F. SHEAR MOMENT
 (m) (Kg) (Kg) (Kg-m)

=====

MICROFEAP-P1 DATE: 06-04-1998 <COMB> P.2
 PROJECT : gedung 15t4b FILENAME: Gedung 1
 AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986 ENGINEER: Winarno

=====

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

ELEM	MA	HINGE	SECTION	AXIAL F.	SHEAR	MOMENT
			(m)	(Kg)	(Kg)	(Kg-m)
123	2		0.00	1.1139D+02	2.1951D+03	-1.2275D+03
			2.40	1.1139D+02	4.1189D+02	1.9009D+03
			4.80	1.1139D+02	-1.3713D+03	7.4961D+02
			7.20	1.1139D+02	-3.1545D+03	-4.6814D+03
124	2		0.00	1.4828D+02	2.6497D+03	-2.9399D+03
			2.40	1.4828D+02	8.6650D+02	1.2795D+03
			4.80	1.4828D+02	-9.1670D+02	1.2193D+03
			7.20	1.4828D+02	-2.6999D+03	-3.1206D+03
125	2		0.00	1.4828D+02	2.6999D+03	-3.1206D+03
			2.40	1.4828D+02	9.1670D+02	1.2193D+03
			4.80	1.4828D+02	-8.6650D+02	1.2795D+03
			7.20	1.4828D+02	-2.6497D+03	-2.9399D+03
132	2		0.00	-1.4341D+03	1.3088D+03	-5.1173D+02
			2.40	-1.4341D+03	2.3845D+02	1.3450D+03
			4.80	-1.4341D+03	-8.3195D+02	6.3281D+02
			7.20	-1.4341D+03	-1.9024D+03	-2.6484D+03
133	2		0.00	-2.0092D+03	1.6344D+03	-1.7842D+03
			2.40	-2.0092D+03	5.6401D+02	8.5388D+02
			4.80	-2.0092D+03	-5.0639D+02	9.2302D+02
			7.20	-2.0092D+03	-1.5768D+03	-1.5768D+03
134	2		0.00	-2.0092D+03	1.5768D+03	-1.5768D+03
			2.40	-2.0092D+03	5.0639D+02	9.2302D+02
			4.80	-2.0092D+03	-5.6401D+02	8.5388D+02
			7.20	-2.0092D+03	-1.6344D+03	-1.7842D+03
135	2		0.00	-1.4341D+03	1.9024D+03	-2.6484D+03
			2.40	-1.4341D+03	8.3195D+02	6.3281D+02
			4.80	-1.4341D+03	-2.3845D+02	1.3450D+03
			7.20	-1.4341D+03	-1.3088D+03	-5.1173D+02

LOAD FACTOR : 1						
ELEM	MA	HINGE	SECTION	AXIAL F.	SHEAR	MOMENT
			(m)	(Kg)	(Kg)	(Kg-m)
121	1		0.00	-7.7806D+03	5.3825D+02	-9.4521D+02
			1.17	-7.7806D+03	5.3825D+02	-3.1725D+02
			2.33	-7.7806D+03	5.3825D+02	3.1071D+02
			3.50	-7.7806D+03	5.3825D+02	9.3867D+02
122	1		0.00	-5.0568D+03	1.3227D+03	-2.3104D+03
			1.17	-5.0563D+03	1.3227D+03	-7.6728D+02
			2.33	-5.0568D+03	1.3227D+03	7.7586D+02
			3.50	-5.0568D+03	1.3227D+03	2.3190D+03

```

=====
MICROFEAP--P1      DATE: 06-04-1998      <COMB> P.4
PROJECT : gedung 15t4b      FILENAME: Gedung 1
AUTHORITY: PETRA CIVIL ENGINEERING 1986      ENGINEER: Winarno
=====

```

STRESS COMBINATION <2D-FRAME SYSTEM>

LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION	AXIAL F.	SHEAR	MOMENT
			(m)	(Kg)	(Kg)	(Kg-m)
127	1		0.00	-1.9023D+03	-1.4341D+03	2.6484D+03
			1.17	-1.9023D+03	-1.4341D+03	9.7527D+02
			2.33	-1.9023D+03	-1.4341D+03	-6.9783D+02
			3.50	-1.9023D+03	-1.4341D+03	-2.3709D+03
128	1		0.00	-2.8857D+03	-5.7514D+02	1.0651D+03
			1.17	-2.8857D+03	-5.7514D+02	3.9407D+02
			2.33	-2.8857D+03	-5.7514D+02	-2.7694D+02
			3.50	-2.8857D+03	-5.7514D+02	-9.4794D+02
129	1		0.00	-3.2688D+03	-2.0148D-04	3.8234D-04
			1.17	-3.2688D+03	-2.0148D-04	1.4729D-04
			2.33	-3.2688D+03	-2.0148D-04	-8.7765D-05
			3.50	-3.2688D+03	-2.0148D-04	-3.2282D-04
130	1		0.00	-2.8856D+03	5.7514D+02	-1.0651D+03
			1.17	-2.8856D+03	5.7514D+02	-3.9407D+02
			2.33	-2.8856D+03	5.7514D+02	2.7694D+02
			3.50	-2.8856D+03	5.7514D+02	9.4794D+02
131	1		0.00	-1.9024D+03	1.4341D+03	-2.6484D+03
			1.17	-1.9024D+03	1.4341D+03	-9.7527D+02
			2.33	-1.9024D+03	1.4341D+03	6.9783D+02
			3.50	-1.9024D+03	1.4341D+03	2.3709D+03

LIST PROGRAM

```

DECLARE SUB LENTUR (c!, T1!, T2!, Mo!, TG!, LB!, Fc!, Fy!, B1!, D!, S!, ds)
DECLARE SUB KOLOM (nB1$, namaBerkas1$)
DECLARE SUB BERSIH1 ()
DECLARE SUB BERSIH (a!, B!, c!, D!)
DECLARE SUB TAMMENU (a$( ), cacah!, Judul$, px!, py!, posisi!)
DECLARE SUB Bayangan (X1!, y1!, X2!, y2!)
DECLARE SUB KOTAK1 (X1!, y1!, X2!, y2!)
DECLARE SUB KOTAK (X1!, y1!, X2!, y2!)
DECLARE SUB File (n$, nBS)
DECLARE SUB GarisAtas ()
CALL GarisAtas
CALL KOTAK(2, 1, 23, 80)
CALL File(nB1$, namaBerkas1$)
OPEN namaBerkas1$ + ".DOK" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, TingBang, JumBen, PanBan, JumJoi, JumEle, JarPor, WilGem, JenTan$, K, I, Fc, Fy, inte,
FRBH
LOOP
CLOSE #1
    IF Fc <= 30 THEN                                'Mpa
        B1 = .85
    ELSEIF Fc >= 55 THEN
        B1 = .65
    ELSE
        B1 = .85 - (Fc - 30) * .008
    END IF
D = 25 'mm
S = 40 'Selimut beton dalam mm
ds = 10 'Jarak antar tulangan dalam mm
REM SDYNAMIC
DIM ME(TingBang, JumJoi, JumJoi)
DIM MU(TingBang, JumJoi, JumJoi)
DIM MKap(TingBang, JumJoi, JumJoi)
DIM ML(TingBang, JumJoi, JumJoi)
DIM MD(TingBang, JumJoi, JumJoi)
DIM Mb(TingBang, JumJoi, JumJoi)
DIM Mk(TingBang, JumJoi, JumJoi)
DIM MKH(JumJoi, JumJoi)
DIM MKM(JumJoi, JumJoi)
DIM MKG(JumJoi, JumJoi)
DIM MK3(JumJoi, JumJoi)
DIM Vubm(JumJoi, JumJoi), K(JumJoi, JumJoi), ak(JumJoi, JumJoi)
DIM h(JumJoi), hb(JumJoi), Muk1(JumJoi), NuK1(JumJoi), NuKm(JumJoi)
c = 0
CALL KOTAK(2, 1, 23, 80)
FOR P = TingBang TO 1 STEP -1
OPEN namaBerkas1$ + ".DGT" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, T, J1, J2, ML(T, J1, J2), MD(T, J1, J2), ME(T, J1, J2), MU(T, J1, J2)
IF P = T THEN
OPEN namaBerkas1$ + ".KAM" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, T1, T2, MKH(T1, T2), MKM(T1, T2), MKG(T1, T2), MK3(T1, T2)
IF J1 = T1 AND J2 = T2 THEN
Mo = ABS(MK3(T1, T2))
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #3
DO UNTIL EOF(3)
INPUT #3, T, E, JES, J1, J2, KR, L, LB, TG, BH, BM1

```

```

IF P = T AND ((T1 = J1 AND T2 = J2) OR (T2 = J1 AND T1 = J2)) AND JES = "B" THEN
CALL LENTUR(c, T1, T2, Mo, TG, LB, Fc, Fy, B1, D, S, ds)
MKap(T, T1, T2) = MKab
VLb = ML(T, T1, T2) / L
VDb = MD(T, T1, T2) / L
VEb = ME(T, T1, T2) / L
Vubm(T1, T2) = 1.05 * (VDb + VLb + 4 / K * VEb)
END IF
LOOP
CLOSE #3
END IF
LOOP
CLOSE #2
END IF
LOOP
CLOSE #1
NEXT P
FOR P = TingBang TO 1 STEP -1
OPEN namaBerkas1$ + ".DGT" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, T, T1, T2, ML(T, T1, T2), MD(T, T1, T2), ME(T, T1, T2), MU(T, T1, T2)
IF P = T THEN
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, T, E, JES, J1, J2, KR, L, LB, TG, BH, BM
IF P = T AND ((T1 = J1 AND T2 = J2) OR (T2 = J1 AND T1 = J2)) AND JES = "B" THEN
VD = BM * L / 2 + MD(T, T1, T2) / L - MD(T, T2, T1) / L
VL = BH * L / 2 + ML(T, T1, T2) / L - ML(T, T2, T1) / L
VG = 1.2 * VD + 1.6 * VL
Vub = .7 * ((MKap(T, T1, T2) + MKap(T, T2, T1)) / (L - (TG / 100))) + 1.05 * VG
IF Vub > Vubm(T1, T2) THEN
VuPakai = Vubm(T1, T2)
ELSE
VuPakai = Vub
END IF
END IF
LOOP
CLOSE #2
END IF
LOOP
CLOSE #1
NEXT P
OPEN namaBerkas1$ + ".AKK" FOR OUTPUT AS #1
FOR P = TingBang TO 1 STEP -1
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, T, E, JES, J1, J2, KR, L, LB, TG, BH, BM
IF P = T AND (JES = "B" OR JES = "b") THEN
hb(J1) = TG
hb(J2) = TG
END IF
IF P = T AND (JES = "K" OR JES = "k") THEN
h(J1) = LB / 100 'lebar dimensi kolom
K(J1, J2) = (1 / 12 * (LB / 100) * (TG / 100) ^ 3) / L
WRITE #1, J1, J2, K(J1, J2)
IF P = TingBang THEN
ak(J1, J2) = 1
END IF

```

```

END IF
LOOP
CLOSE #2
NEXT P
CLOSE #1

OPEN namaBerkas1$ + ".AKK" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, J1, J2, K(J1, J2)
OPEN namaBerkas1$ + ".AKK" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, T1, T2, K(T1, T2)
IF J1 = T2 THEN
ak(J1, J2) = K(J1, J2) / (K(J1, J2) + K(T1, T2))
END IF
LOOP
CLOSE #2
LOOP
CLOSE #1
KILL namaBerkas1$ + ".AKK"
FOR P = TingBang TO 1 STEP -1
SELECT CASE P
CASE IS = 1
    wd = 1
CASE IS = TingBang
    wd = 1
CASE IS = 2
    wd = 1.15
CASE ELSE
    wd = 1.3
END SELECT
OPEN namaBerkas1$ + ".DGT" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, T, G1, G2, ML(T, G1, G2), MD(T, G1, G2), ME(T, G1, G2), MU(T, G1, G2)
IF P = T THEN
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, T, E, JES, J1, J2, KR, L, LB, TG, BH, BM
IF P = T AND ((J1 = G1 AND J2 = G2) OR (J2 = G1 AND J1 = G2)) THEN
OPEN namaBerkas1$ + ".BET" FOR INPUT AS #4
DO UNTIL EOF(4)
INPUT #4, T, E1, E2, ME(T, E1, E2), Mb(T, E1, E2), Mk(T, E1, E2)
IF P = T AND G1 = E1 AND G2 = E2 THEN
Muk1(G1) = L / (L - h(G1)) * MKap(T, E1, E2)
NuK1(G1) = (MKap(T, E1, E2) + MKap(T, E2, E1)) / (L - h(G1))
END IF
LOOP
CLOSE #4
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #3
DO UNTIL EOF(3)
INPUT #3, T, E, JES, T1, T2, KR, La, LB, TG, BH, BM
IF P = T AND (JES = "B" OR JES = "b") AND G1 = T1 AND G2 <> T2 THEN
Muk1(G1) = L / (L - h(G2)) * MKap(T, J1, J2) + La / (La - h(T1)) * MKap(T, G1, G2)
NuK1(G1) = (MKap(T, J1, J2) + MKap(T, J2, J1)) / (L - h(G2)) + (MKap(T, G1, G2) + MKap(T, G2, G1)) / (La - h(T1))
END IF
LOOP
CLOSE #3

```

```

END IF
LOOP
CLOSE #2
END IF
LOOP
CLOSE #1
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, T, E, JES, J1, J2, KR, L, LB, TG, BH, BM
IF P = T AND (JES = "K" OR JES = "k") THEN
SELECT CASE P
CASE !S = 1
hk = L - .5 * (hb(J1) / 100)           'tinggi bersih kolom

MtotD = MKM(J1, J2) + MKM(J2, J1)
X1D = MKM(J1, J2) * L / MtotD
X2D = L - X1D
MDKa = ABS(MKM(J1, J2) * (X1D - .5 * hb(J1) / 100) / X1D)
MDKb = ABS(MKM(J2, J1))
VD = ABS(MtotD) / L

MtotL = MKH(J1, J2) + MKH(J2, J1)
X1L = MKH(J1, J2) * L / MtotL
X2L = L - X1L
MLKa = ABS(MKH(J1, J2) * (X1L - .5 * hb(J1) / 100) / X1L)
MLKb = ABS(MKH(J2, J1))
VL = ABS(MtotL) / L

MtotE = MKG(J1, J2) + MKG(J2, J1)
X1E = MKG(J1, J2) * L / MtotE
X2E = L - X1E
MEKa = ABS(MKG(J1, J2) * (X1E - .5 * hb(J1) / 100) / X1E)
MEKb = ABS(MKG(J2, J1))
VE = ABS(MtotE) / L
CASE ELSE
hk = L - 2 * (.5 * (hb(J1) / 100))
MtotD = MKM(J1, J2) + MKM(J2, J1)
X1D = MKM(J1, J2) * L / MtotD
X2D = L - X1D
MDKa = ABS(MKM(J1, J2) * (X1D - .5 * hb(J1) / 100) / X1D)
MDKb = ABS(MKM(J2, J1) * (X2D - .5 * hb(J1) / 100) / X2D)
VD = ABS(MtotD) / L

MtotL = MKH(J1, J2) + MKH(J2, J1)
X1L = MKH(J1, J2) * L / MtotL
X2L = L - X1L
MLKa = ABS(MKH(J1, J2) * (X1L - .5 * hb(J1) / 100) / X1L)
MLKb = ABS(MKH(J2, J1) * (X2L - .5 * hb(J1) / 100) / X2L)
VL = ABS(MtotL) / L

MtotE = MKG(J1, J2) + MKG(J2, J1)
X1E = MKG(J1, J2) * L / MtotE
X2E = L - X1E
MEKa = ABS(MKG(J1, J2) * (X1E - .5 * hb(J1) / 100) / X1E)
MEKb = ABS(MKG(J2, J1) * (X2E - .5 * hb(J1) / 100) / X2E)
VE = ABS(MtotE) / L
END SELECT
MuK = hk / L * wd * ak(J1, J2) * .7 * Muk1(J1)

```

```

MuKma = 1.05 * (MDKa + MLKa + 4 / K * MEKa)
IF MuK < MuKma THEN
MuKa = MuK
ELSE
MuKa = MuKma
END IF
MuKb = 1.05 * (MDKb + MLKb + 4 / K * MEKb)
IF P = 1 THEN
MuKb = ABS(1.05 * (MKM(J2, J1) + .6 * MKH(J2, J1) + MKG(J2, J1)))
END IF
VuK1 = (MuKa + MuKb) / hk
VuKm = 1.05 * (VD + VL + 4 / K * VE)
IF VuK1 < VuKm THEN
VuK = VuK1
ELSE
VuK = VuKm
END IF
END IF
LOOP
CLOSE #2
NEXT P

FOR P = TingBang TO 1 STEP -1
IF P >= 1 AND P <= 4 THEN
Rv = 1
ELSEIF P > 4 AND P <= 20 THEN
Rv = 1.1 - .025 * P
ELSEIF P > 20 THEN
Rv = .6
END IF
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, T, E, JES$, J1, J2, KR, L, LB, TG, BH, BM
IF P = T AND (JES$ = "B" OR JES$ = "b") THEN
NDm1 = MKM(J1, J2) / L
NLm1 = MKH(J1, J2) / L
NEm1 = MKG(J1, J2) / L
NDm2 = MKM(J2, J1) / L
NLm2 = MKH(J2, J1) / L
NEm2 = MKG(J2, J1) / L
NuKm(J1) = 1.5 * (NDm1 + NLm2 + 4 / K * NEm1)
NuKm(J2) = 1.5 * (NDm2 + NLm2 + 4 / K * NEm2)
END IF
LOOP
CLOSE #2
FOR Batang = 1 TO (JumBen + 1)
NG = 0
MKapN = 0
OPEN namaBerkas1$ + ".URT" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, T, U, JES$, T1, T2
IF P = T AND Batang = U THEN
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, T, E, JES$, J1, J2, KR, L, LB, TG, BH, BM
IF P = T AND (JES$ = "K" OR JES$ = "k") AND T1 = J1 AND T2 = J2 THEN
nd = .5 * BM * L
NL = .5 * BH * L

```

```
BS = (LB / 100) * (TG / 100) * L * 2400
NG1 = nd + NL + BS
NG = NG + NG1
MKapN = MKapN + NuK1(J1)
NuK = Rv * 7 * MKapN + 1.05 * NG
IF NuK < NuKm(J1) THEN
NuKPakai = NuK
ELSE
NuKPakai = NuKm(J1)
END IF
LOCATE 3 + c, 2: PRINT J1; SPC(2); J2; SPC(2); NuK; SPC(2); NuKm(J1); SPC(2); NuKPakai ;
SPC(2); MuKb ; SPC(2); h(T1); ; SPC(2); MuK1
c = c + 1
END IF
LOOP
CLOSE #2
END IF
LOOP
CLOSE #1
NEXT Batang
NEXT P
END
```



```

SUB LENTUR (c, T1, T2, Mo, TG, LB, Fc, Fy, B1, D, S, ds)
SHARED QQ, MKab, A
'A = C
Rn = Mo * 10 ^ 4 / ((LB * 10) * ((TG * 10) - S - ds - .5 * D) ^ 2)
m = Fy / (.85 * Fc)
P = 1 / m * (1 - SQR(1 - 2 * m * Rn / Fy))
pMin = 1.4 / Fy
pb = (.85 * B1 * Fc / Fy) * (600 / (600 + Fy))
pmax = .75 * pb
IF P < pMin THEN
P = pMin
ELSEIF P > pmax THEN
P = pmax
END IF
Aa = P * LB * 10 * (TG * 10 - S - ds - .5 * D)
a = (Aa * Fy) / (.85 * Fc * (LB * 10))
Mn = Aa * Fy * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2) * 10 ^ -4
IF Mn >= Mo / .9 THEN
Rn = Mo * 10 ^ 4 / (.9 * (LB * 10) * (TG * 10) ^ 2)
m = Fy / (.85 * Fc)
P = 1 / m * (1 - SQR(1 - 2 * m * Rn / Fy))
pMin = 1.4 / Fy
pb = (.85 * B1 * Fc / Fy) * (600 / (600 + Fy))
pmax = .75 * pb
IF P < pMin THEN
P = pMin
ELSEIF P > pmax THEN
P = pmax
END IF
Aa = P * (LB * 10) * (TG * 10 - S - ds - .5 * D)
A1 = .25 * (22 / 7) * D ^ 2
n = Aa / A1: Na% = n: IF Na% < n THEN Na% = Na% + 1
IF Na% < 2 THEN Na% = 2
Aa = Na% * A1
a = (Aa * Fy) / (.85 * Fc * (LB * 10))
c = a / B1
es = ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - c) / c * .003
IF es > Fy / 200000 THEN
Mn = Aa * Fy * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2)
a = (Aa * 1.25 * Fy) / (.85 * Fc * (LB * 10))
Mnov = Aa * 1.25 * Fy * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2)
ELSE
fs = es * 200000
a = Aa * fs / (.85 * Fc * LB * 10)
Mn = Aa * fs * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2)
fs = es * 200000
a = Aa * fs / (.85 * Fc * LB * 10)
Mnov = Aa * 1.25 * Fy * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2)
END IF
QQ = Mnov / (.9 * Mn)
ELSE
Mn1 = Mn
Mn2 = Mo / .9 - Mn1
Ad = Mn2 / (Fy * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - (S + ds + .5 * D)))
A1 = .25 * (22 / 7) * D ^ 2
nd = Ad / A1: n% = nd: IF n% < nd THEN n% = n% + 1
IF n% < 2 THEN n% = 2
Ad = n% * A1

```

```

As2 = Ad
As1 = Aa - As2
nt = As1 / A1: n% = nt: IF n% < nt THEN n% = n% + 1
IF n% < 2 THEN n% = 2
As1 = n% * A1
Ast = As1 + As2
a = (As1 * Fy) / (.85 * Fc * (LB * 10))
c = a / B1
IF c <= (S + ds + .5 * D) THEN GOTO abc
esd = (c - (S + ds + .5 * D)) / c * .003
est = ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - c) / c * .003
IF esd >= Fy / 20000 AND est >= Fy / 200000 THEN
Cc = .85 * Fc * (LB * 10) * a
Cs = Ad * Fy
Mn = Cc * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2) + Cs * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - (S + ds + .5 * D))
a = (As1 * 1.25 * Fy) / (.85 * Fc * (LB * 10))
c = a / B1
Cc = .85 * Fc * (LB * 10) * a
Cs = Ad * 1.25 * Fy
Mnov = Cc * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2) + Cs * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - (S + ds + .5 * D))
QQ = Mnov / (.9 * Mn)
ELSE
abc:
Ra = .85 * Fc * (LB * 10) * B1
Rb = 600 * Ad - Ast * Fy
Rc = -600 * (S + ds + .5 * D) * Ad
RC1 = (-Rb + SQR(Rb ^ 2 - 4 * Ra * Rc)) / (2 * Ra)
RC2 = (-Rb - SQR(Rb ^ 2 - 4 * Ra * Rc)) / (2 * Ra)
IF RC1 > RC2 THEN
co = RC1
ELSE
co = RC2
END IF
fs = (co - (S + ds + .5 * D)) / co * .003 * 200000
a = co * B1
Mn = .85 * Fc * (LB * 10) * a * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2) + Ad * fs * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - (S + ds + .5 * D))
a = (As1 * 1.25 * Fy) / (.85 * Fc * (LB * 10))
Mnov = .85 * Fc * (LB * 10) * a * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - a / 2) + Ad * 1.25 * Fy * ((TG * 10 - S - ds - .5 * D) - (S + ds + .5 * D))
QQ = Mnov / (.9 * Mn)
END IF
END IF
MKab = Mn
'LOCATE 3 + A, 2: PRINT T1; SPC(2); T2; SPC(2); MKab ; SPC(5); Es2
'C = C + 1
END SUB

```

```

DECLARE SUB KOTAK1 (x1%, y1%, x2%, y2%)
DECLARE SUB BAYANGAN (x1%, y1%, x2%, y2%)
DECLARE SUB FILE (n$, nB$)
DECLARE SUB BERSIH1 (A!, B!, c%, D!)
DECLARE SUB TAMMENU (A$(), cacah%, Judul$, px%, py%, posisi%)
DECLARE SUB KOTAK (x1%, y1%, x2%, y2%)
DECLARE SUB GarisAtas ()
DECLARE SUB BuatKotak (x1%, y1%, x2%, y2%)
DECLARE SUB BERSIH ()
COMMON nB1$, namaBerkas1$
*****
'* PROGRAM PENGGABUNGAN *
*****
TYPE SATUAN
    JenisElemen AS STRING * 1
    Elemen AS INTEGER
    L AS INTEGER
    J1 AS INTEGER
    J2 AS INTEGER
END TYPE
CLEAR , , 2000
COLOR 7, 9
CALL GarisAtas
CALL KOTAK(2, 1, 23, 80)
CALL FILE(nB1$, namaBerkas1$)
CALL BuatKotak(2, 1, 23, 80)
DEFSNG A-D, F-G, I-M, O-Q, T, V-W
OPEN namaBerkas1$ + ".DOK" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, TinggiBangunan, JumlahBentang, PanjangBangunan, JumlahJoin,
JumlahElemen, JarakPortal, WilayahGempa, JenisTanah$, K, I, Fc, Fy, Interasi,
FRBH
LOOP
CLOSE #1
*****
'* Rekaman Data Gabungan *
*****
LOCATE 21, 3: COLOR 30: PRINT "PROSES REKAM DATA"
LOCATE 22, 3: COLOR 30: PRINT "    TUNGGU"
REM $DYNAMIC
DIM VT(JumlahJoin)

```

```

DIM VH(JumlahJoin)
DIM VM(JumlahJoin)
DIM VG(JumlahJoin)
DIM VTak(JumlahElemen, JumlahJoin)
DIM VTaH(JumlahElemen, JumlahJoin)
DIM VTaM(JumlahElemen, JumlahJoin)
DIM VTaG(JumlahElemen, JumlahJoin)
DIM VTa1(JumlahElemen, JumlahJoin)
DIM VTa2(JumlahElemen, JumlahJoin)
DIM VTa3(JumlahElemen, JumlahJoin)
DIM VTa4(JumlahElemen, JumlahJoin)
OPEN namaBerkas1$ + ".VTH" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, Elemen, J, VT(J), VTak(Elemen, J)
    VH(J) = VT(J)
    VTaH(Elemen, J) = VTak(Elemen, J)
LOOP
CLOSE
OPEN namaBerkas1$ + ".VTM" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, Elemen, J, VT(J), VTak(Elemen, J)
    VM(J) = VT(J)
    VTaM(Elemen, J) = VTak(Elemen, J)
LOOP
CLOSE
OPEN namaBerkas1$ + ".VTJ" FOR OUTPUT AS #1
OPEN namaBerkas1$ + ".VJT" FOR OUTPUT AS #2
OPEN namaBerkas1$ + ".VTG" FOR INPUT AS #3
DO UNTIL EOF(3)
INPUT #3, Elemen, J, VT(J), VTak(Elemen, J)
    VG(J) = VT(J)
    VTaG(Elemen, J) = VTak(Elemen, J)
    VTa1(Elemen, J) = 1.2 * VTaM(Elemen, J) + 1.6 * VTaH(Elemen, J)
    A = 1.3 * VTaH(Elemen, J) + VTaM(Elemen, J) + VTaG(Elemen, J)
    B = 1.3 * VTaH(Elemen, J) + VTaM(Elemen, J) + VTaG(Elemen, J)
    IF ABS(A) > ABS(B) THEN
        VTa2(Elemen, J) = A
    ELSE
        VTa2(Elemen, J) = B
    END IF
    c = 1.05 * (VTaM(Elemen, J) + .6 * VTaH(Elemen, J) + VTaG(Elemen, J))

```

```

D = 1.05 * (VTaM(Elemen, J) + .6 * VTaH(Elemen, J) + VTaG(Elemen, J))
IF ABS(c) > ABS(D) THEN
    VTa3(Elemen, J) = c
ELSE
    VTa3(Elemen, J) = D
END IF
IF VTa1(Elemen, J) > VTa2(Elemen, J) AND VTa1(Elemen, J) >
VTa3(Elemen, J) THEN
    VTa4(Elemen, J) = VTa1(Elemen, J)
ELSEIF VTa2(Elemen, J) > VTa1(Elemen, J) AND VTa2(Elemen, J) >
VTa3(Elemen, J) THEN
    VTa4(Elemen, J) = VTa2(Elemen, J)
ELSE
    VTa4(Elemen, J) = VTa3(Elemen, J)
END IF
VT(J) = (1.2 * VM(J) + 1.6 * VH(J)) + VG(J)
WRITE #1, Elemen, J, VH(J), VM(J), VG(J), VT(J), VTaH(Elemen, J),
VTaM(Elemen, J), VTaG(Elemen, J), VTa1(Elemen, J), VTa2(Elemen, J),
VTa3(Elemen, J), VTa4(Elemen, J)
WRITE #2, Elemen, J, VTaH(Elemen, J), VTaM(Elemen, J), VTaG(Elemen, J)
LOOP
CLOSE
ERASE VH, VM, VG, VT, VTa1, VTa2, VTa3, VTa4
'KILL namaBerkas1$ + ".VTH"
'KILL namaBerkas1$ + ".VTM"
'KILL namaBerkas1$ + ".VTG"
REM $DYNAMIC
DIM MKH(JumlahJoin, JumlahJoin)
DIM MKM(JumlahJoin, JumlahJoin)
DIM MKG(JumlahJoin, JumlahJoin)
DIM MK(JumlahJoin, JumlahJoin)
DIM MK1(JumlahJoin, JumlahJoin)
DIM MK2(JumlahJoin, JumlahJoin)
DIM MK3(JumlahJoin, JumlahJoin)
DIM MK4(JumlahJoin, JumlahJoin)
OPEN namaBerkas1$ + ".MIH" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, J1, J2, MK(J1, J2)
MKH(J1, J2) = MK(J1, J2)
LOOP
CLOSE

```

```

OPEN namaBerkas1$ + ".MIM" FOR INPUT AS #2
DO UNTIL EOF(2)
INPUT #2, J1, J2, MK(J1, J2)
MKM(J1, J2) = MK(J1, J2)
LOOP
CLOSE
OPEN namaBerkas1$ + ".MAK" FOR OUTPUT AS #4
OPEN namaBerkas1$ + ".MKA" FOR OUTPUT AS #5
OPEN namaBerkas1$ + ".KAM" FOR OUTPUT AS #6
OPEN namaBerkas1$ + ".MIG" FOR INPUT AS #3
DO UNTIL EOF(3)
INPUT #3, J1, J2, MK(J1, J2)
MKG(J1, J2) = MK(J1, J2)
MK1(J1, J2) = 1.6 * MKH(J1, J2) + 1.2 * MKM(J1, J2)
A = 1.3 * MKH(J1, J2) + MKM(J1, J2) + MKG(J1, J2)
B = 1.3 * MKH(J1, J2) + MKM(J1, J2) + MKG(J1, J2)
IF ABS(A) > ABS(B) THEN
    MK2(J1, J2) = A
ELSE
    MK2(J1, J2) = B
END IF
c = 1.05 * (.6 * MKH(J1, J2) + MKM(J1, J2) + MKG(J1, J2))
D = 1.05 * (.6 * MKH(J1, J2) + MKM(J1, J2) + MKG(J1, J2))
IF ABS(c) > ABS(D) THEN
    MK3(J1, J2) = c
ELSE
    MK3(J1, J2) = D
END IF
IF ABS(MK1(J1, J2)) > ABS(MK2(J1, J2)) AND ABS(MK1(J1, J2)) >
ABS(MK3(J1, J2)) THEN
    MK4(J1, J2) = MK1(J1, J2)
ELSEIF ABS(MK2(J1, J2)) > ABS(MK1(J1, J2)) AND ABS(MK2(J1, J2)) >
ABS(MK3(J1, J2)) THEN
    MK4(J1, J2) = MK2(J1, J2)
ELSE
    MK4(J1, J2) = MK3(J1, J2)
END IF
WRITE #4, J1, J2, MKH(J1, J2), MKM(J1, J2), MKG(J1, J2), MK1(J1, J2), MK2(J1,
J2), MK3(J1, J2), MK4(J1, J2)
WRITE #5, J1, J2, MKH(J1, J2), MKM(J1, J2), MKG(J1, J2)
WRITE #6, J1, J2, MKH(J1, J2), MKM(J1, J2), MKG(J1, J2), MK3(J1, J2)

```

```

LOOP
CLOSE
ERASE MK, MK1, MK2, MK3, MK4
'KILL namaBerkas1$ + ".MIH"
'KILL namaBerkas1$ + ".MIM"
'KILL namaBerkas1$ + ".MIG"
*****
'Perhitungan Momen Lapangan *
*****
REM $DYNAMIC
DIM LB(JumlahElemen)
DIM TG(JumlahElemen)
DIM L(JumlahElemen)
DIM KR(JumlahElemen)
DIM BH(JumlahElemen)
DIM BM(JumlahElemen)
DIM MLH(JumlahElemen), MLM(JumlahElemen), MLG(JumlahElemen),
ML1(JumlahElemen)
DIM ML2(JumlahElemen), ML3(JumlahElemen), ML4S(JumlahJoin, JumlahJoin),
ML4(JumlahElemen)
DIM ML2M(JumlahElemen), ML1M(JumlahElemen)
DIM ML2H(JumlahElemen), ML1H(JumlahElemen)
DIM X(JumlahElemen)
DIM BX(JumlahElemen)
DIM BX1(JumlahElemen)
OPEN namaBerkas1$ + ".VJT" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
    INPUT #1, Elemen, J, VTaH(Elemen, J), VTaM(Elemen, J), VTaG(Elemen, J)
LOOP
CLOSE
OPEN namaBerkas1$ + ".MKA" FOR INPUT AS #1
DO UNTIL EOF(1)
INPUT #1, J1, J2, MKH(J1, J2), MKM(J1, J2), MKG(J1, J2)
LOOP
CLOSE #1
OPEN namaBerkas1$ + ".DAT" FOR INPUT AS #1
OPEN namaBerkas1$ + ".DML" FOR OUTPUT AS #2
OPEN namaBerkas1$ + ".DLM" FOR OUTPUT AS #3
DO UNTIL EOF(1)
    INPUT #1, T, Elemen, JenisElemen$, J1, J2, KR(Elemen), L(Elemen),
LB(Elemen), TG(Elemen), BH(Elemen), BM(Elemen)

```

```

IF JenisElemen$ = "B" THEN
'Momen Lapangan Beban Mati 1/2 Bentang
  X(Elemen) = (VTaM(Elemen, J1) * L(Elemen)) / (VTaM(Elemen, J1) +
VTaM(Elemen, J2))
  ML2M(Elemen) = (VTaM(Elemen, J1) * X(Elemen)) - (.5 * BM(Elemen)
* X(Elemen) ^ 2)
  ML1M(Elemen) = (ABS(MKM(J2, J1)) - ABS(MKM(J1, J2))) / L(Elemen)
* X(Elemen) + ABS(MKM(J1, J2))
  MLM(Elemen) = ML2M(Elemen) - ML1M(Elemen)
'Momen Lapangan Beban Hidup 1/2 Bentang
  X(Elemen) = (VTaH(Elemen, J1) * L(Elemen)) / (VTaH(Elemen, J1) +
VTaH(Elemen, J2))
  ML2H(Elemen) = (VTaH(Elemen, J1) * X(Elemen)) - (.5 * BH(Elemen) *
X(Elemen) ^ 2)
  ML1H(Elemen) = (ABS(MKH(J2, J1)) - ABS(MKH(J1, J2))) / L(Elemen) *
X(Elemen) + ABS(MKH(J1, J2))
  MLH(Elemen) = ML2H(Elemen) - ML1H(Elemen)
'Momen Lapangan Beban Gempa 1/2 Betang
  X(Elemen) = (VTaG(Elemen, J1) * L(Elemen)) / (VTaG(Elemen, J1) +
VTaG(Elemen, J2))
  BX(Elemen) = (ABS(MKG(J1, J2)) * L(Elemen)) / (ABS(MKG(J1, J2)) +
ABS(MKG(J2, J1)))
  IF X(Elemen) < BX(Elemen) THEN
    MLG(Elemen) = ((BX(Elemen) - X(Elemen)) / BX(Elemen)) *
MKG(J1, J2)
  ELSE
    BX1(Elemen) = (ABS(MKG(J2, J1)) * L(Elemen)) / (ABS(MKG(J1,
J2)) + ABS(MKG(J2, J1)))
    MLG(Elemen) = ((BX1(Elemen) - (L(Elemen) - X(Elemen))) /
BX1(Elemen)) * -MKG(J2, J1)
  END IF
'Kombinasi Momen Lapangan
  ML1(Elemen) = 1.6 * MLH(Elemen) + 1.2 * MLM(Elemen)
  ML2(Elemen) = .9 * MLM(Elemen) + MLG(Elemen)
  ML3(Elemen) = 1.05 * (.6 * MLH(Elemen) + MLM(Elemen) + MLG(Elemen))
  IF ML1(Elemen) > ML2(Elemen) AND ML1(Elemen) > ML3(Elemen) THEN
ML4(Elemen) = ML1(Elemen)
  IF ML2(Elemen) > ML1(Elemen) AND ML2(Elemen) > ML3(Elemen) THEN
ML4(Elemen) = ML2(Elemen)
  IF ML3(Elemen) > ML1(Elemen) AND ML3(Elemen) > ML2(Elemen) THEN
ML4(Elemen) = ML3(Elemen)

```



```

    ML4S(J1, J2) = ML4(Elemen)
    WRITE #2, Elemen, MLH(Elemen), MLM(Elemen), MLG(Elemen),
ML1(Elemen), ML2(Elemen), ML3(Elemen), ML4(Elemen)
    WRITE #3, J1, J2, ML4S(J1, J2)
    END IF
LOOP
CLOSE
'KILL namaBerkas1$ + ".MOG"
'KILL namaBerkas1$ + ".MOH"
'KILL namaBerkas1$ + ".MOM"
'KILL namaBerkas1$ + ".MAH"
'KILL namaBerkas1$ + ".MAM"
'KILL namaBerkas1$ + ".MAG"
'KILL namaBerkas1$ + ".DJH"
'KILL namaBerkas1$ + ".DJG"
'KILL namaBerkas1$ + ".DJM"
'KILL namaBerkas1$ + ".VJT"
'KILL namaBerkas1$ + ".MKA"
***** Tanda Akhir Program *****
WHILE INKEY$ = ""
    LOCATE 21, 3: COLOR 30: PRINT "PROSES TELAH SELESAI"
    LOCATE 22, 3: COLOR 15: PRINT "SILAHKAN TEKAN SEMBARANG
TOMBOL"
    SOUND 987, 2: SOUND 329, 2
WEND
CHAIN "UNIITS1.BAS"
END
***** END
*****

REM $STATIC
DEFINT C, I-K, P, X-Y
SUB BAYANGAN (x1%, y1%, x2%, y2%) STATIC
*****
* Buat Bayangan *
*****
STATIC I
LOCATE x1, y1
COLOR 0, 0
PRINT CHR$(201) + STRING$(y2 - y1 - 2, 205);
PRINT CHR$(187)

```

```

FOR I = x1 + 1 TO x2 - 1
  LOCATE I, y1
  PRINT CHR$(186) + SPACES$(y2 - y1 - 2);
  PRINT CHR$(186)
NEXT I
LOCATE x2, y1
PRINT CHR$(200) + STRING$(y2 - y1 - 2, 205);
PRINT CHR$(188)
COLOR 7, 9
END SUB

DEFSNG C, I-K, P, X-Y
SUB BERSIH
FOR X = 3 TO 21
LOCATE X, 3: PRINT SPACES$(75)
NEXT X
END SUB

DEFINT C, I-K, P, X-Y
SUB BERSIH1 (A, B, c, D) STATIC
FOR J1 = A TO B
LOCATE J1, c: PRINT SPACES$(D)
NEXT J1
END SUB

DEFSNG C, I-K, P
SUB BuatKotak (x1%, y1%, x2%, y2%) STATIC
STATIC I
LOCATE x1, y1
COLOR 7
PRINT CHR$(201) + STRING$(y2 - y1 - 2, 205);
PRINT CHR$(187)
FOR I = x1 + 1 TO x2 - 1
  LOCATE I, y1
  PRINT CHR$(186) + SPACES$(y2 - y1 - 2);
  PRINT CHR$(186)
NEXT I
LOCATE x2, y1
PRINT CHR$(200) + STRING$(y2 - y1 - 2, 205);
PRINT CHR$(188)
END SUB

```

```

DEFINT C, I-K, P
SUB FILE (n$, nB$) STATIC
  SHARED nB1$, namaBerkas1$
  DRIVESTART:
    DIM Rekam$(5)
    Rekam$(1) = "A:"
    Rekam$(2) = "B:"
    Rekam$(3) = "C:"
    Rekam$(4) = "D:"
    Rekam$(5) = "E:"
    CALL KOTAK1(4, 50, 6, 77)
    CALL KOTAK1(9, 50, 11, 77)
    COLOR 14, 10
    LOCATE 3, 50: PRINT "Nama File   : "
    LOCATE 8, 50: PRINT "Nama Sub Direktori : "
    LOCATE 3, 40: PRINT "Drive"
    CALL TAMMENU(Rekam$(), 5, "", 3, 40, pilihan)
    COLOR 0, 7: LOCATE 5, 52: LINE INPUT nB1$
    IF nB1$ = "" THEN GOTO DRIVESTART
    LOCATE 10, 52: LINE INPUT namaSubDir$
    COLOR 7, 0
    IF namaSubDir$ = "" THEN
      namaBerkas1$ = CHR$(pilihan + 64) + "."
      namaBerkas1$ = namaBerkas1$ + nB1$
    ELSE
      namaBerkas1$ = CHR$(pilihan + 64) + "\"
      namaBerkas1$ = namaBerkas1$ + namaSubDir$
      namaBerkas1$ = namaBerkas1$ + "\"
      namaBerkas1$ = namaBerkas1$ + nB1$
    END IF
    COLOR 7, 9
  END SUB

```

```

DEFSNG C, I-K, P, X-Y
SUB GarisAtas STATIC
  COLOR 14, 7
  LOCATE 1, 1: PRINT SPACES$(79)
  LOCATE 1, 25: PRINT "<< PERHITUNGAN TAKABEYA >>"
  COLOR 7, 9
END SUB

```

```

DEFINT C, I-K, P, X-Y
SUB KOTAK (x1%, y1%, x2%, y2%) STATIC
STATIC I
LOCATE x1, y1
COLOR 14, 10
PRINT CHR$(201) + STRING$(y2 - y1 - 2, 205);
PRINT CHR$(187)
FOR I = x1 + 1 TO x2 - 1
    LOCATE I, y1
    PRINT CHR$(186) + SPACE$(y2 - y1 - 2);
    PRINT CHR$(186)
NEXT I
LOCATE x2, y1
PRINT CHR$(200) + STRING$(y2 - y1 - 2, 205);
PRINT CHR$(188)
END SUB

SUB KOTAK1 (x1%, y1%, x2%, y2%) STATIC
CALL BAYANGAN(x1% + 1, y1% + 1, x2% + 1, y2% + 1)
*****
* Buat Kotak *
*****
STATIC I
LOCATE x1, y1
COLOR 0, 7
PRINT CHR$(218) + STRING$(y2 - y1 - 2, 196);
PRINT CHR$(191)
FOR I = x1 + 1 TO x2 - 1
    LOCATE I, y1
    PRINT CHR$(179) + SPACE$(y2 - y1 - 2);
    PRINT CHR$(179)
NEXT I
LOCATE x2, y1
PRINT CHR$(192) + STRING$(y2 - y1 - 2, 196);
PRINT CHR$(217)
END SUB

SUB T AMMENU (A$( ), cacah, Judul$, px, py, posisi) STATIC
SHARED PT
PT = 0

```

```

CALL KOTAK1(px + 1, py, cacah + px + 2, py + LEN(AS(1)) + 4)
COLOR 0, 7
LOCATE px, py: PRINT Judu1$
COLOR 7, 0
LOCATE px + 2, py + 1: PRINT " " + AS(1) + " "
COLOR 0, 7
FOR I = 2 TO cacah
    LOCATE px + I + 1, py + 1
    PRINT " " + AS(I) + " "
NEXT I
posisi = 1
DO
    DO
        BS = INKEY$
        LOOP UNTIL BS <> ""
        ***** Mencetak scan Code
        SELECT CASE ASC(B$)
        CASE IS = 50
            COLOR 0, 7
            LOCATE posisi + px + 1, py + 1
            PRINT " " + AS(posisi) + " "
            IF posisi = cacah THEN
                posisi = 1
            ELSE
                posisi = posisi + 1
            END IF
            COLOR 7, 0
            LOCATE posisi + px + 1, py + 1
            PRINT " " + AS(posisi) + " "
            COLOR 0, 7
        CASE IS = 56
            COLOR 0, 7
            LOCATE posisi + px + 1, py + 1
            PRINT " " + AS(posisi) + " "
            IF posisi = 1 THEN
                posisi = cacah
            ELSE
                posisi = posisi - 1
            END IF
            COLOR 7, 0
            LOCATE posisi + px + 1, py + 1

```

```
PRINT " " + AS(posisi) + " "  
COLOR 0,7  
CASE IS = 27  
PT = 27  
CHAIN "UNIITS1.BAS"  
END SELECT  
LOOP UNTIL ASC(BS) = 13  
EndTamMenu1:  
END SUB
```