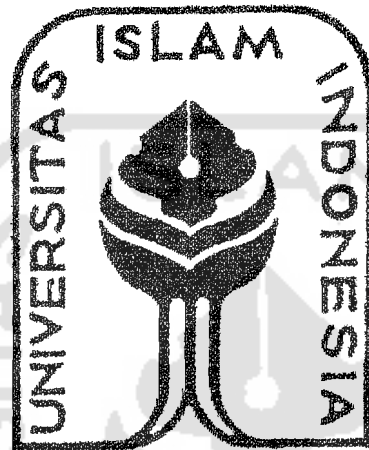


TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGAKU (“BRACING”) TERHADAP
KEKAKUAN PORTAL DENGAN VARIASI TINGKAT
PADA STRUKTUR BAJA**



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

Disusun Oleh :

Nama : Yustriawan

No. Mhs. : 92310012

Nama : Said Khairiansyah

No. Mhs. : 92310252

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

1999

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGAKU (“BRACING”) TERHADAP
KEKAKUAN PORTAL DENGAN VARIASI TINGKAT
PADA STRUKTUR BAJA**

*Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil*

Disusun Oleh :

Nama : Yustriawan
No. Mhs. : 92310012
Nirm. : 92310051013114120012

Nama : Said Khairiansyah
No. Mhs. : 92310252
Nirm. : 92310051013114120252

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999**

Lembar Pengesahan

TUGAS AKHIR


**ANALISIS PENGAKU (“BRACING”) TERHADAP
KEKAKUAN PORTAL DENGAN VARIASI TINGKAT
PADA STRUKTUR BAJA**

Nama : Yustriawan
No. Mhs. : 92310012
Nirm. : 92310051013114120012


Nama : Said Khairiansyah
No. Mhs. : 92310252
Nirm. : 92310051013114120252

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Susastrawan, MS
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 23-4-'99

Ir. Suharyatmo, MT
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 22-4-'99

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohiim.

Assalaamu'alaikum Wr.Wb.

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT berkat rahmat dan taufiq-Nya, sehingga Tugas Akhir yang berjudul Analisis Pengaku terhadap Kekakuan Portal dengan Variasi Tingkat pada Struktur Baja ini dapat diselesaikan.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat kesarjanaan pada jurusan teknik sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir.Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Ir.Tadjuddin BMA,MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil,Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
3. Bapak Ir. H.Susastrawan, MS, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir,
4. Bapak Ir.Suharyatno, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir

5. seluruh staf pengajar dan teman-teman mahasiswa di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
6. Dan semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari walaupun telah melakukan usaha yang maksimal untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik, namun masih banyak terdapat kekurangan. Demi tercapainya kesempurnaan Tugas Akhir ini, saran serta kritik yang membangun akan diterima dengan senang hati. Semoga penulisan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Maret 1999

Penulis

Lembar Persembahan

*Telah habis kerja besar, Telah tunai kewajiban studi ku
Kehidupan nyata kan menanti.
Sembah sujud dan syukur pada Mu ya...Allah
Atas segala karunia Mu yang tak ternilai, Amien.*

Lika-liku kehidupan kampus, Lika-liku tugas akhir ini takkan pernah usai tanpa bantuan, dukungan dan spirit dari teman-teman semua, hanya ucapan ribuan terimakasih yang dapat ku berikan buat mu teman : Dek najib, dek anis, kang ulin, Rochmax, Mas Boys, sahabat lama Anton, Mas Tobil, Aan dan Ike, Kang Sigit, Kurniawan dan KHUSUSnya buat sahabat seperjuangan "Mas Sholeh Purwoko" (atas bantuan komputernya, ide-idenya, gagasannya dan masukan-masukannya), semoga dikau sukses selalu (piye-piye...).

*Akhirnya ku persembahkan semua ini
untuk Ayahnda dan Bunda tercinta.*

Ananda

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAKSI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metodologi Penelitian	7
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Umum	8
2.2 Jenis-jenis Sistem Pengaku pada Struktur Portal Baja	9
2.2.1 Portal dengan sistem pengaku penahan momen	9
2.2.2 Portal dengan sistem pengaku konsentrik	10
2.2.3 Portal dengan sistem pengaku eksentrik	11
2.3 Simpangan Lateral	12
2.4 Beban Lateral	14

2.4.1	Beban angin	15
2.4.2	Beban gempa	15
2.5	Analisa Beban Statik Ekuivalen	16
2.6	Program Komputer	19
2.7	Analisa Kekakuan Tingkat pada Struktur Portal	19
BAB III	ANALISIS STRUKTUR PORTAL 2 DIMENSI	24
3.1	Umum	24
3.2	Model Struktur Portal Baja	25
3.2.1	Model struktur portal baja rangka penahan momen	25
3.2.2	Model struktur portal baja rangka diperkaku konsentrik	25
3.2.3	Model struktur portal baja rangka diperkaku eksentrik	26
3.3	Pendimensian Profil	27
3.4	Pembebanan Struktur Portal	28
3.4.1	Beban mati	28
3.4.2	Beban hidup	29
3.5	Perhitungan Berat Struktur Portal	30
3.5.1	Berat struktur portal rangka penahan momen	31
3.5.2	Berat struktur portal rangka diperkaku konsentrik dan eksentrik ..	31
3.6	Perhitungan Gaya Geser Dasar Horizontal Akibat Beban Gempa	32
3.6.1	Gaya geser dasar horizontal struktur portal rangka penahan momen.....	34
3.6.2	Gaya geser dasar horizontal struktur portal rangka diperkaku konsentrik dan eksentrik	34
3.7	Perhitungan Kekakuan Tingkat Struktur Portal	43
3.7.1	Kekakuan tingkat struktur portal rangka penahan momen	43
3.7.2	Kekakuan tingkat struktur portal rangka diperkaku konsentrik	54
3.7.3	Kekakuan tingkat struktur portal rangka diperkaku eksentrik	65

BAB IV PEMBAHASAN	80
4.1 Simpangan Tingkat	80
4.2 Kekakuan Tingkat	82
4.3 Gaya Geser Dasar	84
4.4 Waktu Getar Alami Gedung	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	92
PENUTUP	
DAFTAR PUSTAKA	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Denah bangunan	6
Gambar 1.2 Bentuk dan tipe sistem pengaku pada struktur portal	6
Gambar 2.1 Portal rangka penahan momen	10
Gambar 2.2 Rangka portal dengan sistem pengaku konsentrik	11
Gambar 2.3 Rangka portal dengan sistem pengaku eksentrik	12
Gambar 2.4 Momen lentur sekunder akibat $P\Delta$ pada portal	13
Gambar 2.5 Perbandingan portal tak bergoyang dan bergoyang	14
Gambar 2.6 Grafik struktur elastis sempurna	20
Gambar 2.7 Simpangan tingkat akibat beban gempa 1 satuan unit pada lantai 1	21
Gambar 3.1 Model struktur portal baja rangka penahan momen	25
Gambar 3.2 Model struktur portal baja rangka diperkaku konsentrik	26
Gambar 3.3 Model struktur portal baja rangka diperkaku eksentrik	26
Gambar 3.4 Luas pembebanan pada struktur portal	28
Gambar 3.5 Grafik daerah wilayah gempa I pada tanah keras	33
Gambar 4.1 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 2 tingkat akibat beban gempa.....	86

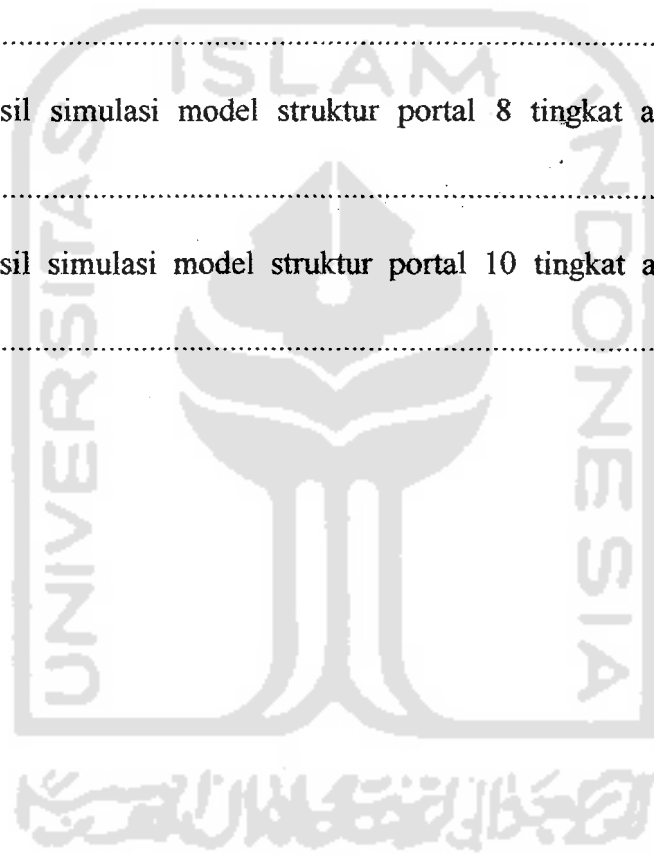
Gambar 4.2 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 4 tingkat akibat beban gempa.....	86
Gambar 4.3 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 6 tingkat akibat beban gempa.....	87
Gambar 4.4 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 8 tingkat akibat beban gempa.....	87
Gambar 4.5 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 10 tingkat akibat beban gempa.....	88
Gambar 4.6 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 2 tingkat akibat beban gempa.....	89
Gambar 4.7 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 4 tingkat akibat beban gempa.....	89
Gambar 4.8 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 6 tingkat akibat beban gempa.....	90
Gambar 4.9 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 8 tingkat akibat beban gempa.....	90
Gambar 4.10 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 10 tingkat akibat beban gempa.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka penahan momen model struktur portal 2 tingkat.....	35
Tabel 3.2	Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka penahan momen model struktur portal 4 tingkat.....	35
Tabel 3.3	Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka penahan momen model struktur portal 6 tingkat.....	35
Tabel 3.4	Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka penahan momen model struktur portal 8 tingkat.....	36
Tabel 3.5	Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka penahan momen model struktur portal 10 tingkat.....	36
Tabel 3.6	Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku konsentrik model struktur portal 2 tingkat.....	37
Tabel 3.7	Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku konsentrik model struktur portal 4 tingkat.....	37
Tabel 3.8	Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku konsentrik model struktur portal 4 tingkat (dengan waktu getar alami gedung $T_4' = 0,4307$ dt).....	37

Tabel 3.9 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku konsentrik model struktur portal 6 tingkat.....	38
Tabel 3.10 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku konsentrik model struktur portal 6 tingkat (dengan waktu getar alami gedung $T_6' = 0,6350$ dt).....	38
Tabel 3.11 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku konsentrik model struktur portal 8 tingkat	39
Tabel 3.12 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku konsentrik model struktur portal 8 tingkat (dengan waktu getar alami gedung $T_8' = 0,8785$ dt).....	39
Tabel 3.13 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku konsentrik model struktur portal 10 tingkat	40
Tabel 3.14 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku eksentrik model struktur portal 2 tingkat	41
Tabel 3.15 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku eksentrik model struktur portal 4 tingkat	41
Tabel 3.16 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku eksentrik model struktur portal 6 tingkat	41
Tabel 3.17 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku eksentrik model struktur portal 8 tingkat	42
Tabel 3.18 Distribusi gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa rangka diperkaku eksentrik model struktur portal 10 tingkat	42

Tabel 3.19 Hasil-hasil simulasi model struktur portal 2 tingkat akibat beban gempa.....	76
Tabel 3.20 Hasil-hasil simulasi model struktur portal 4 tingkat akibat beban gempa.....	76
Tabel 3.21 Hasil-hasil simulasi model struktur portal 6 tingkat akibat beban gempa.....	77
Tabel 3.22 Hasil-hasil simulasi model struktur portal 8 tingkat akibat beban gempa.....	78
Tabel 3.23 Hasil-hasil simulasi model struktur portal 10 tingkat akibat beban gempa.....	79



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Lembar konsultasi
- Lampiran 2 Data masukan program SAP'90 struktur portal rangka penahan momen model 10 tingkat akibat beban gravitasi.
- Lampiran 3 Gambar eksekusi SAPSTL struktur portal rangka penahan momen model 10 tingkat akibat beban gravitasi.
- Lampiran 4 Data masukan program SAP'90 struktur portal rangka penahan momen model 10 tingkat akibat beban gempa.
- Lampiran 5 Gambar eksekusi SAPSTL dan nomor elemen struktur portal rangka penahan momen model 10 tingkat akibat beban gempa.
- Lampiran 6 Data masukan program SAP'90 struktur portal rangka diperkaku konsentrik model 10 tingkat akibat beban gempa.
- Lampiran 7 Gambar eksekusi SAPSTL struktur portal rangka diperkaku konsentrik model 10 tingkat akibat beban gempa.
- Lampiran 8 Data masukan program SAP'90 struktur portal rangka diperkaku eksentrik model 10 tingkat akibat beban gempa.
- Lampiran 9 Gambar eksekusi SAPSTL struktur portal rangka diperkaku eksentrik model 10 tingkat akibat beban gempa.
- Lampiran 10 Contoh perhitungan elemen-elemen struktur portal rangka penahan momen.

ABSTRAKSI

Analisis dalam penulisan tugas akhir ini meliputi penelaahan struktur portal baja dengan pengaku ("Bracing") dan struktur portal baja tanpa pengaku ("Unbracing") ketika menerima beban lateral yang berupa beban gempa. Kedua struktur portal baja tersebut memiliki perilaku yang berbeda dalam memberikan kekakuan terhadap struktur portal. Kekakuan struktur portal tersebut sangat tergantung dari kekakuan titik buhulnya atau penggunaan batang pengaku diagonal yang di tempatkan pada tengah bentang portal. Pembahasan dalam tugas akhir ini membahas masalah simpangan tingkat, kekakuan tingkat, gaya geser dasar, dan waktu getar alami gedung dengan menggunakan model-model struktur portal baja dengan sistem pengaku yang umum digunakan, yaitu sistem pengaku penahan momen, sistem pengaku konsentrik dan sistem pengaku eksentrik. Untuk mempelajari dari ketiga jenis sistem pengaku di atas, dibuat model-model struktur portal baja dalam 2 dimensi yang memiliki tinggi portal maksimum 39 m atau maksimum 10 tingkat dengan variasi perhitungan pada setiap kenaikan 2 tingkat. Perencanaan struktur menggunakan cara analisa beban statik ekuivalen dan mengacu pada buku pedoman perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung (PPTGUG,1981) . Perhitungan menggunakan SAP'90, lalu hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik simpangan tingkat, kekakuan tingkat, gaya geser dasar dan waktu getar alami gedung yang kemudian membandingkan dari masing-masing model struktur portal baja yang digunakan. Dari hasil pembahasan disimpulkan bahwa struktur portal dengan pengaku memberikan pengaruh kekakuan yang sangat besar pada struktur portal baja.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk daerah gempa aktif seperti di Indonesia, sering sekali beban gempa, angin maupun besar massa gedung menjadi penentu dalam perancangan bangunan gedung, terutama untuk gedung bertingkat tinggi. Pengaruh beban-beban tersebut dapat menimbulkan perpindahan lateral cukup besar, sehingga akan menyebabkan keruntuhan pada struktur gedung. Maka dalam perencanaan gedung bertingkat banyak, beban gempa harus diantisipasi dengan baik.

Dalam kaitannya dengan rekayasa dan rancang bangun konstruksi gedung bertingkat banyak, komponen beton dan baja merupakan alternatif yang saling memberikan kelengkapan. Struktur baja mempunyai kelebihan untuk mengatasi permasalahan-permasalahan diatas dibandingkan dengan struktur beton.

Struktur baja mempunyai keunggulan dalam hal rasio antara berat sendiri dengan daya dukung beban yang dapat dipikul, yaitu cukup kecil jika dibandingkan dengan struktur beton. Sifat lainnya adalah struktur baja memiliki sifat duktail (liat), sehingga mampu mengalami deformasi atau lendutan plastis yang besar setelah batas kekuatan elastisnya terlampaui. Ini tidak terjadi pada

beton karena beton merupakan bahan yang tidak daktail (getas) karena beton mudah retak atau pecah pada deformasi yang kecil saja (Merati, 1990).

Pada struktur baja, untuk mengurangi perpindahan lateral agar memperoleh kestabilan struktur, maka portal dilengkapi dengan pengaku. Pada portal terbuka ("open frame") kekuatan dan kekakuan portal dalam menahan momen lateral struktur serta kestabilannya sangat tergantung pada kemampuan dari masing-masing elemen. Agar elemen-elemen portal mampu menahan momen akibat beban lateral, maka portal diberi sambungan kaku pada titik buhulnya ("rigid joint"). Struktur yang demikian disebut rangka penahan momen ("momen resisting frame") (Wahyudi, 1992). Sistem pengaku lain yang sering digunakan untuk mengantisipasi terhadap beban gempa adalah konstruksi pengaku kosentrik ("Concentrically Braced Frame") dan konstruksi pengaku eksentrik ("Eccentrically Braced Frame").

1.2 Permasalahan

Pada suatu portal bertingkat banyak akan mengalami lendutan yang diakibatkan oleh beban lateral, dimana besar lendutan tersebut tergantung dari beban vertikal dan besar beban lateral yang terjadi atau biasa dikenal dengan efek P delta. Akibat dari efek P delta ini, portal akan mengalami simpangan ("drift") yang dapat mengakibatkan kehancuran struktur bila simpangan tersebut melebihi tegangannya. Simpangan ini dapat diantisipasi dengan memperkaku portal sehingga simpangan lateral dapat diperkecil. Semakin kaku portal tersebut maka semakin kecil simpangan yang terjadi.

Permasalahan simpangan lateral telah membuat para ahli mengembangkan berbagai sistem untuk memperkuat struktur akibat pengaruh gaya horizontal dan vertikal. Terdapat banyak macam sistem pengaku portal yang telah dikembangkan untuk keperluan struktur baja pada gedung bertingkat banyak. Sedangkan yang umum dipakai adalah :

1. rangka penahan momen (“momen resisting frame”),
2. rangka diperkaku konsentrik (“concentrically braced frame”) dan
3. rangka diperkaku eksentrik (“eccentrically braced frame”).

Pada suatu tingkat gedung, pengaku mengalami gaya tarik ataupun tekan agar struktur gedung tetap kaku ketika menerima beban lateral akibat dari beban gempa ataupun beban angin. Gaya tarik dan tekan ini akan mengakibatkan tegangan tarik ataupun tegangan tekan pada pengaku tersebut, juga akan mempengaruhi kemampuannya menahan tegangan, dikarenakan untuk bentang pengaku yang relatif panjang baja lebih dominan menahan tegangan tarik dibandingkan tegangan tekan.

Dari ketiga sistem diatas masing-masing sistem pengaku mempunyai kelebihan dan kekurangan baik dalam hal perilaku struktur maupun arsitekturnya. Adapun hal yang akan dibahas adalah menentukan kekakuan yang terjadi pada setiap kenaikan 2 tingkat dari struktur portal yang menggunakan tiga sistem pengaku tersebut diatas.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk meneliti efektivitas dan kemampuan struktur berpengaku dan tanpa pengaku dalam menerima beban lateral di tiap tingkat dengan variasi tingkat dan membandingkan tiga macam struktur portal yang menggunakan tiga sistem pengaku.

1.4 Manfaat Penelitian

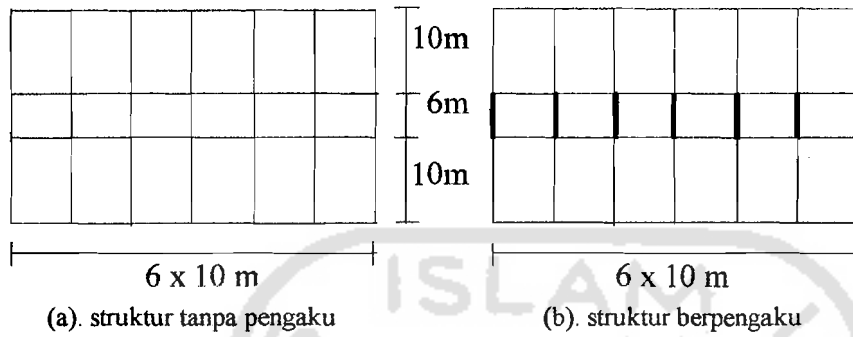
Manfaat yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan sistem pengaku yang paling baik dalam menahan beban lateral pada gedung bertingkat banyak, sehingga perencanaan struktur dapat aman dan nyaman selama usia layannya bagi pemakai.

1.5 Batasan Masalah

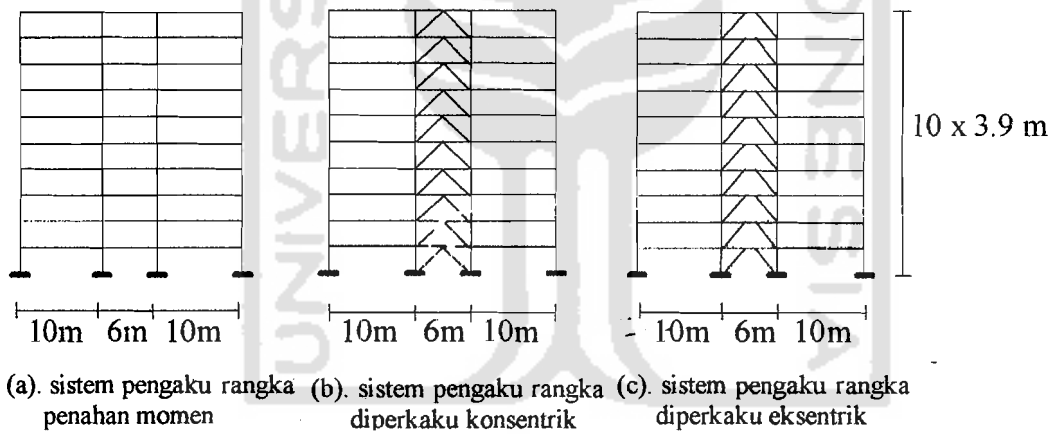
Pada analisis pengaku terhadap beban lateral ini perlu diadakan pembatasan masalah dan anggapan sebagai berikut :

1. balok dianggap sangat kaku dan tidak mengalami lendutan dalam menentukan simpangan lateral yang terjadi akibat beban gempa,
2. beban lateral yang dipakai adalah beban gempa dengan analisis beban statik ekuivalen,
3. analisis struktur portal menggunakan program SAP 90 dalam dua dimensi,
4. portal dianggap baja murni terdiri dari 10 lantai dengan tinggi tiap lantai 3,9m,

5. mutu material dan elemen portal yang digunakan adalah ;
modulus elastisitas baja, $E_s = 29.000 \text{ Ksi}$,
tegangan leleh baja, $F_y = 36 \text{ Ksi}$,
berat jenis beton, $W_c = 2.400 \text{ kg/m}^3$,
6. variasi tipe pengaku menggunakan rangka penahan momen, rangka diperkaku konsentrik dan rangka diperkaku eksentrik,
7. sistem pengaku terdapat pada setiap tingkat pada tengah portal,
8. untuk struktur portal dengan pengaku beban gempa diterima sepenuhnya oleh struktur portal pada bentang yang berpengaku saja, sedangkan struktur portal tanpa pengaku beban gempa diterima oleh struktur portal secara keseluruhan,
9. kekakuan tingkat dihitung setiap kenaikan 2 tingkat,
10. perencanaan menggunakan Allowable Stress Design (ASD),
11. bentuk gedung seperti gambar 1.1 dan 1.2.



Gambar 1.1 Denah bangunan



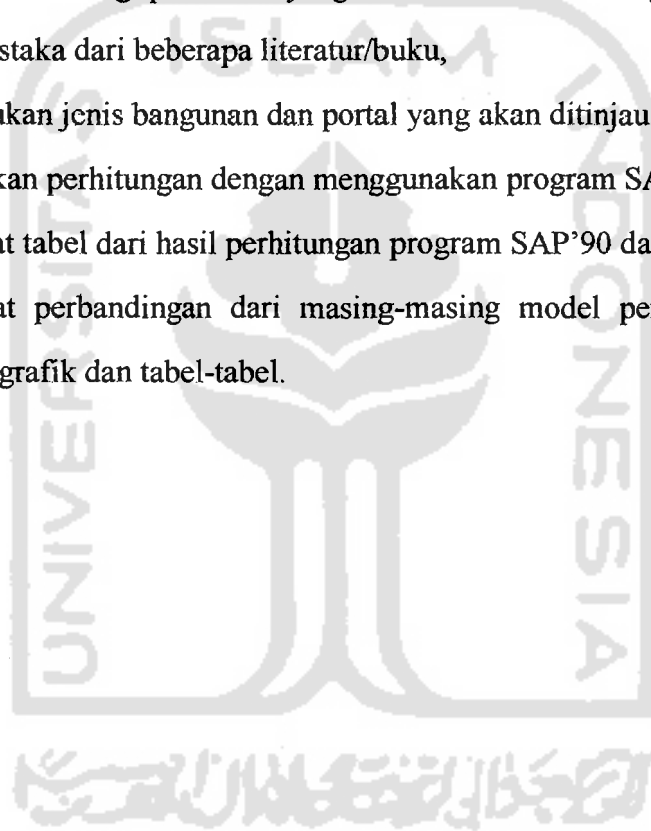
Gambar 1.2 Bentuk dan tipe sistem pengaku pada struktur portal.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian digunakan untuk membantu atau memandu peneliti tentang urutan-urutan bagaimana penelitian dilakukan. Sedangkan prosedur penelitian memberikan kepada peneliti urutan-urutan pekerjaan yang harus dilakukan dalam suatu penelitian (Moh. Nazir, Ph.d, 1983)

Secara garis besar metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. studi pustaka dari beberapa literatur/buku,
2. menentukan jenis bangunan dan portal yang akan ditinjau,
3. melakukan perhitungan dengan menggunakan program SAP'90 ,
4. membuat tabel dari hasil perhitungan program SAP'90 dan
5. membuat perbandingan dari masing-masing model pengaku dalam bentuk grafik dan tabel-tabel.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Sesuai dengan fungsinya, portal adalah suatu rangka struktur pada bangunan gedung haruslah mampu menahan beban-beban yang bekerja. Baik itu beban mati, beban hidup maupun beban sementara. Perilaku portal merupakan tumpuan utama bagi kekuatan bangunan dalam menjalankan fungsinya selama umur layannya, dalam keadaan umum, fungsional dan tetap memiliki nilai ekonomis dalam pembangunannya (Merati,1993).

Portal dengan sistem pengaku dipergunakan untuk mengurangi perpindahan lateral dan untuk memperoleh stabilitas struktur, dengan menggunakan sistem pengaku diharapkan dapat meningkatkan kekakuan portal secara keseluruhan sehingga lendutan yang disebabkan oleh beban gempa maupun angin dapat dibatasi. Sistem pengaku yang direncanakan hendaknya dapat menyerap energi akibat beban lateral yang terjadi dengan demikian sistem pengaku ini mengalami luluh terlebih dahulu sebelum portal mengalami kerusakan.

Dalam merencanakan struktur tahan gempa ada beberapa hal yang perlu dipelajari secara teliti dan seksama, pengetahuan tentang perilaku sistem pengaku adalah sangat diperlukan. Selain itu pengetahuan tentang karakteristik dari angin dan gerakan tanah saat terjadi gempa perlu pula dipelajari untuk mendesain suatu

struktur baja. Perencanaan sistem pengaku perlu pula mendapatkan perhatian dan ketelitian yang tinggi khususnya dalam perencanaan gedung bertingkat banyak, karena sistem pengaku memerlukan 1/3 dari biaya struktur, bahkan akan lebih jika sistem pengaku tidak direncanakan dengan baik (Englekirk. R, 1990).

2.2 Jenis-jenis Sistem Pengaku pada Struktur Portal

Jenis-jenis sistem pengaku telah banyak dikembangkan oleh para ahli dengan tujuan untuk memperkaku struktur baik dalam arah horizontal maupun pada arah vertikal. Sistem pengaku struktur baja yang telah dikembangkan untuk keperluan bangunan tinggi yang umumnya digunakan adalah rangka penahan momen, rangka diperkaku konsentrik dan rangka diperkaku eksentrik

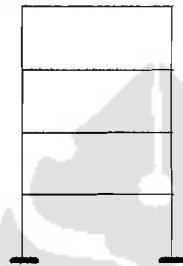
2.2.1 Portal dengan sistem pengaku penahan momen

Sistem rangka penahan momen (“momen resisting frame”) seperti gambar 2.1 haruslah bersifat kaku, sehingga tetap kuat, stabil dan aman selama umur pemakaian. Pada portal ini kekuatan, kekakuan dan kestabilan portal dalam menahan beban lateral yang terjadi sangat tergantung pada kemampuan dari masing-masing elemennya.

Pada portal dengan sistem pengaku rangka penahan momen, sambungan pada titik-titik buhul dengan masing-masing elemen haruslah kaku, sehingga kemampuan portal dalam menahan beban lateral dapat ditingkatkan. Sistem rangka penahan momen ini terdiri dari unsur-unsur struktur (selain dinding geser),

yang berfungsi menahan beban sebagai satu kesatuan tanpa adanya sistem pengaku (pengekang).

Pada ketinggian tertentu sistem ini sudah tidak ekonomis lagi karena simpangan yang cukup besar sehingga dimensi profil menjadi besar juga, maka sistem ini menjadi lebih mahal dari sistem lain. Namun keuntungan lainnya dari segi arsitektural memberikan keluwesan dalam penempatan pintu dan jendela.



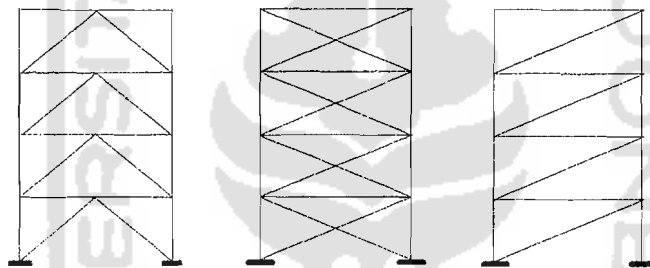
Gambar 2.1 Portal rangka penahan momen

2.2.2 Portal dengan sistem pengaku konsentrik

Rangka diperkaku konsentrik (“concentrically braced frame”), yaitu rangka struktur yang mempunyai sistem pengaku yang terletak pada diagonal setiap petak rangkanya. Rangka pengaku dengan batang-batang diagonal ini mempunyai tiga tipe, yaitu pengaku tipe Z, X dan V. Penempatan pengaku diagonal ini tidak hanya berada pada satu bentang (“bay”) saja, tetapi dapat pula dipasang pada beberapa bentang sejauh masih dipertimbangkan (Wahyudi.L, 1992).

Pada sistem pengaku konsentrik tipe Z, batang-batang diagonal dapat berfungsi sebagai batang tarik atau batang tekan tergantung pada pembebanannya. Untuk tipe X terdapat dua buah batang diagonal yang saling bersilangan. Batang-batang tersebut dapat menahan gaya tekan atau gaya tarik. Salah satu kelemahan

pengaku tipe X adalah batang-batang diagonalnya dapat menghalangi untuk penempatan pintu, jendela dan lain-lain. Sedangkan pengaku tipe V mempunyai beberapa keuntungan, antara lain balok portalnya memiliki tumpuan ditengah-tengah sehingga dimensi balok menjadi lebih kecil seperti pada gambar 2.2. Perlu diketahui bahwa batang diagonal selain mampu menahan beban lateral juga menerima beban vertikal yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan pengaku untuk menahan beban lateral.

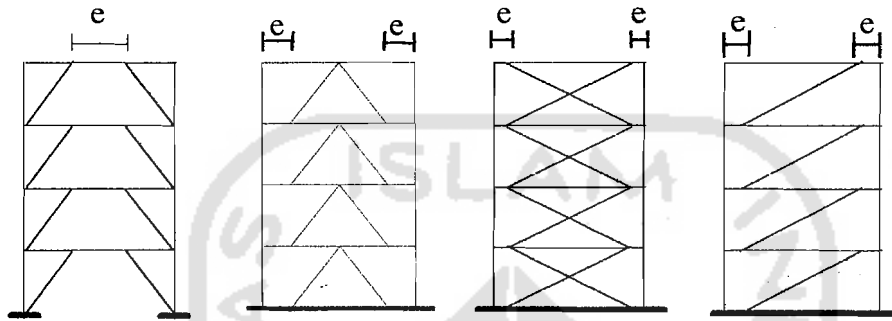


Gambar 2.2 Rangka portal dengan sistem pengaku konsentrik

2.2.3 Portal dengan sistem pengaku eksentrik

Rangka diperkaku eksentrik (“eccentrically braced frame”) adalah sistem pengaku yang diletakkan diagonal, akan tetapi salah satu atau kedua ujung batang pengaku terletak pada suatu jarak tertentu (cukup pendek) dari titik pertemuan balok dan kolom, seperti pada gambar 2.3. Sistem ini memberikan keuntungan arsitektural lebih baik daripada sistem rangka diperkaku konsentrik, karena pada sistem ini masih ada tempat-tempat yang cukup lapang untuk menempatkan lubang-lubang yang umum dibutuhkan. Sistem pengaku eksentrik memiliki respons yang paling baik dalam analisa plastis, ketika menerima beban gempa.

Kunci keberhasilan adalah terletak pada kemampuan menyerap energi yang sangat besar dan sangat konsisten sampai sejumlah putaran (“cycle”) yang cukup tinggi (K.David, 1988), (Balendra.T,dkk, 1987).



Gambar 2.3 Rangka portal dengan sistem pengaku eksentrik.

2.3 Simpangan Lateral

Suatu portal diasumsikan sebagai suatu kolom akan mengalami lendutan bila menerima beban lateral. Besarnya lendutan itu tergantung dari beban vertikal dan besarnya beban lateral yang terjadi.

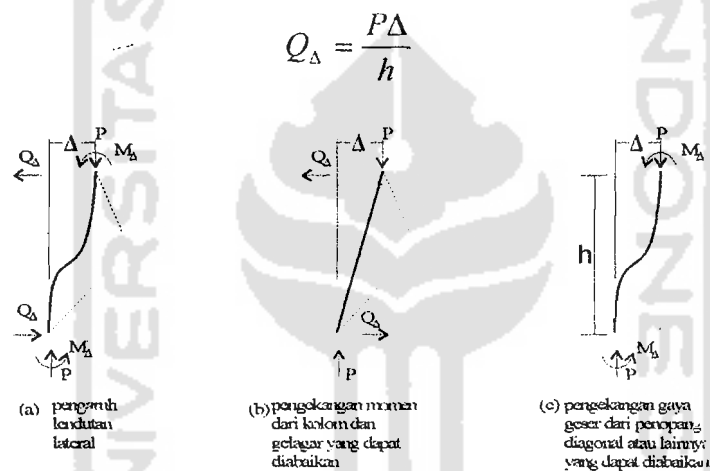
Pada gambar 2.4 memperlihatkan gaya-gaya yang timbul pada batang kolom portal akibat lendutan lateral (kearah samping) yang disebabkan oleh gaya horizontal. Momen (M_{Δ}) dan gaya geser (Q_{Δ}) adalah bagian dari momen dan gaya geser yang diperlukan untuk mengimbangi momen $P\Delta$. Syarat keseimbangan untuk keadaan pada gambar 2.4 .a adalah :

$$P\Delta = Q_{\Delta} \cdot h + 2M_{\Delta}$$

Pada portal akan terjadi simpangan akibat dari beban lateral tanpa memandang komponen-komponen batangnya. Namun cara mempertahankan

keseimbangan terhadap momen $P\Delta$ berlainan, tergantung pada kondisi pengekangan ("restraint"). Gedung dengan rangka batang vertikal yang bertitik tumpu sendi, pada pembebanan lateral gedung tersebut tidak memiliki kontinuitas di tumpuannya sehingga momen tidak terjadi, lihat gambar 2.4.b, sedangkan batang diagonal dan horizontal harus memikul semua gaya geser Q_{Δ} .

Keseimbangan itu adalah :

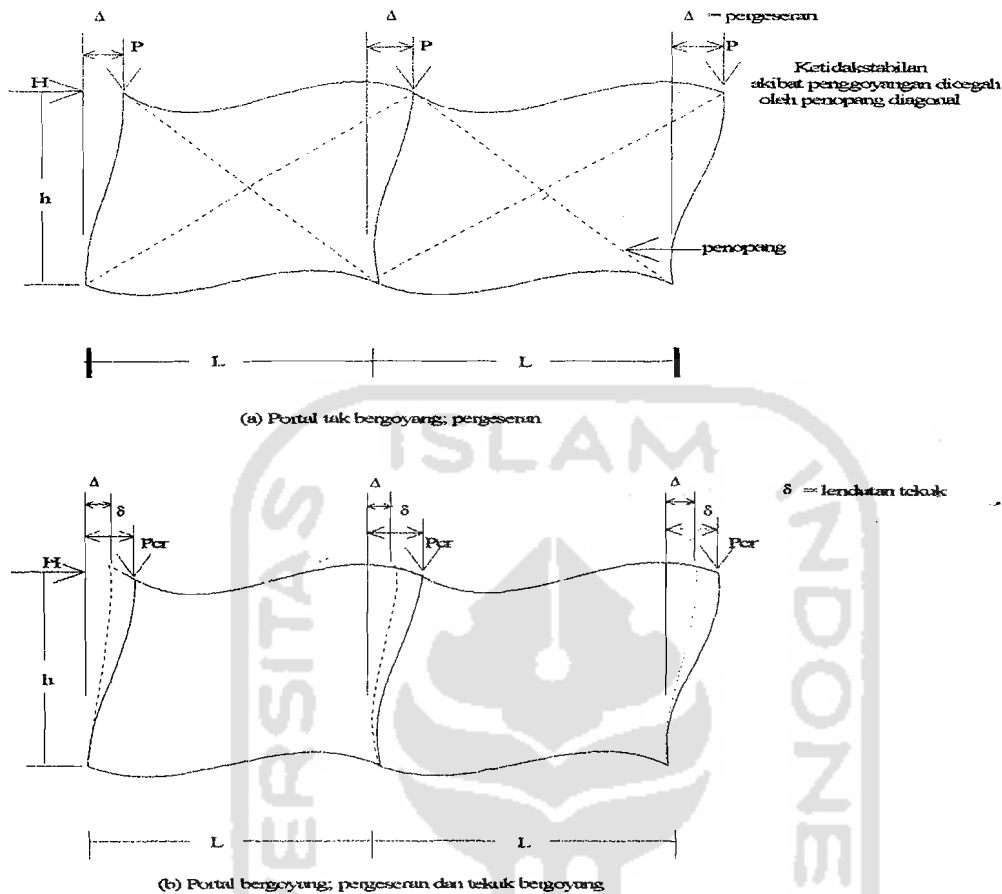


Gambar 2.4 Momen lentur skunder akibat $P\Delta$ pada portal
(sumber : Salmon & Johnson, 1993)

Sebaliknya, jika batang-batang disambung secara kaku tanpa batang diagonal, daya tahan terhadap geser akan sangat kecil. Dengan mengabaikan daya tahan geser (shear resistance).

$$M_{\Delta} = \frac{P \cdot \Delta}{2}$$

lihat gambar 2.4.c. Dalam hal ini gelagar dan kolom harus memikul momen M_{Δ} .



Gambar 2.5. Perbandingan antara portal tak bergoyang dan bergoyang
(Sumber :Salmon & Johnson,1993)

2.4 Beban lateral

Beban lateral adalah beban yang terjadi pada arah horizontal gedung. Beban lateral tersebut bekerja pada arah tegak lurus bidang vertikal. Beban lateral dapat berupa beban angin dan beban gempa, pada tugas akhir ini beban lateral yang digunakan adalah beban gempa. Dengan adanya beban lateral dapat menyebabkan konstruksi mengalami lendutan searah gaya lateral yang mengakibatkan terjadinya simpangan. Dan apabila simpangan yang terjadi melebihi batas tegangannya, struktur tersebut akan rusak dan tidak dapat memenuhi masa layannya.

2.4.1 Beban angin

Angin adalah gerakan yang berupa perpindahan massa udara ke arah horizontal seperti halnya vektor yang dapat dinyatakan dengan arah dan kecepatan perpindahan angin. Pengertian angin ini tidak ada perpindahan massa udara ke arah vertikal tetapi skala ruangnya hanya seperseratusribu dari skala defleksi horizontalnya (Suparjo, P 1995).

Beban angin adalah beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Dalam Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isap), yang bekerja tegak lurus pada bidang yang ditinjau. Tekanan tiup minimum harus diambil sebesar 25 kg/m^2 , sedang secara umum tekanan tiup merupakan fungsi dari kecepatan angin. Koefisien pengaruh ditentukan berdasar bentuk bidang yang terkena tiupan atau isapan angin.

2.4.2 Beban gempa

Pada prinsipnya beban gempa bukanlah suatu beban yang secara fisik bekerja pada bangunan, melainkan beban inersia yang diakibatkan oleh massanya sendiri dikalikan dengan gaya gempa. Karena percepatan gempa bersifat dinamik dan bolak-balik maka kekuatan portal hendaknya dapat menanggulangi keadaan tersebut.

Beban gempa adalah semua beban statik ekivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Pengaruh gempa pada struktur gedung, ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamis, maka yang diartikan dengan beban gempa itu sendiri adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu (PPI, 1983).

2.5 Analisa Beban Statik Ekivalen

Mengacu pada buku Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung 1981, analisa beban statik ekivalen merupakan cara pendekatan dari cara analisa dinamik dalam menentukan dan mendistribusikan beban gempa pada tiap lantai. Dalam analisa beban statik ekivalen, beban gempa yang didistribusikan pada tiap lantai sangat dipengaruhi oleh massa gedung. Penambahan besar massa akan memperbesar beban gempa, sehingga penggunaan struktur yang ringan merupakan penyelesaian yang disarankan pada bangunan yang sering dilanda gempa.

Untuk perhitungan beban statik ekivalen, rumus umum yang digunakan seperti yang terdapat pada buku (PPTGUG,1981) sebagai berikut :

Untuk waktu getar gedung dapat dihitung pada awal perencanaan dengan rumus seperti berikut :

$$T = 0,085 \times H^{3/4} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : T = waktu getar (detik),

H = tinggi total struktur (m).

Menentukan gaya geser dasar horizontal sebagai berikut :

$$V = C.I.K.W_t \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana : V = gaya geser dasar horizontal (kg),

C = koefisien gempa dasar,

I = faktor keutamaan gedung,

K = faktor jenis struktur,

W_t = berat total struktur (kg).

Beban gempa yang diperoleh lalu didistribusikan ketiap lantai sepanjang tinggi gedung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} V \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana : F_i = beban gempa horizontal yang terpusat pada lantai i (kg),

h_i = tinggi lantai i dari titik penjepitan tanah (m).

Pendistribusian beban gempa sepanjang tingkat gedung harus memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan. Perbandingan antara tinggi dan lebar gedung lebih besar dari 3 ($H/B \geq 3$) maka 0.1 V dianggap terpusat di lantai puncak (atap). Kemudian sisanya 0.9 V didistribusikan menurut rumus (2.3)

Setelah ukuran elemen-elemen struktur telah ditetapkan kemudian waktu getar gedung harus dihitung kembali dengan rumus sebagai berikut :

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times \delta_i^2}{g \times \sum F_i \times \delta_i}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana : W_i = beban vertikal pada lantai i yang digunakan dalam perhitungan

beban gempa (kg),

δ_i = lendutan horizontal lantai,

F_i = beban gempa horizontal pada lantai i (kg),

g = percepatan gravitasi (mm/detik^2).

Bila ternyata waktu getar yang dihitung dengan rumus (2.4) ini lebih kecil 80% dari waktu getar hitungan pertama (rumus 2.2) maka beban gempa harus dihitung dengan menggunakan waktu getar yang baru pada rumus (2.4).

Dalam perhitungan beban gempa horizontal atau analisa beban statik ekuivalen pada tugas akhir ini, wilayah gempa ditetapkan pada wilayah I dan pada jenis tanah keras, sementara berat total struktur portal disesuaikan dengan setiap jenis portal yang ditinjau dimana berat pengaku diperhitungkan.

2.6 Program Komputer

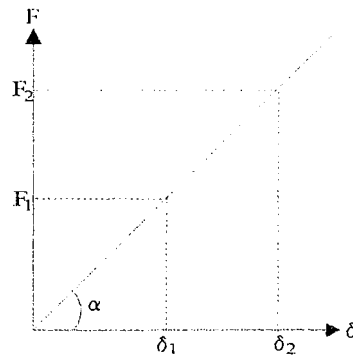
Program komputer yang dipakai pada penyelesaian tugas akhir ini adalah program SAP 90. Program ini adalah suatu program untuk menghitung analisa struktur yang menggunakan program ANSI Fortran-77. SAP 80 yang telah diperbaharui. Program SAP 90 dikembangkan oleh Profesor Edward L. Wilson lebih dari 25 tahun di Universitas California, Berkley, USA (Asrharf.H, 1990). Perhitungan program SAP 90 menggunakan Finite Element Analysis untuk menghasilkan analisa statik dan analisa yang mengacu pada AISC 1989.

Hasil hitungan ditulis dalam bentuk tabel-tabel berupa besar simpangan dan gaya geser dasar yang mengacu pada hitungan analisa elastis, sehingga dapat dipakai sebagai data untuk analisis didalam pembahasan penulisan tugas akhir ini.

2.7 Analisa Kekakuan Tingkat pada Struktur Portal

Dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi, lendutan yang terjadi akibat beban lateral merupakan permasalahan utama yang dijadikan batasan untuk perhitungan elemen-elemen struktur selanjutnya. Agar lendutan yang terjadi tidak melebihi lendutan yang ditetapkan, salah satu cara yang digunakan adalah membuat struktur memiliki kekakuan yang dapat menahan atau mengurangi lendutan akibat beban lateral tersebut. Pembatasan kekakuan ini dilakukan untuk menjaga agar kestabilan struktur tetap aman dalam masa layannya.

Pada umumnya struktur dianggap elastis sempurna, artinya bila suatu struktur melendut 1mm oleh beban 100 kg, maka struktur tersebut akan melendut sebesar 2 mm jika dibebani dengan beban 200 kg. Hubungan beban dan lendutan dalam hitungan struktur yang dianggap elastis sempurna berupa hubungan linear seperti pada gambar 2.6. Sudut kemiringan hubungan antara beban dan lendutan itu disebut nilai kekakuan, semakin kaku suatu struktur maka semakin besar nilai kekakuan tersebut (Kardiyono,1992).



Gambar 2.6 Grafik struktur elastis sempurna.

Portal terbuka adalah portal segi empat yang terdiri dari kolom dan balok yang mempunyai hubungan monolit membentuk ruangan yang besar dan memberikan daya tahan horizontal pada kerangka secara keseluruhan (Kiyosi Muto, 1974). Portal yang terdiri dari banyak tingkat akan memiliki kekakuan tingkat yang berbeda oleh karena pembebanan dan dimensi elemen-elemen portal yang berbeda baik akibat beban mati, beban hidup maupun beban lateral. Kekakuan tingkat adalah gaya horizontal yang diperlukan agar lantai melendut horizontal sebesar satu-satuan panjang terhadap lantai dibawahnya (Kardiyono, 1992). Kekakuan tingkat dapat dihitung dengan menentukan besar gaya geser tingkat terhadap lendutan yang terjadi pada tingkat tersebut.

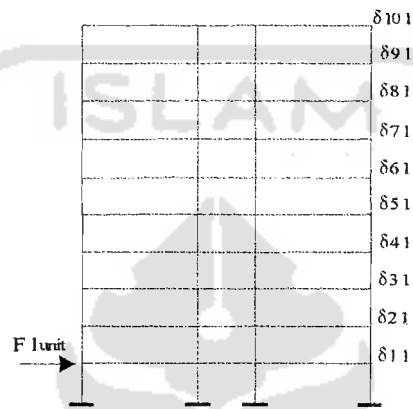
$$F_i = K_i \cdot \delta_i \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana : F_i = gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa pada tingkat i ,

K_i = kekakuan tingkat pada tingkat i ,

δ_i = simpangan tingkat pada tingkat i .

Perhitungan kekakuan tingkat dilakukan berdasarkan dari hasil-hasil simpangan yang dihasilkan dari program SAP'90 dari model-model struktur portal yang ditinjau. Untuk langkah-langkah perhitungan kekakuan tingkat dapat diuraikan berdasarkan gambar 2.7.



Gambar 2.7 Simpangan tingkat akibat beban gempa 1 satuan unit pada lantai 1

1. Beban gempa dikerjakan pada tingkat i

a. Pada $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat :

$$\delta_{11}, \delta_{21}, \delta_{31}, \dots, \delta_{101}$$

b. Pada $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat :

$$\delta_{12}, \delta_{22}, \delta_{32}, \dots, \delta_{102}$$

c. Pada $F = 1$ unit di tingkat i diperoleh simpangan tingkat :

$$\delta_{1n}, \delta_{2n}, \delta_{3n}, \dots, \delta_{10n}$$

Dan seterusnya dilakukan perhitungan sampai pada tingkat berikutnya.

2. Menyusun simpangan tingkat dalam bentuk matrik.

Dari simpangan tingkat yang diperoleh dari perhitungan langkah 1 dapat dibuat matrik simpangannya sebagai berikut :

$$[\delta] = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} & \dots & \delta_{1p} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} & \dots & \delta_{2p} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} & \dots & \delta_{3p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{m1} & \delta_{m2} & \delta_{m3} & \dots & \delta_{mp} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.6)$$

3. Menghitung kekakuan tingkat dalam bentuk matrik.

Matrik kekakuan didapat dari hasil invers matrik simpangan tingkat sebagai berikut :

$[K] = [\delta]^{-1}$ atau dalam bentuk kekakuan,

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \dots & k_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m1} & k_{m2} & k_{m3} & \dots & k_{mn} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.7)$$

4. Menghitung kekakuan tingkat pada tiap lantai.

Dari hasil matrik kekakuan tersebut diatas maka dapat dihitung kekakuan yang terjadi pada tiap tingkat sebagai berikut :

a. $K_{10} = k_{10\ 10}$

b. $K_9 = k_{9\ 9} - K_{10}$

c. $K_i = k_{m\ n} - K_{(i+1)} \dots \dots \dots (2.8)$

Untuk perhitungan kekakuan tingkat dilakukan pada setiap 2 tingkat dari struktur portal untuk setiap jenis portal yang digunakan sebagai analisa dalam tugas akhir. Hasil perhitungan kekakuan tingkat dari setiap jenis portal yang ditinjau disajikan dalam bentuk tabel-tabel kemudian dibuat grafik hubungan dari setiap jenis portal dan grafik gabungannya, lalu dilakukan perbandingan-perbandingan serta pembahasan sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan yang bermanfaat.



BAB III

ANALISIS STRUKTUR PORTAL 2 DIMENSI

3.1 Umum

Analisis struktur dari penulisan tugas akhir ini meliputi penelaahan struktur portal baja dengan pengaku ("Bracing") dan struktur portal baja tanpa pengaku ("Unbracing") ketika menerima beban lateral yang berupa beban gempa.

Dari berbagai jenis sistem pengaku yang telah banyak dikembangkan selama ini, sampai sekarang masih dilakukan penelitian-penelitian tentang perilaku dari sistem pengaku terhadap pengaruhnya dalam memberikan kontribusi kekakuan pada struktur gedung bertingkat banyak. Namun yang umum digunakan yaitu sistem pengaku penahan momen ("Momen Resisting Frame"), Sistem pengaku rangka diperkaku konsentrik ("Concentrically Braced Frame"), dan sistem pengaku rangka diperkaku eksentrik ("Eccentrically Braced Frame").

Untuk mempelajari dari ketiga jenis sistem pengaku seperti tersebut di atas, maka dibuat model-model struktur portal baja dalam 2 dimensi yang mempunyai tinggi portal maksimum 39 m atau maksimum 10 tingkat dan memiliki 3 bentang serta pengaku ditempatkan pada tengah-tengah portal. Dimana dalam perencanaannya digunakan cara analisa beban statik ekuivalen, lalu melakukan

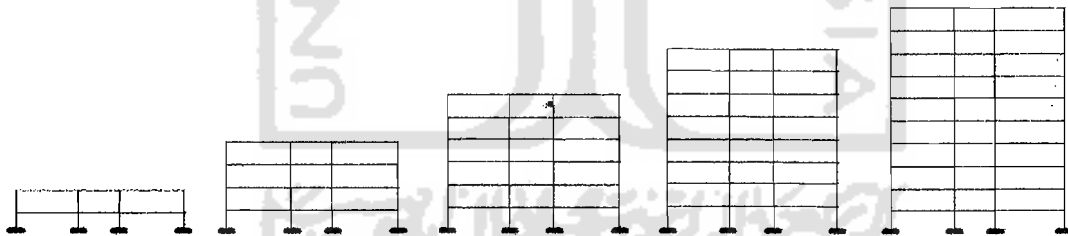
variasi perhitungan pada setiap kenaikan 2 tingkat dari struktur portal yang ditinjau untuk setiap model portal yang digunakan.

3.2 Model Struktur Portal Baja

Untuk mempelajari perilaku struktur portal baja dengan sistem pengaku maupun tanpa pengaku dalam menerima beban lateral, dipilih model-model struktur portal sebagai berikut.

3.2.1 Model struktur portal baja rangka penahan momen

Portal model ini tidak menggunakan pengaku (“Bracing”) tetapi dalam perencanaan pada titik-titik buhul struktur portal direncanakan sangat kaku, sehingga pada titik-titik buhul tersebut diharapkan mampu menahan beban lateral yang terjadi, lihat gambar 3.1.

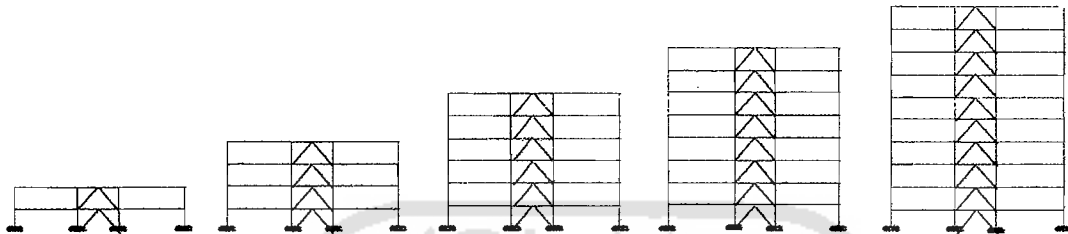


Gambar 3.1 Model struktur portal baja rangka penahan momen

3.2.2 Model struktur portal baja rangka diperkaku konsentrik

Model struktur portal baja yang digunakan dengan sistem pengaku ini menggunakan tipe V, dimana pengaku tersebut berada di tengah-tengah portal dan terdapat pada setiap tingkat. Sistem pengaku dengan tipe ini dapat memberikan

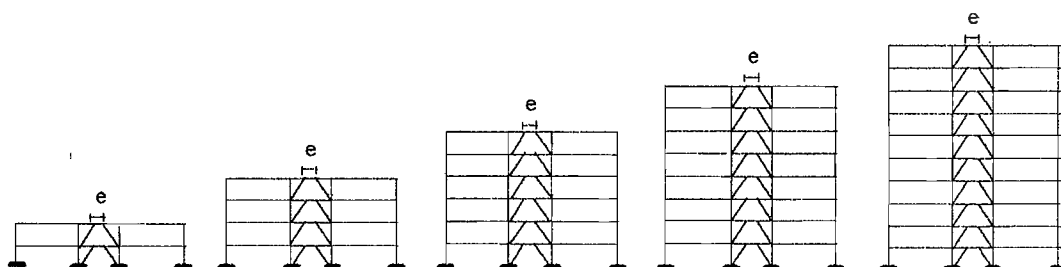
kekakuan portal yang lebih baik dari sistem pengaku rangka penahan momen, lihat gambar 3.2.



Gambar 3.2 Model struktur portal baja rangka diperkaku konsentrik

3.2.3 Model struktur portal baja rangka diperkaku eksentrik

Model struktur portal baja ini hampir sama dengan model struktur portal baja konsentrik tipe V, tetapi pada rangka diperkaku eksentrik batang-batang pengaku diletakkan dalam arah diagonal, dimana salah satu atau kedua ujung batang pengaku terletak pada suatu jarak tertentu dari titik pertemuan balok dan kolom. Eksentrisitas antara batang pengaku diambil dengan perbandingan e/I adalah lebih besar dari 5% (K.David,1988). Untuk sistem pengaku ini diambil besar eksentrisitas ($e = 120 \text{ cm}$), lihat gambar 3.3.



Gambar 3.3 Model struktur portal baja rangka diperkaku eksentrik

3.3 Pendimensian Profil

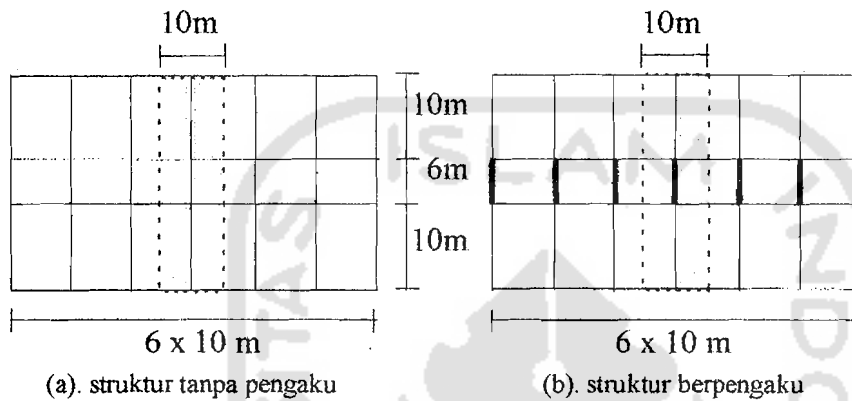
Pendimensian profil dari struktur portal yang hendak ditinjau dalam studi literatur ini dilakukan dengan cara coba-coba ("Trial and Error"), yaitu dengan mencoba-coba dimensi profil dari masing-masing elemen struktur seperti elemen balok, kolom dan pengaku. Analisa dan perhitungan pendimensian profil menggunakan paket program SAP'90 yang nantinya menghasilkan cek interaksi atau cek tegangan dari elemen-elemen struktur.

Langkah-langkah perhitungan pendimensian profil adalah sebagai berikut :

- a. menghitung dimensi elemen-elemen struktur portal tanpa pengaku akibat beban gravitasi dengan variasi tingkat.
- b. menghitung dimensi elemen-elemen struktur portal rangka penahan momen akibat beban gravitasi dan beban gempa dengan variasi tingkat.
- c. menghitung dimensi elemen-elemen struktur portal rangka diperkaku konsentrik akibat beban gravitasi dan beban gempa, dimana beban gempa yang terjadi direncanakan sepenuhnya ditahan oleh bentang yang menggunakan pengaku ("Bracing") dengan variasi tingkat.
- d. menghitung dimensi elemen-elemen struktur portal rangka diperkaku eksentrik seperti pada langkah c.

3.4 Pembebanan Struktur Portal

Pembebanan struktur portal berdasarkan Peraturan Pembebanan Gedung Indonesia (PPGI, 1983) dan luas pembebanan seperti gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Luas pembebanan pada struktur portal

3.4.1 Beban mati

a. beban mati atap

1. berat pelat (12 cm) $= 0,12 \cdot (24 \text{ KN/m}^3) \cdot 10 = 28,80 \text{ KN/m}$
2. berat plafond $= (0,11 \text{ KN/m}^2) \cdot 10 = 1,10 \text{ KN/m}$
3. berat finishing $= (0,17 \text{ KN/m}^2) \cdot 10 = 1,70 \text{ KN/m}$
4. berat balok taksiran $= 4,00 \text{ KN/m}$

Total beban mati atap

$= 35,60 \text{ KN/m}$

b. beban mati lantai

1. berat pelat (12 cm) = $0,12 \cdot (24 \text{ KN/m}^3) \cdot 10 = 28,80 \text{ KN/m}$
 2. berat spesi (2 cm) = $\overset{0,02}{2} \cdot (0,21 \text{ KN/m}^2) \cdot 10 = 4,20 \text{ KN/m}$
 3. berat ubin (1 cm) = $1 \cdot (0,24 \text{ KN/m}^2) \cdot 10 = 2,40 \text{ KN/m}$
 4. berat pasir (1 cm) = $0,01 \cdot (16 \text{ KN/m}^2) \cdot 10 = 1,60 \text{ KN/m}$
 5. berat plafond = $(0,11 \text{ KN/m}^2) \cdot 10 = 1,10 \text{ KN/m}$
 6. berat dinding (50 % dari luas tingkat)
 $\overset{6,2991}{(3,9/2)} \cdot 2,5 = 4,875 \text{ KN/m}$
 7. berat balok taksiran = $5,00 \text{ KN/m}$
- +
 Total beban mati lantai = $47,975 \text{ KN/m}$

3.4.2 Beban hidup

a. beban hidup atap

1. beban hidup atap = $(1 \text{ KN/m}^2) \cdot 10 = 10,00 \text{ KN/m}$
 2. berat air hujan = $(10 \text{ KN/m}^2) \cdot 0,05 \cdot 10 = 5,00 \text{ KN/m}$
- +
 Total beban hidup atap = $15,00 \text{ KN/m}$

b. beban hidup lantai

1. beban hidup kantor = $(2,5 \text{ KN/m}^2) \cdot 10 = 25,00 \text{ KN/m}$

3.5 Perhitungan Berat Struktur Portal

A. Berat lantai atap (lantai 10)

$$1. \text{ berat lantai} = 35,60 \cdot 26 = 925,6 \text{ KN}$$

$$2. \text{ berat kolom taksiran} = 6 \cdot (3,9/2) \cdot 4 = 46,8 \text{ KN}$$

$$3. \text{ beban hidup (reduksi beban hidup perkantoran} = 0,3)$$

$$= 0,3 \cdot (15 \times 26) = 117 \text{ KN}$$

$$P_{10} = 1089,40 \text{ KN}$$

B. Berat lantai (9 s/d 2)

$$1. \text{ berat lantai} = 47,975 \cdot 26 = 1247,35 \text{ KN}$$

$$2. \text{ berat kolom taksiran} = 6 \cdot (3,9) \cdot 4 = 93,6 \text{ KN}$$

$$3. \text{ beban hidup (reduksi beban hidup perkantoran} = 0,3)$$

$$= 0,3 \cdot (25 \times 26) = 195 \text{ KN}$$

$$P(9 \text{ s/d } 2) = 1535,95 \text{ KN}$$

C. Berat lantai 1

$$1. \text{ berat lantai} = 47,975 \cdot 26 = 1247,35 \text{ KN}$$

$$2. \text{ berat kolom taksiran} = 6 \cdot (3,9/2 + 3,9) \cdot 4 = 140,40 \text{ KN}$$

$$3. \text{ beban hidup (reduksi beban hidup perkantoran} = 0,3)$$

$$= 0,3 \cdot (25 \times 26) = 195 \text{ KN}$$

$$P_1 = 1582,75 \text{ KN}$$

D. Berat pengaku (“bracing”)

Dari model struktur portal yang digunakan, pengaku konsentrik dan eksentrik mempunyai panjang pengaku mendekati sama dan berat pengaku taksiran = 3,0 KN/m, maka berat pengaku dapat dihitung sebagai berikut :

$$B_2 = 2 \cdot 2 \cdot 4,92 \cdot 3,0 = 59,04 \text{ KN}$$

$$B_4 = 2 \cdot 4 \cdot 4,92 \cdot 3,0 = 118,08 \text{ KN}$$

$$B_6 = 2 \cdot 6 \cdot 4,92 \cdot 3,0 = 177,12 \text{ KN}$$

$$B_8 = 2 \cdot 8 \cdot 4,92 \cdot 3,0 = 236,16 \text{ KN}$$

$$B_{10} = 2 \cdot 10 \cdot 4,92 \cdot 3,0 = 295,20 \text{ KN}$$

3.5.1 Berat struktur portal rangka penahan momen

$$W_2 = 1089,40 + 1582,75 = 2672,15 \text{ KN}$$

$$W_4 = 1089,40 + (2 \cdot 1535,95) + 1582,75 = 5744,05 \text{ KN}$$

$$W_6 = 1089,40 + (4 \cdot 1535,95) + 1582,75 = 8815,95 \text{ KN}$$

$$W_8 = 1089,40 + (6 \cdot 1535,95) + 1582,75 = 11887,85 \text{ KN}$$

$$W_{10} = 1089,40 + (8 \cdot 1535,95) + 1582,75 = 14959,75 \text{ KN}$$

3.5.2 Berat struktur portal rangka diperkaku konsentrik dan eksentrik

$$W_2 = 2672,15 + 59,04 = 2731,19 \text{ KN}$$

$$W_4 = 5744,05 + 118,08 = 5862,13 \text{ KN}$$

$$W_6 = 8815,95 + 177,12 = 8993,07 \text{ KN}$$

$$W_8 = 11887,85 + 236,16 = 12124,01 \text{ KN}$$

$$W_{10} = 14959,75 + 295,20 = 15254,95 \text{ KN}$$

3.6 Perhitungan Gaya Geser Dasar Horizontal Akibat Beban Gempa

Untuk perhitungan gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa, dalam perencanaannya gedung dianggap berada pada daerah gempa wilayah I dan pada tanah keras. Perhitungan berdasarkan pada buku Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung (PPTGUG,1981) dan pembebanannya berdasarkan pada gambar 3.4 pada halaman 28, maka gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa dapat dihitung sebagai berikut :

A. Waktu getar alami gedung.

Diketahui tinggi total gedung $H = 39$ m, lebar gedung $B = 26$ m dan rasio antara tinggi dengan lebar gedung $H/B = 1,5 < 3$, maka gaya geser dasar horizontal didistribusikan sepanjang tinggi gedung. Perhitungan waktu getar alami gedung dilakukan pada setiap kenaikan 2 tingkat tinggi gedung dengan rumus (2.1) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_{10} &= 0,085 \cdot H^{3/4} \\ &= 0,085 \cdot 39^{(3/4)} = 1,3265 \text{ detik} \end{aligned}$$

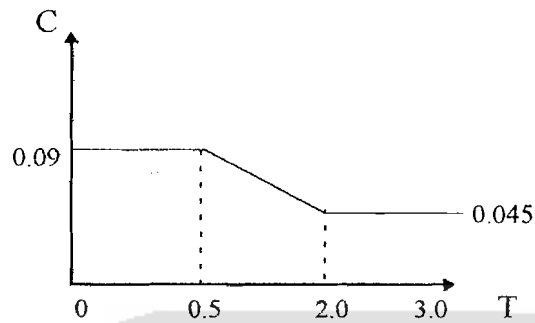
$$T_8 = 0,085 \cdot 31,2^{(3/4)} = 1,1221 \text{ detik}$$

$$T_6 = 0,085 \cdot 23,4^{(3/4)} = 0,9043 \text{ detik}$$

$$T_4 = 0,085 \cdot 15,6^{(3/4)} = 0,6672 \text{ detik}$$

$$T_2 = 0,085 \cdot 7,8^{(3/4)} = 0,3967 \text{ detik}$$

B. Gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa



Gambar 3.5 Grafik daerah wilayah gempa I pada tanah keras

Untuk menentukan nilai koefisien gempa dasar pada setiap model portal yang digunakan dilakukan interpolasi berdasarkan gambar 3.5 tersebut diatas adalah sebagai berikut :

$$\frac{(0.09 - 0.045)}{(0.09 - 0.045)} = \frac{X}{(0.09 - 0.045)} = \frac{(2 - 1,3265)}{1,5} = 0,0202$$

$$C_{10} = 0,0202 + 0,045$$

$$= 0,0652$$

$$C_8 = 0,0713$$

$$C_6 = 0,0779$$

$$C_4 = 0,0850$$

$$C_2 = 0,090$$

Dari tabel 3.1 dan tabel 3.2 pada buku (PPTGUG,1981) halaman 14 - 15, untuk nilai K dan I didapatkan seperti di bawah ini:

$I = 1,0$: fungsi gedung sebagai perkantoran,

$K_1 = 1,0$: untuk portal baja tanpa pengaku,

$K_2 = 2,5$: untuk portal baja dengan pengaku.

Gaya geser dasar horizontal akibat beban gempa :

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

3.6.1 Gaya geser dasar horizontal struktur portal rangka penahan momen akibat beban gempa

$$V_2 = 0,090 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2672,15 = 240,494 \text{ KN}$$

$$V_4 = 0,0850 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 5744,05 = 488,244 \text{ KN}$$

$$V_6 = 0,0779 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 8815,95 = 686,763 \text{ KN}$$

$$V_8 = 0,0713 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 11887,85 = 847,604 \text{ KN}$$

$$V_{10} = 0,0652 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 14959,75 = 975,376 \text{ KN}$$

3.6.2 Gaya geser dasar horizontal struktur portal rangka diperkaku konsentrik dan eksentrik akibat beban gempa

$$V_2 = 0,090 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 2731,19 = 614,518 \text{ KN}$$

$$V_4 = 0,0850 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 5862,13 = 1245,703 \text{ KN}$$

$$V_6 = 0,0799 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 8993,07 = 1796,366 \text{ KN}$$

$$V_8 = 0,0713 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 12124,01 = 2161,105 \text{ KN}$$

$$V_{10} = 0,0652 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 15254,95 = 2486,557 \text{ KN}$$

Tabel 3.1 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Penahan Momen Model Struktur Portal 2 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	7.8	1089.4	8497.320	139.301	139.301	1.185	1529.681	165.067
1	3.9	1582.75	6172.725	101.193	240.494	0.591	553.451	59.839
			14670.045				2083.132	224.906

$$T_2' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{2083,132}{981 \times 224,906}} = 0,6122 \text{ dt}$$

$$T_2' > T_2 = 0,3967 \text{ dt}$$

Tabel 3.2 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Penahan Momen Model Struktur Portal 4 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	15.6	1089.4	16994.640	156.208	156.208	3.456	13008.379	539.786
3	11.7	1535.95	17970.615	165.179	321.387	2.871	12661.809	474.258
2	7.8	1535.95	11980.410	110.119	431.507	1.963	5919.890	216.188
1	3.9	1582.75	6172.725	56.737	488.244	0.827	1081.907	46.909
			53118.390				32671.983	1277.141

$$T_4' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{32671,983}{981 \times 1277,141}} = 1,0174 \text{ dt}$$

$$T_4' > T_4 = 0,6672 \text{ dt}$$

Tabel 3.3 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Penahan Momen Model Struktur Portal 6 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	23.4	1089.4	25491.960	151.539	151.539	6.143	41106.282	930.861
5	19.5	1535.95	29951.025	178.046	329.585	5.520	46795.612	982.759
4	15.6	1535.95	23960.820	142.437	472.022	4.478	30794.962	637.785
3	11.7	1535.95	17970.615	106.828	578.850	3.412	17882.625	364.512
2	7.8	1535.95	11980.410	71.219	650.069	2.148	7089.403	153.006
1	3.9	1582.75	6172.725	36.694	686.763	0.836	1105.365	30.665
			115527.555				144774.250	3099.588

$$T_6' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{144774,250}{981 \times 3099,588}} = 1,3747 \text{ dt}$$

$$T_6' > T_6 = 0,9043 \text{ dt}$$

Tabel 3.4 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Penahan Momen Model Struktur Portal 8 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	31.2	1089.4	33989.280	142.693	142.693	8.103	71533.176	1156.283
7	27.3	1535.95	41931.435	176.036	318.729	7.634	89504.711	1343.805
6	23.4	1535.95	35941.230	150.888	469.618	6.924	73636.643	1044.752
5	19.5	1535.95	29951.025	125.740	595.358	5.911	53668.308	743.266
4	15.6	1535.95	23960.820	100.592	695.950	4.631	32941.302	465.849
3	11.7	1535.95	17970.615	75.444	771.394	3.389	17637.548	255.656
2	7.8	1535.95	11980.410	50.296	821.690	2.056	6491.870	103.402
1	3.9	1582.75	6172.725	25.914	847.604	0.768	933.370	19.900
			201897.540				346346.929	5132.913

$$T_8' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{346346,929}{981 \times 5132,913}} = 1,6523 \text{ dt}$$

$$T_8' > T_8 = 1,1221 \text{ dt}$$

Tabel 3.5 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Penahan Momen Model Struktur Portal 10 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	39.0	1089.4	42486.600	132.725	132.725	10.360	116929.387	1375.054
9	35.1	1535.95	53911.845	168.416	301.141	9.829	148378.755	1655.317
8	31.2	1535.95	47921.640	149.703	450.844	8.931	122518.948	1337.040
7	27.3	1535.95	41931.435	130.990	581.835	8.125	101388.274	1064.253
6	23.4	1535.95	35941.230	112.277	694.112	7.111	77658.891	798.362
5	19.5	1535.95	29951.025	93.565	787.677	5.909	53625.192	552.850
4	15.6	1535.95	23960.820	74.852	862.528	4.551	31814.140	340.661
3	11.7	1535.95	17970.615	56.139	918.667	3.266	16384.935	183.357
2	7.8	1535.95	11980.410	37.426	956.093	1.944	5803.725	72.751
1	3.9	1582.75	6172.725	19.283	975.376	0.709	796.389	13.678
			312228.345				675298.635	7393.323

$$T_{10}' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{675298,635}{981 \times 7393,323}} = 1,9224 \text{ dt}$$

$$T_{10}' > T_{10} = 1,3265 \text{ dt}$$

Tabel 3.6 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Konsentrik Model Struktur Portal 2 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	7.8	1104.16	8612.448	353.828	353.828	0.520	298.993	184.122
1	3.9	1627.03	6345.417	260.690	614.518	0.266	115.271	69.388
			14957.865				414.263	253.510

$$T_2' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{414,263}{981 \times 253,510}} = 0,2571 \text{ dt}$$

$$T_2 = 0,3967 \text{ dt}$$

$$80\% T_2 = 0,3174 \text{ dt}$$

$$T_2' < 80\% T_2 < 0,5 \text{ dt}$$

Tabel 3.7 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Konsentrik Model Struktur Portal 4 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	15.6	1104.16	17224.896	398.076	398.076	1.679	3111.103	668.202
3	11.7	1555.47	18198.999	420.588	818.665	1.269	2503.241	533.553
2	7.8	1555.47	12132.666	280.392	1099.057	0.783	952.734	219.443
1	3.9	1627.03	6345.417	146.646	1245.703	0.317	163.860	46.538
			53901.978				6730.938	1467.736

$$T_4' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{6730,938}{981 \times 1467,736}} = 0,4307 \text{ dt}$$

$$T_4 = 0,6672 \text{ dt}$$

$$80\% T_4 = 0,5338 \text{ dt}$$

$$T_4' < 80\% T_4$$

Tabel 3.8 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Konsentrik Model Struktur Portal 4 tingkat
(dengan waktu getar alami gedung $T_4' = 0,4307 \text{ dt}$)

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	15.6	1104.16	17224.896	421.492	421.492	1.705	3210.865	718.761
3	11.7	1555.47	18198.999	445.329	866.821	1.294	2605.917	576.409
2	7.8	1555.47	12132.666	296.886	1163.707	0.803	1003.859	238.504
1	3.9	1627.03	6345.417	155.272	1318.979	0.328	175.252	50.960
			53901.978				6995.892	1584.633

$$T_4'' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{6995,892}{981 \times 1584,633}} = 0,4226 \text{ dt}$$

$$T_4'' \approx T_4' = 0,4307 \text{ dt}$$

Tabel 3.9 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Konsentrik Model Struktur Portal 6 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	23.4	1104.16	25837.344	390.361	390.361	3.778	15757.604	1474.672
5	19.5	1555.47	30331.665	458.263	848.624	3.032	14303.983	1389.672
4	15.6	1555.47	24265.332	366.610	1215.234	2.226	7704.237	815.903
3	11.7	1555.47	18198.999	274.958	1490.192	1.533	3653.176	421.377
2	7.8	1555.47	12132.666	183.305	1673.497	0.879	1203.043	161.207
1	3.9	1627.03	6345.417	95.869	1769.366	0.336	183.887	32.230
			117111.423				42805.928	4295.061

$$T_6' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{42805,928}{981 \times 4295,061}} = 0,6350 \text{ dt}$$

$$T_6 = 0,9043 \text{ dt}$$

$$80\% T_6 = 0,7234 \text{ dt}$$

$$T_6' < 80\% T_6$$

Tabel 3.10 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Konsentrik Model Struktur Portal 6 tingkat
(dengan waktu getar alami gedung $T_6' = 0,6350 \text{ dt}$)

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	23.4	1104.16	25837.344	426.575	426.575	3.850	16363.021	1642.144
5	19.5	1555.47	30331.665	500.776	927.351	3.110	15041.996	1557.275
4	15.6	1555.47	24265.332	400.621	1327.972	2.333	8465.828	934.625
3	11.7	1555.47	18198.999	300.466	1628.438	1.619	4075.569	486.361
2	7.8	1555.47	12132.666	200.310	1828.748	0.939	1371.854	180.116
1	3.9	1627.03	6345.417	104.763	1933.511	0.365	217.042	38.263
			117111.423				45535.310	4846.785

$$T_6'' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{45535,310}{981 \times 4846,785}} = 0,6165 \text{ dt}$$

$$T_6'' \approx T_6' = 0,6350 \text{ dt}$$

Tabel 3.11 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Konsentrik Model Struktur Portal 8 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	31.2	1104.16	34449.792	363.903	363.903	6.813	51247.998	2479.183
7	27.3	1555.47	42464.331	448.563	812.467	5.785	52048.393	2594.757
6	23.4	1555.47	36397.998	384.483	1196.950	4.672	33954.623	1796.369
5	19.5	1555.47	30331.665	320.402	1517.352	3.553	19635.594	1138.379
4	15.6	1555.47	24265.332	256.322	1773.674	2.537	10012.543	650.320
3	11.7	1555.47	18198.999	192.241	1965.916	1.691	4450.282	325.170
2	7.8	1555.47	12132.666	128.161	2094.076	0.946	1391.261	121.207
1	3.9	1627.03	6345.417	67.029	2161.105	0.352	201.861	23.610
			204586.2				172942.554	9128.995

$$T_8' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{172942,554}{981 \times 9128,995}} = 0,8755 \text{ dt}$$

$$T_8 = 1,1221 \text{ dt}$$

$$80\% T_8 = 0,8977 \text{ dt}$$

$$T_8' < 80\% T_8$$

Tabel 3.12 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Konsentrik Model Struktur Portal 8 tingkat
(dengan waktu getar alami gedung $T_8' = 0,8755 \text{ dt}$)

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	31.2	1104.16	34449.792	401.672	401.672	6.809	51195.124	2735.079
7	27.3	1555.47	42464.331	495.118	896.790	5.798	52288.731	2870.661
6	23.4	1555.47	36397.998	424.387	1321.177	4.706	34450.686	1997.240
5	19.5	1555.47	30331.665	353.656	1674.833	3.613	20301.151	1277.848
4	15.6	1555.47	24265.332	282.925	1957.758	2.628	10745.940	743.640
3	11.7	1555.47	18198.999	212.194	2169.952	1.771	4881.368	375.901
2	7.8	1555.47	12132.666	141.462	2311.414	1.006	1574.041	142.304
1	3.9	1627.03	6345.417	73.985	2385.399	0.383	238.242	28.311
			204586.2				175675.283	10170.781

$$T_8'' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{175675,283}{981 \times 10170,781}} = 0,8360 \text{ dt}$$

$$T_8' = 0,8755 \text{ dt}$$

$$80\% T_8' = 0,7004 \text{ dt}$$

$$T_8'' > 80\% T_8'$$

Tabel 3.13 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Konsentrik Model Struktur Portal 10 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	39.0	1104.16	43062.240	338.501	338.501	10.734	127223.358	3633.516
9	35.1	1555.47	54596.997	429.172	767.673	9.312	134881.497	3996.476
8	31.2	1555.47	48530.664	381.487	1149.160	7.825	95240.628	2985.105
7	27.3	1555.47	42464.331	333.801	1482.961	6.434	64398.626	2147.805
6	23.4	1555.47	36397.998	286.115	1769.076	5.072	40021.470	1451.297
5	19.5	1555.47	30331.665	238.429	2007.505	3.808	22560.034	908.026
4	15.6	1555.47	24265.332	190.743	2198.248	2.724	11541.970	519.587
3	11.7	1555.47	18198.999	143.057	2341.306	1.797	5022.379	257.060
2	7.8	1555.47	12132.666	95.372	2436.677	0.998	1549.819	95.198
1	3.9	1627.03	6345.417	49.880	2486.557	0.368	220.896	18.379
			316326.309				502660.678	16012.450

$$T_{10}' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{502660,678}{981 \times 16012,450}} = 1,1270 \text{ dt}$$

$$T_{10} = 1,3265 \text{ dt}$$

$$80\% T_{10} = 1,0612 \text{ dt}$$

$$T_{10}' > 80\% T_{10}$$

Tabel 3.14 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Eksentrik Model Struktur Portal 2 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	7.8	1104.16	8612.448	353.828	353.828	1.086	1303.101	384.383
1	3.9	1627.03	6345.417	260.690	614.518	0.567	523.483	147.870
			14957.865				1826.584	532.253

$$T_2' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{1826,584}{981 \times 532,253}} = 0,3726 \text{ dt}$$

$$T_2 = 0,3967 \text{ dt}$$

$$80\% T_2 = 0,3174 \text{ dt}$$

$$T_2' > 80\% T_2$$

Tabel 3.15 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Eksentrik Model Struktur Portal 4 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	15.6	1104.16	17224.896	398.076	398.076	2.682	7943.119	1067.692
3	11.7	1555.47	18198.999	420.588	818.665	2.033	6427.567	854.968
2	7.8	1555.47	12132.666	280.392	1099.057	1.329	2745.357	372.507
1	3.9	1627.03	6345.417	146.646	1245.703	0.574	535.606	84.139
			53901.978				17651.650	2379.306

$$T_4' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{17651,650}{981 \times 2379,306}} = 0,5479 \text{ dt}$$

$$T_4 = 0,6672 \text{ dt}$$

$$80\% T_4 = 0,5338 \text{ dt}$$

$$T_4' \approx 80\% T_4$$

Tabel 3.16 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Eksentrik Model Struktur Portal 6 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	23.4	1104.16	25837.344	396.318	396.318	4.987	27455.728	1976.259
5	19.5	1555.47	30331.665	465.256	861.573	3.907	24727.052	1855.014
4	15.6	1555.47	24265.332	372.205	1233.778	3.069	14649.055	1142.236
3	11.7	1555.47	18198.999	279.153	1512.932	2.204	7553.812	615.170
2	7.8	1555.47	12132.666	186.102	1699.034	1.333	2763.612	248.062
1	3.9	1627.03	6345.417	97.332	1796.366	0.536	467.366	52.166
			117111.423				77616.624	5888.907

$$T_6' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{77616,624}{981 \times 5888,907}} = 0,7302 \text{ dt}$$

$$T_6 = 0,9043 \text{ dt}$$

$$80\% T_6 = 0,7234 \text{ dt}$$

$$T_6' \approx 80\% T_6$$

Tabel 3.17 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Eksentrik Model Struktur Portal 8 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	31.2	1104.16	34449.792	363.903	363.903	7.765	66570.758	2825.608
7	27.3	1555.47	42464.331	448.563	812.467	6.569	67122.647	2946.643
6	23.4	1555.47	36397.998	384.483	1196.950	5.442	46058.170	2092.182
5	19.5	1555.47	30331.665	320.402	1517.352	4.269	28350.933	1367.882
4	15.6	1555.47	24265.332	256.322	1773.674	3.180	15729.849	815.112
3	11.7	1555.47	18198.999	192.241	1965.916	2.197	7509.421	422.396
2	7.8	1555.47	12132.666	128.161	2094.076	1.284	2564.650	164.566
1	3.9	1627.03	6345.417	67.029	2161.105	0.496	400.667	33.262
			204586.200				234307.094	10667.651

$$T_8' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{234307,094}{981 \times 10667,651}} = 0,9427 \text{ dt}$$

$$T_8 = 1,1221 \text{ dt}$$

$$80\% T_8 = 0,8977 \text{ dt}$$

$$T_8' > 80\% T_8$$

Tabel 3.18 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal akibat Beban Gempa
Rangka Diperkaku Eksentrik Model Struktur Portal 10 tingkat

Lantai	hi (m)	Wi (KN)	ΣWi.hi (KNm)	Fi (KN)	ΣFi (KN)	δi (cm)	ΣWi.δi ²	ΣFi.δi
Atap	39.0	1104.16	43062.240	338.501	338.501	11.490	145778.529	3889.470
9	35.1	1555.47	54596.997	429.172	767.673	9.852	150965.658	4228.050
8	31.2	1555.47	48530.664	381.487	1149.160	8.384	109347.222	3198.544
7	27.3	1555.47	42464.331	333.801	1482.961	7.014	76528.787	2341.364
6	23.4	1555.47	36397.998	286.115	1769.076	5.636	49411.899	1612.596
5	19.5	1555.47	30331.665	238.429	2007.505	4.322	29053.953	1030.460
4	15.6	1555.47	24265.332	190.743	2198.248	3.166	15591.273	603.892
3	11.7	1555.47	18198.999	143.057	2341.306	2.146	7161.347	306.957
2	7.8	1555.47	12132.666	95.372	2436.677	1.230	2352.872	117.297
1	3.9	1627.03	6345.417	49.880	2486.557	0.462	347.147	23.040
			316326.309				586538.687	17351.670

$$T_{10}' = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot \delta_i^2}{g \times \sum F_i \cdot \delta_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{586538,687}{981 \times 17351,670}} = 1,1695 \text{ dt}$$

$$T_{10} = 1,3265 \text{ dt}$$

$$80\% T_{10} = 1,0612 \text{ dt}$$

$$T_{10}' > 80\% T_{10}$$

3.7 Perhitungan Kekakuan Tingkat Struktur Portal

3.7.1 Kekakuan tingkat struktur portal rangka penahan momen

A. Portal 2 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{11} = 2,1058 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{21} = 2,7157 \cdot 10^{-3}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{12} = 2,7157 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 6,5340 \cdot 10^{-3}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 2,1058 & 2,7157 \\ 2,7157 & 6,5340 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 1,0235 & -0,4254 \\ -0,4254 & 0,3298 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_2 = k_{22} = 329,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 1023,5 - 329,8 \Rightarrow K_1 = 639,7 \text{ KN/cm}$$

B. Portal 4 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{11} = 1,2779 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{21} = 1,6959 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{31} = 1,7598 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{41} = 1,7724 \cdot 10^{-3}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{12} = 1,6959 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 3,8737 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{32} = 4,4327 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{42} = 4,5343 \cdot 10^{-3}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{13} = 1,7598 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{23} = 4,4327 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{33} = 6,7766 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{43} = 7,4510 \cdot 10^{-3}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{14} = 1,7724 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{24} = 4,5343 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{34} = 7,4510 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{44} = 10,4030 \cdot 10^{-3}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 1,2779 & 1,6959 & 1,7598 & 1,7724 \\ 1,6959 & 3,8737 & 4,4327 & 4,5343 \\ 1,7598 & 4,4327 & 6,7766 & 7,4510 \\ 1,7724 & 4,5343 & 7,4510 & 10,4030 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 1,9384 & -1,0928 & 0,2393 & -0,0253 \\ -1,0928 & 1,7007 & -1,0275 & 0,1809 \\ 0,2393 & -1,0275 & 1,4586 & -0,6376 \\ -0,0253 & 0,1809 & -0,6376 & 0,4783 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_4 = k_{44} = 478,3 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 1458,6 - 478,3 \Rightarrow K_3 = 980,3 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 1700,7 - 980,3 \Rightarrow K_2 = 720,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 1938,4 - 720,4 \Rightarrow K_1 = 1218 \text{ KN/cm}$$

C. Portal 6 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{11} = 0,8371 \cdot 10^{-3} & \delta_{21} = 1,1694 \cdot 10^{-3} & \delta_{31} = 1,2339 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{41} = 1,2471 \cdot 10^{-3} & \delta_{51} = 1,2505 \cdot 10^{-3} & \delta_{61} = 1,2516 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{12} = 1,1694 \cdot 10^{-3} & \delta_{22} = 2,7357 \cdot 10^{-3} & \delta_{32} = 3,2096 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{42} = 3,3049 \cdot 10^{-3} & \delta_{52} = 3,3261 \cdot 10^{-3} & \delta_{62} = 3,3312 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{13} = 1,2339 \cdot 10^{-3} & \delta_{23} = 3,2096 \cdot 10^{-3} & \delta_{33} = 4,9357 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{43} = 5,4531 \cdot 10^{-3} & \delta_{53} = 5,5575 \cdot 10^{-3} & \delta_{63} = 5,5752 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{14} = 1,2471 \cdot 10^{-3} & \delta_{24} = 3,3049 \cdot 10^{-3} & \delta_{34} = 5,4531 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{44} = 7,2654 \cdot 10^{-3} & \delta_{54} = 7,7936 \cdot 10^{-3} & \delta_{64} = 7,8627 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{15} = 1,2505 \cdot 10^{-3} & \delta_{25} = 3,3261 \cdot 10^{-3} & \delta_{35} = 5,5575 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{45} = 7,7936 \cdot 10^{-3} & \delta_{55} = 10,4601 \cdot 10^{-3} & \delta_{65} = 11,0254 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{16} = 1,2516 \cdot 10^{-3} & \delta_{26} = 3,3312 \cdot 10^{-3} & \delta_{36} = 5,5752 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{46} = 7,8627 \cdot 10^{-3} & \delta_{56} = 11,0254 \cdot 10^{-3} & \delta_{66} = 14,3926 \cdot 10^{-3} \end{array}$$



sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,8371 & 1,1694 & 1,2339 & 1,2471 & 1,2505 & 1,2516 \\ 1,1694 & 2,7357 & 3,2096 & 3,3049 & 3,3261 & 3,3312 \\ 1,2339 & 3,2096 & 4,9357 & 5,4530 & 5,5575 & 5,5752 \\ 1,2471 & 3,3049 & 5,4531 & 7,2654 & 7,7936 & 7,8627 \\ 1,2505 & 3,3261 & 5,5575 & 7,7936 & 10,4601 & 11,0254 \\ 1,2516 & 3,3312 & 5,5752 & 7,8627 & 11,0254 & 14,3926 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 3,1194 & -1,7860 & 0,4443 & -0,0620 & 0,0055 & -0,0003 \\ -1,7860 & 2,6862 & -1,7033 & 0,3969 & -0,0348 & 0,0032 \\ 0,4443 & -1,7033 & 2,5724 & -1,4496 & 0,2214 & -0,0185 \\ -0,0620 & 0,3969 & -1,4496 & 1,8036 & -0,8030 & 0,1048 \\ 0,0055 & -0,0348 & 0,2214 & -0,8030 & 1,0735 & -0,4618 \\ -0,0003 & 0,0032 & -0,0185 & 0,1048 & -0,4618 & 0,3725 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_6 = k_{66} = 372,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_{55} - K_6 = 1073,5 - 372,5 \Rightarrow K_5 = 701 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_{44} - K_5 = 1803,6 - 701 \Rightarrow K_4 = 1102,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 2572,4 - 1102,6 \Rightarrow K_3 = 1469,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 2686,2 - 1469,8 \Rightarrow K_2 = 1216,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 3119,4 - 1216,4 \Rightarrow K_1 = 1903 \text{ KN/cm}$$

D. Portal 8 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= 0,5858 \cdot 10^{-3} & \delta_{21} &= 0,8439 \cdot 10^{-3} & \delta_{31} &= 0,9039 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{41} &= 0,9182 \cdot 10^{-3} & \delta_{51} &= 0,9222 \cdot 10^{-3} & \delta_{61} &= 0,9233 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{71} &= 0,9239 \cdot 10^{-3} & \delta_{81} &= 0,9244 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{12} &= 0,8439 \cdot 10^{-3} & \delta_{22} &= 2,0059 \cdot 10^{-3} & \delta_{32} &= 2,3976 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{42} &= 2,4918 \cdot 10^{-3} & \delta_{52} &= 2,5153 \cdot 10^{-3} & \delta_{62} &= 2,5210 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{72} &= 2,5244 \cdot 10^{-3} & \delta_{82} &= 2,5267 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{13} &= 0,9039 \cdot 10^{-3} & \delta_{23} &= 2,3976 \cdot 10^{-3} & \delta_{33} &= 3,7132 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{43} &= 4,1517 \cdot 10^{-3} & \delta_{53} &= 4,2562 \cdot 10^{-3} & \delta_{63} &= 4,2762 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{73} &= 4,2842 \cdot 10^{-3} & \delta_{83} &= 4,2911 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{14} &= 0,9182 \cdot 10^{-3} & \delta_{24} &= 2,4918 \cdot 10^{-3} & \delta_{34} &= 4,1517 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{44} &= 5,5456 \cdot 10^{-3} & \delta_{54} &= 5,9944 \cdot 10^{-3} & \delta_{64} &= 6,0669 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{74} &= 6,0869 \cdot 10^{-3} & \delta_{84} &= 6,0994 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{15} &= 0,9222 \cdot 10^{-3} & \delta_{25} &= 2,5153 \cdot 10^{-3} & \delta_{35} &= 4,2562 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{45} &= 5,9944 \cdot 10^{-3} & \delta_{55} &= 7,7433 \cdot 10^{-3} & \delta_{65} &= 8,1670 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{75} &= 8,2418 \cdot 10^{-3} & \delta_{85} &= 8,2692 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{16} &= 0,9233 \cdot 10^{-3} & \delta_{26} &= 2,5210 \cdot 10^{-3} & \delta_{36} &= 4,2762 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{46} &= 6,0699 \cdot 10^{-3} & \delta_{56} &= 8,1670 \cdot 10^{-3} & \delta_{66} &= 9,9257 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{76} &= 10,3597 \cdot 10^{-3} & \delta_{86} &= 10,456710^{-3} \end{aligned}$$

7. $F = 1$ unit di tingkat 7 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{17} &= 0,9239 \cdot 10^{-3} & \delta_{27} &= 2,5244 \cdot 10^{-3} & \delta_{37} &= 4,2842 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{47} &= 6,0869 \cdot 10^{-3} & \delta_{57} &= 8,2418 \cdot 10^{-3} & \delta_{67} &= 10,3597 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{77} &= 12,1440 \cdot 10^{-3} & \delta_{87} &= 12,6853 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

8. $F = 1$ unit di tingkat 8 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{18} &= 0,9244 \cdot 10^{-3} & \delta_{28} &= 2,5267 \cdot 10^{-3} & \delta_{38} &= 4,2911 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{48} &= 6,0994 \cdot 10^{-3} & \delta_{58} &= 8,2692 \cdot 10^{-3} & \delta_{68} &= 10,4567 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{78} &= 12,6853 \cdot 10^{-3} & \delta_{88} &= 15,1680 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,5858 & 0,8439 & 0,9039 & 0,9182 & 0,9222 & 0,9233 & 0,9239 & 0,9244 \\ 0,8439 & 2,0059 & 2,3976 & 2,4918 & 2,5153 & 2,5210 & 2,5244 & 2,5267 \\ 0,9039 & 2,3976 & 3,7132 & 4,1517 & 4,2562 & 4,2762 & 4,2842 & 4,2911 \\ 0,9182 & 2,4918 & 4,1517 & 5,5456 & 5,9944 & 6,0669 & 6,0869 & 6,0994 \\ 0,9222 & 2,5153 & 4,2562 & 5,9944 & 7,7433 & 8,1670 & 8,2418 & 8,2692 \\ 0,9233 & 2,5210 & 4,2762 & 6,0669 & 8,1670 & 9,9257 & 10,3597 & 10,4567 \\ 0,9239 & 2,5244 & 4,2842 & 6,0869 & 8,2418 & 10,3597 & 12,1440 & 12,6853 \\ 0,9244 & 2,5267 & 4,2911 & 6,0994 & 8,2692 & 10,4567 & 12,6853 & 15,1680 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 4,5971 & -2,6484 & 0,6875 & -0,0949 & 0,0089 & -0,0020 & 0,0018 & -0,0003 \\ -2,6484 & 3,9198 & -2,5217 & 0,6281 & -0,0647 & 0,0070 & -0,0024 & 0,0017 \\ 0,6875 & -2,5218 & 3,7695 & -2,2184 & 0,4286 & -0,0457 & 0,0028 & -0,0007 \\ -0,0950 & 0,6286 & -2,2200 & 2,9246 & -1,5211 & 0,2986 & -0,0315 & 0,0029 \\ 0,0093 & -0,0672 & 0,4374 & -1,5317 & 2,2550 & -1,3568 & 0,2816 & -0,0267 \\ -0,0026 & 0,0111 & -0,0602 & 0,3175 & -1,3655 & 2,1909 & -1,3041 & 0,2124 \\ 0,0022 & -0,0048 & 0,0115 & -0,0429 & 0,2874 & -1,3051 & 1,7993 & -0,7471 \\ -0,0004 & 0,0021 & -0,0021 & 0,0047 & -0,0277 & 0,2125 & -0,7471 & 0,5577 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_8 = k_{88} = 557,7 \text{ KN/cm}$$

$$K_7 = k_{77} - K_8 = 1799,3 - 557,7 \Rightarrow K_7 = 1241,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_6 = k_{66} - K_7 = 2190,9 - 1241,6 \Rightarrow K_6 = 949,3 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_{55} - K_6 = 2255 - 949,3 \Rightarrow K_5 = 1305,7 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_{44} - K_5 = 2924,6 - 1305,7 \Rightarrow K_4 = 1618,9 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 3769,5 - 1618,9 \Rightarrow K_3 = 2150,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 3919,8 - 2150,6 \Rightarrow K_2 = 1769,2 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 4597,1 - 1769,2 \Rightarrow K_1 = 2827,9 \text{ KN/cm}$$

E. Portal 10 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{11} = 0,4511 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{21} = 0,6635 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{31} = 0,7172 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{41} = 0,7315 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{51} = 0,7354 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{61} = 0,7366 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{71} = 0,7370 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{81} = 0,7377 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{91} = 0,7383 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{101} = 0,7389 \cdot 10^{-3}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{12} = 0,6635 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 1,5937 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{32} = 1,9277 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{42} = 2,0145 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{52} = 2,0379 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{62} = 2,0436 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{72} = 2,0459 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{82} = 2,0482 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{92} = 2,0505 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{102} = 2,0527 \cdot 10^{-3}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{13} = 0,7172 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{23} = 1,9277 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{33} = 2,9978 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{43} = 3,3763 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{53} = 3,4740 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{63} = 3,4945 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{73} = 3,5014 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{83} = 3,5071 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{93} = 3,5117 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{103} = 3,5162 \cdot 10^{-3}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{14} = 0,7315 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{24} = 2,0145 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{34} = 3,3763 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{44} = 4,5172 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{54} = 4,9066 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{64} = 4,9785 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{74} = 4,9974 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{84} = 5,0077 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{94} = 5,0162 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{104} = 5,0248 \cdot 10^{-3}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{15} &= 0,7354 \cdot 10^{-3} & \delta_{25} &= 2,0379 \cdot 10^{-3} & \delta_{35} &= 3,4740 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{45} &= 4,9066 \cdot 10^{-3} & \delta_{55} &= 6,2736 \cdot 10^{-3} & \delta_{65} &= 6,6419 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{75} &= 6,7144 \cdot 10^{-3} & \delta_{85} &= 6,7378 \cdot 10^{-3} & \delta_{95} &= 6,7526 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{105} &= 6,7658 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{16} &= 0,7366 \cdot 10^{-3} & \delta_{26} &= 2,0436 \cdot 10^{-3} & \delta_{36} &= 3,4945 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{46} &= 4,9785 \cdot 10^{-3} & \delta_{56} &= 6,6419 \cdot 10^{-3} & \delta_{66} &= 8,0157 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{76} &= 8,3908 \cdot 10^{-3} & \delta_{86} &= 8,4708 \cdot 10^{-3} & \delta_{96} &= 8,5005 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{106} &= 8,5210 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

7. $F = 1$ unit di tingkat 7 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{17} &= 0,7372 \cdot 10^{-3} & \delta_{27} &= 2,0459 \cdot 10^{-3} & \delta_{37} &= 3,5014 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{47} &= 4,9974 \cdot 10^{-3} & \delta_{57} &= 6,7144 \cdot 10^{-3} & \delta_{67} &= 8,3908 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{77} &= 9,7744 \cdot 10^{-3} & \delta_{87} &= 10,1632 \cdot 10^{-3} & \delta_{97} &= 10,2512 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{107} &= 10,2831 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

8. $F = 1$ unit di tingkat 8 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{18} &= 0,7377 \cdot 10^{-3} & \delta_{28} &= 2,0482 \cdot 10^{-3} & \delta_{38} &= 3,5071 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{48} &= 5,0077 \cdot 10^{-3} & \delta_{58} &= 6,7378 \cdot 10^{-3} & \delta_{68} &= 8,4708 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{78} &= 10,1632 \cdot 10^{-3} & \delta_{88} &= 11,5953 \cdot 10^{-3} & \delta_{98} &= 11,9939 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{108} &= 12,0572 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

9. $F = 1$ unit di tingkat 9 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{19} &= 0,7383 \cdot 10^{-3} & \delta_{29} &= 2,0505 \cdot 10^{-3} & \delta_{39} &= 3,5117 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{49} &= 5,0162 \cdot 10^{-3} & \delta_{59} &= 6,7526 \cdot 10^{-3} & \delta_{69} &= 8,5005 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{79} &= 10,2512 \cdot 10^{-3} & \delta_{89} &= 11,9939 \cdot 10^{-3} & \delta_{99} &= 14,5571 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{109} &= 14,9870 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

10. $F = 1$ unit di tingkat 10 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{110} &= 0,7389 \cdot 10^{-3} & \delta_{210} &= 2,0527 \cdot 10^{-3} & \delta_{310} &= 3,5162 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{410} &= 5,0248 \cdot 10^{-3} & \delta_{510} &= 6,7658 \cdot 10^{-3} & \delta_{610} &= 8,5210 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{710} &= 10,2831 \cdot 10^{-3} & \delta_{810} &= 12,0572 \cdot 10^{-3} & \delta_{910} &= 14,9870 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{1010} &= 18,3080 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,4511 & 0,6635 & 0,7172 & 0,7315 & 0,7354 & 0,7366 & 0,7372 & 0,7377 & 0,7383 & 0,7389 \\ 0,6635 & 1,5937 & 1,9277 & 2,0145 & 2,0379 & 2,0436 & 2,0459 & 2,0482 & 2,0505 & 2,0527 \\ 0,7172 & 1,9277 & 2,9978 & 3,3763 & 3,4740 & 3,4945 & 3,5014 & 3,5071 & 3,5117 & 3,5162 \\ 0,7315 & 2,0145 & 3,3763 & 4,5172 & 4,9066 & 4,9785 & 4,9974 & 5,0077 & 5,0162 & 5,0248 \\ 0,7354 & 2,0379 & 3,4740 & 4,9066 & 6,2736 & 6,6419 & 6,7144 & 6,7378 & 6,7526 & 6,7658 \\ 0,7366 & 2,0436 & 3,4945 & 4,9785 & 6,6419 & 9,0157 & 8,3908 & 8,4708 & 8,5005 & 8,5210 \\ 0,7370 & 2,0459 & 3,5014 & 4,9974 & 6,7144 & 8,3908 & 9,7744 & 10,1632 & 10,2512 & 10,2831 \\ 0,7377 & 2,0482 & 3,5071 & 5,0077 & 6,7378 & 8,4708 & 10,1632 & 11,5953 & 11,9939 & 12,0572 \\ 0,7383 & 2,0505 & 3,5117 & 5,0162 & 6,7526 & 8,5005 & 10,2512 & 11,9939 & 14,5571 & 14,9870 \\ 0,7389 & 2,0527 & 3,5162 & 5,0248 & 6,7658 & 8,5210 & 10,2831 & 12,0572 & 14,9870 & 18,3080 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 6,1105 & -3,5475 & 0,9673 & -0,1490 & 0,0197 & -0,0025 & -0,0008 & 0,0004 & 0,0001 & 0,0002 \\ -3,5475 & 5,1920 & -3,3819 & 0,8876 & -0,1077 & 0,0162 & -0,0033 & 0,0023 & -0,0004 & -0,0001 \\ 0,9673 & -3,3819 & 4,9972 & -3,0018 & 0,6525 & -0,0959 & 0,0173 & -0,0046 & 0,0002 & 0,0010 \\ -0,1491 & 0,8876 & -3,0018 & 4,0024 & -2,1983 & 0,4976 & -0,0729 & 0,0107 & -0,0001 & -0,0007 \\ 0,0203 & -0,1081 & 0,6526 & -2,1983 & 3,2070 & -1,9759 & 0,4613 & -0,0585 & 0,0032 & 0,0006 \\ -0,0048 & 0,0176 & -0,0963 & 0,4976 & -1,9759 & 3,1157 & -1,9436 & 0,4114 & -0,0252 & 0,0015 \\ 0,0028 & -0,0055 & 0,0179 & -0,0729 & 0,4614 & -1,9436 & 2,9856 & -1,6142 & 0,1812 & -0,0110 \\ -0,0016 & 0,0035 & -0,0049 & 0,0107 & -0,0585 & 0,4114 & -1,6142 & 1,8966 & -0,7134 & 0,0694 \\ 0,0003 & -0,0005 & 0,0002 & -0,0001 & 0,0032 & -0,0252 & 0,1812 & -0,7134 & 0,9690 & -0,4145 \\ 0,0002 & -0,0001 & 0,0010 & -0,0007 & 0,0006 & 0,0015 & -0,0110 & 0,0694 & -0,4145 & 0,3535 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_{10} = k_{10} - K_{10} = 353,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_9 = k_9 - K_{10} = 969 - 353,5 \Rightarrow K_9 = 615,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_8 = k_8 - K_9 = 1896,6 - 615,5 \Rightarrow K_8 = 1281,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_7 = k_7 - K_8 = 2985,6 - 1281,1 \Rightarrow K_7 = 1704,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_6 = k_6 - K_7 = 3115,7 - 1704,5 \Rightarrow K_6 = 1411,2 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_5 - K_6 = 3207 - 1411,2 \Rightarrow K_5 = 1795,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_4 - K_5 = 4002,4 - 1795,8 \Rightarrow K_4 = 2206,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_3 - K_4 = 4997,2 - 2206,6 \Rightarrow K_3 = 2790,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_2 - K_3 = 5192 - 2790,6 \Rightarrow K_2 = 2401,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_1 - K_2 = 6110,5 - 2401,4 \Rightarrow K_1 = 3709,1 \text{ KN/cm}$$

3.7.2 Kekakuan tingkat struktur portal rangka diperkaku konsentrik

A. Portal 2 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{11} = 0,4310 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{21} = 0,4310 \cdot 10^{-3}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{12} = 0,4310 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 1,1506 \cdot 10^{-3}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,4310 & 0,4310 \\ 0,4310 & 1,1506 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 3,7098 & -1,3897 \\ -1,3897 & 1,3897 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_2 = k_{22} = 1389,7 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 3709,8 - 1389,7 \Rightarrow K_1 = 2320,1 \text{ KN/cm}$$

B. Portal 4 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{11} = 0,2416 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{21} = 0,2487 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{31} = 0,2494 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{41} = 0,2510 \cdot 10^{-3}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{12} = 0,2487 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 0,5727 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{32} = 0,6504 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{42} = 0,7235 \cdot 10^{-3}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{13} = 0,2494 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{23} = 0,26504 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{33} = 1,1180 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{43} = 1,3396 \cdot 10^{-3}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{14} = 0,2510 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{24} = 0,7235 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{34} = 1,3396 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{44} = 2,0282 \cdot 10^{-3}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,2416 & 0,2487 & 0,2494 & 0,2510 \\ 0,2487 & 0,5727 & 0,6504 & 0,7235 \\ 0,2494 & 0,6504 & 1,1180 & 1,3396 \\ 0,2510 & 0,7235 & 1,3396 & 2,0282 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 7,6971 & -4,0057 & 0,2038 & 0,3418 \\ -4,0057 & 7,4333 & -4,0631 & 0,5278 \\ 0,2038 & -4,0631 & 7,2209 & -3,3451 \\ 0,3418 & 0,5278 & -3,3451 & 2,4719 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_4 = k_{44} = 2471,9 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 7220,9 - 2471,9 \Rightarrow K_3 = 4749 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 7433,3 - 4749 \Rightarrow K_2 = 2684,3 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 7697,1 - 2684,3 \Rightarrow K_1 = 5012,8 \text{ KN/cm}$$

C. Portal 6 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{11} = 0,1790 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{21} = 0,1878 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{31} = 0,1876 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{41} = 0,1890 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{51} = 0,1901 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{61} = 0,1913 \cdot 10^{-3}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{12} = 0,1878 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 0,4149 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{32} = 0,4558 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{42} = 0,4905 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{52} = 0,5260 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{62} = 0,5615 \cdot 10^{-3}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{13} = 0,1876 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{23} = 0,4558 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{33} = 0,7503 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{43} = 0,8594 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{53} = 0,9633 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{63} = 1,0678 \cdot 10^{-3}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{14} = 0,1890 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{24} = 0,4905 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{34} = 0,8594 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{44} = 1,2613 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{54} = 1,4703 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{64} = 1,6770 \cdot 10^{-3}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{15} = 0,1901 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{25} = 0,5260 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{35} = 0,9633 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{45} = 1,4703 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{55} = 2,1116 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{65} = 2,4582 \cdot 10^{-3}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{16} = 0,1913 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{26} = 0,5615 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{36} = 1,0678 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{46} = 1,6770 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{56} = 2,4582 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{66} = 3,5008 \cdot 10^{-3}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,1790 & 0,1878 & 0,1876 & 0,1890 & 0,1901 & 0,1913 \\ 0,1878 & 0,4149 & 0,4558 & 0,4905 & 0,5260 & 0,5615 \\ 0,1876 & 0,4558 & 0,7503 & 0,8594 & 0,9633 & 1,0678 \\ 0,1890 & 0,4905 & 0,8594 & 1,2613 & 1,4703 & 1,6770 \\ 0,1901 & 0,5260 & 0,9633 & 1,4703 & 2,1116 & 1,049 \\ 0,1913 & 0,5615 & 1,0678 & 1,6770 & 2,4582 & 3,5008 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 10,8571 & -5,6896 & 0,3862 & 0,0946 & 0,0877 & 0,0946 \\ -5,6896 & 10,4812 & -5,6323 & 0,3641 & 0,0847 & 0,1138 \\ 0,3862 & -5,6323 & 10,1969 & -5,2239 & 0,1880 & 0,1425 \\ 0,0946 & 0,3641 & -5,2239 & 8,1513 & -3,4348 & 0,0369 \\ 0,0877 & 0,0847 & 0,1880 & -3,4348 & 5,0566 & -1,9810 \\ 0,0946 & 0,1138 & 0,1425 & 0,0369 & -1,9810 & 1,5921 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_6 = k_{66} = 1592,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_{55} - K_6 = 5056,6 - 1592,1 \Rightarrow K_5 = 3464,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_{44} - K_5 = 8151,3 - 3464,5 \Rightarrow K_4 = 4686,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 10196,9 - 4686,8 \Rightarrow K_3 = 5510,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 10481,2 - 5510,1 \Rightarrow K_2 = 4971,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 10857,1 - 4971,1 \Rightarrow K_1 = 5886 \text{ KN/cm}$$

D. Portal 8 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{11} = 0,1454 \cdot 10^{-3} & \delta_{21} = 0,1581 \cdot 10^{-3} & \delta_{31} = 0,1577 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{41} = 0,1590 \cdot 10^{-3} & \delta_{51} = 0,1601 \cdot 10^{-3} & \delta_{61} = 0,1613 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{71} = 0,1624 \cdot 10^{-3} & \delta_{81} = 0,1635 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{12} = 0,1581 \cdot 10^{-3} & \delta_{22} = 0,3448 \cdot 10^{-3} & \delta_{32} = 0,3749 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{42} = 0,3953 \cdot 10^{-3} & \delta_{52} = 0,4168 \cdot 10^{-3} & \delta_{62} = 0,4382 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{72} = 0,4596 \cdot 10^{-3} & \delta_{82} = 0,4810 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{13} = 0,1577 \cdot 10^{-3} & \delta_{23} = 0,3749 \cdot 10^{-3} & \delta_{33} = 0,6001 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{43} = 0,6704 \cdot 10^{-3} & \delta_{53} = 0,7320 \cdot 10^{-3} & \delta_{63} = 0,7948 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{73} = 0,8571 \cdot 10^{-3} & \delta_{83} = 0,9193 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{14} = 0,1590 \cdot 10^{-3} & \delta_{24} = 0,3953 \cdot 10^{-3} & \delta_{34} = 0,6704 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{44} = 0,9627 \cdot 10^{-3} & \delta_{54} = 1,0900 \cdot 10^{-3} & \delta_{64} = 1,2122 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{74} = 1,3350 \cdot 10^{-3} & \delta_{84} = 1,4578 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{15} = 0,1601 \cdot 10^{-3} & \delta_{25} = 0,4168 \cdot 10^{-3} & \delta_{35} = 0,7320 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{45} = 1,0900 \cdot 10^{-3} & \delta_{55} = 1,5149 \cdot 10^{-3} & \delta_{65} = 1,7233 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{75} = 1,9277 \cdot 10^{-3} & \delta_{85} = 2,1327 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{16} &= 0,1613 \cdot 10^{-3} & \delta_{26} &= 0,4382 \cdot 10^{-3} & \delta_{36} &= 0,7948 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{46} &= 1,2122 \cdot 10^{-3} & \delta_{56} &= 1,7233 \cdot 10^{-3} & \delta_{66} &= 2,3028 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{76} &= 2,6649 \cdot 10^{-3} & \delta_{86} &= 3,0234 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

7. $F = 1$ unit di tingkat 7 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{17} &= 0,1624 \cdot 10^{-3} & \delta_{27} &= 0,4596 \cdot 10^{-3} & \delta_{37} &= 0,8571 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{47} &= 1,3350 \cdot 10^{-3} & \delta_{57} &= 1,9277 \cdot 10^{-3} & \delta_{67} &= 2,6649 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{77} &= 3,4711 \cdot 10^{-3} & \delta_{87} &= 4,0587 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

8. $F = 1$ unit di tingkat 8 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{18} &= 0,1635 \cdot 10^{-3} & \delta_{28} &= 0,4810 \cdot 10^{-3} & \delta_{38} &= 0,9193 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{48} &= 1,4578 \cdot 10^{-3} & \delta_{58} &= 2,1327 \cdot 10^{-3} & \delta_{68} &= 3,0234 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{78} &= 4,0587 \cdot 10^{-3} & \delta_{88} &= 5,1658 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,1454 & 0,1581 & 0,1577 & 0,1590 & 0,1601 & 0,1613 & 0,1624 & 0,1635 \\ 0,1581 & 0,3448 & 0,3749 & 0,3953 & 0,4168 & 0,4382 & 0,4596 & 0,4810 \\ 0,1577 & 0,3749 & 0,6001 & 0,6704 & 0,7320 & 0,7948 & 0,8571 & 0,9193 \\ 0,1590 & 0,3953 & 0,6704 & 0,9627 & 1,0900 & 1,2122 & 1,3350 & 1,4578 \\ 0,1601 & 0,4168 & 0,7320 & 1,0900 & 1,5149 & 1,7233 & 1,9277 & 0,857 \\ 0,1613 & 0,4382 & 0,7948 & 1,2122 & 1,7233 & 2,3028 & 2,6649 & 3,0234 \\ 0,1624 & 0,4596 & 0,8571 & 1,3350 & 1,9277 & 2,6649 & 3,4711 & 4,0587 \\ 0,1635 & 0,4810 & 0,9193 & 1,4578 & 2,1327 & 3,0234 & 4,0587 & 5,1658 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 13,9625 & -7,4148 & 0,6988 & 0,0069 & 0,0885 & 0,0315 & 0,0171 & 0,0538 \\ -7,4148 & 13,2659 & -7,2240 & 0,5854 & 0,0258 & 0,0645 & 0,0205 & 0,0553 \\ 0,6988 & -7,2240 & 12,7930 & -6,5731 & 0,3216 & 0,0042 & 0,0204 & 0,0775 \\ 0,0069 & 0,5854 & -6,5731 & 10,6187 & -4,8326 & 0,1508 & -0,0035 & 0,0280 \\ 0,0885 & 0,0258 & 0,3216 & -4,8326 & 8,3808 & -4,4952 & 0,2003 & 0,3148 \\ 0,0315 & 0,0645 & 0,0042 & 0,1508 & -4,4952 & 8,2163 & -4,5377 & 0,5619 \\ 0,0171 & 0,0205 & 0,0204 & -0,0035 & 0,2003 & -4,5377 & 8,0027 & -3,7196 \\ 0,0538 & 0,0553 & 0,0775 & 0,0280 & 0,3148 & 0,5619 & -3,7196 & 2,6286 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_8 = k_{88} = 2628,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_7 = k_{77} - K_8 = 8002,7 - 2628,6 \Rightarrow K_7 = 5374,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_6 = k_{66} - K_7 = 8216,3 - 5374,1 \Rightarrow K_6 = 2842,2 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_{55} - K_6 = 8380,8 - 2842,2 \Rightarrow K_5 = 5538,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_{44} - K_5 = 10618,7 - 5538,6 \Rightarrow K_4 = 5080,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 12793 - 5080,1 \Rightarrow K_3 = 7712,9 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 13265,9 - 7712,9 \Rightarrow K_2 = 5553 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 13962,5 - 5553 \Rightarrow K_1 = 8409,5 \text{ KN/cm}$$

E. Portal 10 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= 0,1301 \cdot 10^{-3} & \delta_{21} &= 0,1445 \cdot 10^{-3} & \delta_{31} &= 0,1440 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{41} &= 0,1453 \cdot 10^{-3} & \delta_{51} &= 0,1464 \cdot 10^{-3} & \delta_{61} &= 0,1475 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{71} &= 0,1486 \cdot 10^{-3} & \delta_{81} &= 0,1497 \cdot 10^{-3} & \delta_{91} &= 0,1507 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{101} &= 0,1518 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{12} &= 0,1445 \cdot 10^{-3} & \delta_{22} &= 0,3149 \cdot 10^{-3} & \delta_{32} &= 0,3420 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{42} &= 0,3576 \cdot 10^{-3} & \delta_{52} &= 0,3744 \cdot 10^{-3} & \delta_{62} &= 0,3911 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{72} &= 0,4079 \cdot 10^{-3} & \delta_{82} &= 0,4247 \cdot 10^{-3} & \delta_{92} &= 0,4414 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{102} &= 0,4581 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{13} &= 0,1440 \cdot 10^{-3} & \delta_{23} &= 0,3420 \cdot 10^{-3} & \delta_{33} &= 0,5414 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{43} &= 0,5996 \cdot 10^{-3} & \delta_{53} &= 0,6469 \cdot 10^{-3} & \delta_{63} &= 0,6955 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{73} &= 0,7440 \cdot 10^{-3} & \delta_{83} &= 0,7920 \cdot 10^{-3} & \delta_{93} &= 0,8405 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{103} &= 0,8885 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{14} &= 0,1453 \cdot 10^{-3} & \delta_{24} &= 0,3576 \cdot 10^{-3} & \delta_{34} &= 0,5996 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{44} &= 0,8519 \cdot 10^{-3} & \delta_{54} &= 0,9530 \cdot 10^{-3} & \delta_{64} &= 1,0472 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{74} &= 1,1420 \cdot 10^{-3} & \delta_{84} &= 1,2368 \cdot 10^{-3} & \delta_{94} &= 1,3316 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{104} &= 1,4264 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{15} &= 0,1464 \cdot 10^{-3} & \delta_{25} &= 0,3744 \cdot 10^{-3} & \delta_{35} &= 0,6469 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{45} &= 0,9530 \cdot 10^{-3} & \delta_{55} &= 1,3013 \cdot 10^{-3} & \delta_{65} &= 1,4640 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{75} &= 1,6216 \cdot 10^{-3} & \delta_{85} &= 1,7798 \cdot 10^{-3} & \delta_{95} &= 1,9380 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{105} &= 2,0961 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{16} &= 0,1475 \cdot 10^{-3} & \delta_{26} &= 0,3911 \cdot 10^{-3} & \delta_{36} &= 0,6955 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{46} &= 1,0472 \cdot 10^{-3} & \delta_{56} &= 1,4640 \cdot 10^{-3} & \delta_{66} &= 1,9180 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{76} &= 2,1846 \cdot 10^{-3} & \delta_{86} &= 2,4462 \cdot 10^{-3} & \delta_{96} &= 2,7088 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{106} &= 2,9709 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

7. $F = 1$ unit di tingkat 7 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{17} &= 0,1486 \cdot 10^{-3} & \delta_{27} &= 0,4079 \cdot 10^{-3} & \delta_{37} &= 0,7440 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{47} &= 1,1420 \cdot 10^{-3} & \delta_{57} &= 1,6216 \cdot 10^{-3} & \delta_{67} &= 2,1846 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{77} &= 2,7836 \cdot 10^{-3} & \delta_{87} &= 3,1953 \cdot 10^{-3} & \delta_{97} &= 3,6030 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{107} &= 4,0107 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

8. $F = 1$ unit di tingkat 8 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{18} &= 0,1497 \cdot 10^{-3} & \delta_{28} &= 0,4247 \cdot 10^{-3} & \delta_{38} &= 0,7920 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{48} &= 1,2368 \cdot 10^{-3} & \delta_{58} &= 1,7798 \cdot 10^{-3} & \delta_{68} &= 2,4462 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{78} &= 3,1953 \cdot 10^{-3} & \delta_{88} &= 3,9839 \cdot 10^{-3} & \delta_{98} &= 4,5800 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{108} &= 5,1738 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

9. $F = 1$ unit di tingkat 9 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{19} &= 0,1507 \cdot 10^{-3} & \delta_{29} &= 0,4414 \cdot 10^{-3} & \delta_{39} &= 0,8405 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{49} &= 1,3316 \cdot 10^{-3} & \delta_{59} &= 1,9380 \cdot 10^{-3} & \delta_{69} &= 2,7088 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{79} &= 3,6030 \cdot 10^{-3} & \delta_{89} &= 4,5800 \cdot 10^{-3} & \delta_{99} &= 5,7602 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{109} &= 6,5853 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

10. $F = 1$ unit di tingkat 10 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{110} &= 0,1518 \cdot 10^{-3} & \delta_{210} &= 0,4581 \cdot 10^{-3} & \delta_{310} &= 0,8885 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{410} &= 1,4264 \cdot 10^{-3} & \delta_{510} &= 2,0961 \cdot 10^{-3} & \delta_{610} &= 2,9709 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{710} &= 4,0107 \cdot 10^{-3} & \delta_{810} &= 5,1738 \cdot 10^{-3} & \delta_{910} &= 6,5853 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{1010} &= 8,2578 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$: [\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,1301 & 0,1445 & 0,1440 & 0,1453 & 0,1464 & 0,1475 & 0,1486 & 0,1497 & 0,1507 & 0,1518 \\ 0,1445 & 0,3149 & 0,3420 & 0,3576 & 0,3744 & 0,3911 & 0,4079 & 0,4247 & 0,4414 & 0,4581 \\ 0,1440 & 0,3420 & 0,5414 & 0,5996 & 0,6469 & 0,6955 & 0,7440 & 0,7920 & 0,8405 & 0,8885 \\ 0,1453 & 0,3576 & 0,5996 & 0,8519 & 0,9530 & 1,0472 & 1,1420 & 1,2368 & 1,3316 & 1,4264 \\ 0,1464 & 0,3744 & 0,6469 & 0,9530 & 1,3013 & 1,4640 & 1,6216 & 1,7798 & 1,9380 & 2,0961 \\ 0,1475 & 0,3911 & 0,6955 & 1,0472 & 1,4640 & 1,9180 & 2,1846 & 2,4462 & 2,7088 & 2,9709 \\ 0,1486 & 0,4079 & 0,7440 & 1,1420 & 1,6216 & 2,1846 & 2,7836 & 3,1953 & 3,6030 & 4,0107 \\ 0,1497 & 0,4247 & 0,7920 & 1,2368 & 1,7798 & 2,4462 & 3,1953 & 3,9839 & 4,5800 & 5,1738 \\ 0,1507 & 0,4414 & 0,8405 & 1,3316 & 1,9380 & 2,7088 & 3,6030 & 4,5800 & 5,7602 & 6,5853 \\ 0,1518 & 0,4581 & 0,8885 & 1,4264 & 2,0961 & 2,9709 & 4,0107 & 5,1738 & 6,5853 & 8,2578 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 15,9610 & -8,5489 & 0,9716 & -0,0673 & 0,0797 & 0,0329 & 0,0196 & 0,0324 & 0,0139 & 0,0150 \\ -8,5489 & 15,0109 & -8,2889 & 0,8082 & -0,0209 & 0,0571 & 0,0426 & 0,0153 & 0,0202 & 0,0151 \\ 0,9716 & -8,2889 & 14,4694 & -7,5284 & 0,4595 & 0,0040 & -0,0056 & 0,0730 & -0,0017 & 0,0258 \\ -0,0673 & 0,8082 & -7,5284 & 12,2889 & -5,8128 & 0,2294 & 0,0118 & 0,0118 & 0,0183 & 0,0089 \\ 0,0797 & -0,0209 & 0,4595 & -5,8128 & 10,2263 & -5,4353 & 0,2698 & 0,1133 & 0,0541 & 0,0689 \\ 0,0329 & 0,0571 & 0,0040 & 0,2294 & -5,4353 & 10,0557 & -5,4584 & 0,3559 & 0,0583 & 0,0997 \\ 0,0196 & 0,0426 & -0,0056 & 0,0118 & 0,2698 & -5,4584 & 9,9130 & -5,0859 & 0,1475 & 0,1454 \\ 0,0324 & 0,0153 & 0,0730 & 0,0118 & 0,1133 & 0,3559 & -5,0859 & 7,4046 & -2,8891 & -0,0333 \\ 0,0139 & 0,0202 & -0,0017 & 0,0183 & 0,0541 & 0,0583 & 0,1475 & -2,8891 & 4,3502 & -1,7696 \\ 0,0150 & 0,0151 & 0,0258 & 0,0089 & 0,0689 & 0,0997 & 0,1454 & -0,0333 & -1,7696 & 1,4237 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_{10} = k_{10} - K_{10} = 1423,7 \text{ KN/cm}$$

$$K_9 = k_{99} - K_{10} = 4350,2 - 1423,7 \Rightarrow K_9 = 2926,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_8 = k_{88} - K_9 = 7404,6 - 2926,5 \Rightarrow K_8 = 4478,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_7 = k_{77} - K_8 = 9913 - 4478,1 \Rightarrow K_7 = 5434,9 \text{ KN/cm}$$

$$K_6 = k_{66} - K_7 = 10055,7 - 5434,9 \Rightarrow K_6 = 4620,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_{55} - K_6 = 10226,3 - 4620,8 \Rightarrow K_5 = 5605,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_{44} - K_5 = 12288,9 - 5605,5 \Rightarrow K_4 = 6683,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 14469,4 - 6683,4 \Rightarrow K_3 = 7786 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 15010,9 - 7786 \Rightarrow K_2 = 7224,9 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 15961 - 7224,9 \Rightarrow K_1 = 8736,1 \text{ KN/cm}$$

3.7.3 Kekakuan tingkat struktur portal rangka diperkaku eksentrik

A. Portal 2 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{11} = 1,0524 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{21} = 1,0815 \cdot 10^{-3}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{12} = 1,0815 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 2,6928 \cdot 10^{-3}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 1,0524 & 1,0815 \\ 1,0815 & 2,6928 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 1,6180 & -0,6498 \\ -0,6498 & 0,6324 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_2 = k_{22} = 632,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 1618 - 632,4 \Rightarrow K_1 = 985,6 \text{ KN/cm}$$

B. Portal 4 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{11} = 0,4473 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{21} = 0,4746 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{31} = 0,4634 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{41} = 0,4526 \cdot 10^{-3}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{12} = 0,4746 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{22} = 1,0564 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{32} = 1,1494 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{42} = 1,2042 \cdot 10^{-3}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{13} = 0,4634 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{23} = 1,1494 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{33} = 1,8797 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{43} = 2,1401 \cdot 10^{-3}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{14} = 0,4526 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{24} = 1,2042 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{34} = 2,1401 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{44} = 3,4614 \cdot 10^{-3}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,4473 & 0,4746 & 0,4634 & 0,4526 \\ 0,4746 & 1,0564 & 1,1494 & 1,2042 \\ 0,4634 & 1,1494 & 1,8797 & 2,1401 \\ 0,4526 & 1,2042 & 2,1401 & 3,4614 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 4,3616 & -2,3352 & 0,2602 & 0,0812 \\ -2,3352 & 4,1663 & -2,2607 & 0,2537 \\ 0,2602 & -2,2607 & 3,3557 & -1,3222 \\ 0,0812 & 0,2537 & -1,3222 & 1,0075 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_4 = k_{44} = 1007,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 3355,7 - 1007,5 \Rightarrow K_3 = 2348,2 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 4166,3 - 2348,2 \Rightarrow K_2 = 1818,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 4361,6 - 1818,1 \Rightarrow K_1 = 2543,5 \text{ KN/cm}$$

C. Portal 6 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= 0,2845 \cdot 10^{-3} & \delta_{21} &= 0,3138 \cdot 10^{-3} & \delta_{31} &= 0,3092 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{41} &= 0,3053 \cdot 10^{-3} & \delta_{51} &= 0,3014 \cdot 10^{-3} & \delta_{61} &= 0,2974 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{12} &= 0,3138 \cdot 10^{-3} & \delta_{22} &= 0,6886 \cdot 10^{-3} & \delta_{32} &= 0,7469 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{42} &= 0,7726 \cdot 10^{-3} & \delta_{52} &= 0,7988 \cdot 10^{-3} & \delta_{62} &= 0,8251 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{13} &= 0,3092 \cdot 10^{-3} & \delta_{23} &= 0,7469 \cdot 10^{-3} & \delta_{33} &= 1,1877 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{43} &= 1,3127 \cdot 10^{-3} & \delta_{53} &= 1,4058 \cdot 10^{-3} & \delta_{63} &= 1,4989 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{14} &= 0,3053 \cdot 10^{-3} & \delta_{24} &= 0,7726 \cdot 10^{-3} & \delta_{34} &= 1,3127 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{44} &= 1,8780 \cdot 10^{-3} & \delta_{54} &= 2,0887 \cdot 10^{-3} & \delta_{64} &= 2,2834 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{15} &= 0,3014 \cdot 10^{-3} & \delta_{25} &= 0,7988 \cdot 10^{-3} & \delta_{35} &= 1,4058 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{45} &= 2,0887 \cdot 10^{-3} & \delta_{55} &= 2,9926 \cdot 10^{-3} & \delta_{65} &= 3,2998 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{16} &= 0,2974 \cdot 10^{-3} & \delta_{26} &= 0,8251 \cdot 10^{-3} & \delta_{36} &= 1,4989 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{46} &= 2,2834 \cdot 10^{-3} & \delta_{56} &= 3,2998 \cdot 10^{-3} & \delta_{66} &= 5,2400 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,2845 & 0,3138 & 0,3092 & 0,3053 & 0,3014 & 0,2974 \\ 0,3138 & 0,6886 & 0,7469 & 0,7726 & 0,7988 & 0,8251 \\ 0,3092 & 0,7469 & 1,1877 & 1,3127 & 1,4058 & 1,4989 \\ 0,3053 & 0,7726 & 1,3127 & 1,8780 & 2,0887 & 2,2834 \\ 0,3014 & 0,7988 & 1,4058 & 2,0887 & 2,9926 & 3,2998 \\ 0,2974 & 0,8251 & 1,4989 & 2,2834 & 3,2998 & 5,2400 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 7,2133 & -3,8893 & 0,4442 & 0,0122 & 0,0543 & 0,0365 \\ -3,8893 & 6,8229 & -3,8233 & 0,4045 & 0,0454 & 0,0352 \\ 0,4442 & -3,8233 & 6,5188 & -3,2845 & 0,1566 & 0,0447 \\ 0,0122 & 0,4045 & -3,2845 & 4,7600 & -1,8532 & -0,0321 \\ 0,0543 & 0,0454 & 0,1566 & -1,8532 & 2,3122 & -0,7036 \\ 0,0365 & 0,0352 & 0,0447 & -0,0321 & -0,7036 & 0,6275 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_6 = k_{66} = 627,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_{55} - K_6 = 2312,2 - 627,5 \Rightarrow K_5 = 1684,7 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_{44} - K_5 = 4760 - 1684,7 \Rightarrow K_4 = 3075,3 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 6518,8 - 3075,3 \Rightarrow K_3 = 3443,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 6822,9 - 3443,5 \Rightarrow K_2 = 3379,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 7213,3 - 3379,4 \Rightarrow K_1 = 3833,9 \text{ KN/cm}$$

D. Portal 8 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{11} = 0,2078 \cdot 10^{-3} & \delta_{21} = 0,2370 \cdot 10^{-3} & \delta_{31} = 0,2347 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{41} = 0,2330 \cdot 10^{-3} & \delta_{51} = 0,2313 \cdot 10^{-3} & \delta_{61} = 0,2295 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{71} = 0,2278 \cdot 10^{-3} & \delta_{81} = 0,2261 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{12} = 0,2370 \cdot 10^{-3} & \delta_{22} = 0,5196 \cdot 10^{-3} & \delta_{32} = 0,5653 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{42} = 0,5813 \cdot 10^{-3} & \delta_{52} = 0,5973 \cdot 10^{-3} & \delta_{62} = 0,6133 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{72} = 0,6292 \cdot 10^{-3} & \delta_{82} = 0,6452 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{13} = 0,2347 \cdot 10^{-3} & \delta_{23} = 0,5653 \cdot 10^{-3} & \delta_{33} = 0,8868 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{43} = 0,9718 \cdot 10^{-3} & \delta_{53} = 1,0267 \cdot 10^{-3} & \delta_{63} = 1,0820 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{73} = 1,1374 \cdot 10^{-3} & \delta_{83} = 1,1928 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{14} = 0,2330 \cdot 10^{-3} & \delta_{24} = 0,5813 \cdot 10^{-3} & \delta_{34} = 0,9718 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{44} = 1,3710 \cdot 10^{-3} & \delta_{54} = 1,5023 \cdot 10^{-3} & \delta_{64} = 1,6171 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{74} = 1,7318 \cdot 10^{-3} & \delta_{84} = 1,8466 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{array}{lll} \delta_{15} = 0,2313 \cdot 10^{-3} & \delta_{25} = 0,5973 \cdot 10^{-3} & \delta_{35} = 1,0267 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{45} = 1,5023 \cdot 10^{-3} & \delta_{55} = 2,0664 \cdot 10^{-3} & \delta_{65} = 2,2692 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{75} = 2,4559 \cdot 10^{-3} & \delta_{85} = 2,6374 \cdot 10^{-3} & \end{array}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{16} &= 0,2295 \cdot 10^{-3} & \delta_{26} &= 0,6133 \cdot 10^{-3} & \delta_{36} &= 1,0820 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{46} &= 1,6171 \cdot 10^{-3} & \delta_{56} &= 2,2692 \cdot 10^{-3} & \delta_{66} &= 2,9943 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{76} &= 3,3518 \cdot 10^{-3} & \delta_{86} &= 3,6915 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

7. $F = 1$ unit di tingkat 7 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{17} &= 0,2278 \cdot 10^{-3} & \delta_{27} &= 0,6292 \cdot 10^{-3} & \delta_{37} &= 1,1374 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{47} &= 1,7318 \cdot 10^{-3} & \delta_{57} &= 2,4559 \cdot 10^{-3} & \delta_{67} &= 3,3518 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{77} &= 4,3196 \cdot 10^{-3} & \delta_{87} &= 4,9420 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

8. $F = 1$ unit di tingkat 8 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{18} &= 0,2261 \cdot 10^{-3} & \delta_{28} &= 0,6452 \cdot 10^{-3} & \delta_{38} &= 1,1928 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{48} &= 1,8466 \cdot 10^{-3} & \delta_{58} &= 2,6374 \cdot 10^{-3} & \delta_{68} &= 3,6915 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{78} &= 4,9420 \cdot 10^{-3} & \delta_{88} &= 6,8246 \cdot 10^{-3} & & \end{aligned}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,2078 & 0,2370 & 0,2347 & 0,2330 & 0,2313 & 0,2295 & 0,2278 & 0,2261 \\ 0,2370 & 0,5196 & 0,5653 & 0,5813 & 0,5973 & 0,6133 & 0,6292 & 0,6452 \\ 0,2347 & 0,5653 & 0,8868 & 0,9718 & 1,0267 & 1,0820 & 1,1374 & 1,1928 \\ 0,2330 & 0,5813 & 0,9718 & 1,3710 & 1,5023 & 1,6171 & 1,7318 & 1,8466 \\ 0,2313 & 0,5973 & 1,0267 & 1,5023 & 2,0664 & 2,2692 & 2,4559 & 2,6374 \\ 0,2295 & 0,6133 & 1,0820 & 1,6171 & 2,2692 & 2,9943 & 3,3518 & 3,6915 \\ 0,2278 & 0,6292 & 1,1374 & 1,7318 & 2,4559 & 3,3518 & 4,3196 & 4,9420 \\ 0,2261 & 0,6452 & 1,1928 & 1,8466 & 2,6374 & 3,6915 & 4,9420 & 6,8246 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 10,2492 & -5,5792 & 0,7577 & -0,0400 & 0,0333 & 0,0197 & 0,0323 & 0,0194 \\ -5,5792 & 9,5366 & -5,3910 & 0,6388 & 0,0004 & 0,0117 & 0,0373 & 0,0191 \\ 0,7577 & -5,3910 & 9,0431 & -4,6283 & 0,2584 & 0,0136 & 0,0356 & 0,0235 \\ -0,0400 & 0,6388 & -4,6283 & 7,0094 & -3,0835 & 0,1204 & 0,0023 & -0,0219 \\ 0,0333 & 0,0004 & 0,2580 & -3,0835 & 5,2942 & -2,8482 & 0,2510 & 0,1010 \\ 0,0197 & 0,0117 & 0,0136 & 0,1204 & -2,8482 & 5,1594 & -2,7001 & 0,2285 \\ 0,0323 & 0,0373 & 0,0356 & 0,0023 & 0,2510 & -2,7001 & 3,6126 & -1,2640 \\ 0,0194 & 0,0191 & 0,0235 & -0,0219 & 0,1010 & 0,2285 & -1,2640 & 0,8986 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_8 = k_{88} = 898,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_7 = k_{77} - K_8 = 3612,6 - 898,6 \Rightarrow K_7 = 2714 \text{ KN/cm}$$

$$K_6 = k_{66} - K_7 = 5159,4 - 2714 \Rightarrow K_6 = 2445,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_{55} - K_6 = 5294,2 - 2445,4 \Rightarrow K_5 = 2848,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_{44} - K_5 = 7009,4 - 2848,8 \Rightarrow K_4 = 4160,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{33} - K_4 = 9043,1 - 4160,6 \Rightarrow K_3 = 4882,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{22} - K_3 = 9536,6 - 4882,5 \Rightarrow K_2 = 4160,6 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{11} - K_2 = 10249,2 - 4160,6 \Rightarrow K_1 = 6088,6 \text{ KN/cm}$$

E. Portal 10 tingkat

1. $F = 1$ unit di tingkat 1 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= 0,1609 \cdot 10^{-3} & \delta_{21} &= 0,1897 \cdot 10^{-3} & \delta_{31} &= 0,1891 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{41} &= 0,1884 \cdot 10^{-3} & \delta_{51} &= 0,1877 \cdot 10^{-3} & \delta_{61} &= 0,1869 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{71} &= 0,1863 \cdot 10^{-3} & \delta_{81} &= 0,1855 \cdot 10^{-3} & \delta_{91} &= 0,1848 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{101} &= 0,1841 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

2. $F = 1$ unit di tingkat 2 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{12} &= 0,1897 \cdot 10^{-3} & \delta_{22} &= 0,4183 \cdot 10^{-3} & \delta_{32} &= 0,4589 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{42} &= 0,4698 \cdot 10^{-3} & \delta_{52} &= 0,4807 \cdot 10^{-3} & \delta_{62} &= 0,4917 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{72} &= 0,5026 \cdot 10^{-3} & \delta_{82} &= 0,5136 \cdot 10^{-3} & \delta_{92} &= 0,5245 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{102} &= 0,5354 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

3. $F = 1$ unit di tingkat 3 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{13} &= 0,1891 \cdot 10^{-3} & \delta_{23} &= 0,4589 \cdot 10^{-3} & \delta_{33} &= 0,7132 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{43} &= 0,7800 \cdot 10^{-3} & \delta_{53} &= 0,8165 \cdot 10^{-3} & \delta_{63} &= 0,8531 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{73} &= 0,8902 \cdot 10^{-3} & \delta_{83} &= 0,9267 \cdot 10^{-3} & \delta_{93} &= 0,9638 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{103} &= 1,0004 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

4. $F = 1$ unit di tingkat 4 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{14} &= 0,1884 \cdot 10^{-3} & \delta_{24} &= 0,4698 \cdot 10^{-3} & \delta_{34} &= 0,7800 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{44} &= 1,0876 \cdot 10^{-3} & \delta_{54} &= 1,1843 \cdot 10^{-3} & \delta_{64} &= 1,2596 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{74} &= 1,3350 \cdot 10^{-3} & \delta_{84} &= 1,4104 \cdot 10^{-3} & \delta_{94} &= 1,4863 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{104} &= 1,5617 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

5. $F = 1$ unit di tingkat 5 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{15} &= 0,1877 \cdot 10^{-3} & \delta_{25} &= 0,4807 \cdot 10^{-3} & \delta_{35} &= 0,8165 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{45} &= 1,1843 \cdot 10^{-3} & \delta_{55} &= 1,5937 \cdot 10^{-3} & \delta_{65} &= 1,7393 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{75} &= 1,8637 \cdot 10^{-3} & \delta_{85} &= 1,9894 \cdot 10^{-3} & \delta_{95} &= 2,1144 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{105} &= 2,2395 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

6. $F = 1$ unit di tingkat 6 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{16} &= 0,1869 \cdot 10^{-3} & \delta_{26} &= 0,4917 \cdot 10^{-3} & \delta_{36} &= 0,8531 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{46} &= 1,2596 \cdot 10^{-3} & \delta_{56} &= 1,7393 \cdot 10^{-3} & \delta_{66} &= 2,2435 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{76} &= 2,4787 \cdot 10^{-3} & \delta_{86} &= 2,6940 \cdot 10^{-3} & \delta_{96} &= 2,9092 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{106} &= 3,1245 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

7. $F = 1$ unit di tingkat 7 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{17} &= 0,1863 \cdot 10^{-3} & \delta_{27} &= 0,5026 \cdot 10^{-3} & \delta_{37} &= 0,8902 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{47} &= 1,3350 \cdot 10^{-3} & \delta_{57} &= 1,8637 \cdot 10^{-3} & \delta_{67} &= 2,4787 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{77} &= 3,1142 \cdot 10^{-3} & \delta_{87} &= 3,4802 \cdot 10^{-3} & \delta_{97} &= 3,8263 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{107} &= 4,1723 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

8. $F = 1$ unit di tingkat 8 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \delta_{18} &= 0,1855 \cdot 10^{-3} & \delta_{28} &= 0,5136 \cdot 10^{-3} & \delta_{38} &= 0,9267 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{48} &= 1,4104 \cdot 10^{-3} & \delta_{58} &= 1,9894 \cdot 10^{-3} & \delta_{68} &= 2,6940 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{78} &= 3,4802 \cdot 10^{-3} & \delta_{88} &= 4,2985 \cdot 10^{-3} & \delta_{98} &= 4,8244 \cdot 10^{-3} \\ \delta_{108} &= 5,3406 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

9. $F = 1$ unit di tingkat 9 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{19} = 0,1848 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{29} = 0,5245 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{39} = 0,9638 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{49} = 1,4863 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{59} = 2,1144 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{69} = 2,9092 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{79} = 3,8263 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{89} = 4,8244 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{99} = 6,1011 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{109} = 6,7915 \cdot 10^{-3}$$

10. $F = 1$ unit di tingkat 10 diperoleh simpangan tingkat sebagai berikut :

$$\delta_{110} = 0,1841 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{210} = 0,5354 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{310} = 1,0004 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{410} = 1,5617 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{510} = 2,2395 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{610} = 3,1245 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{710} = 4,1723 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{810} = 5,3406 \cdot 10^{-3} \quad \delta_{910} = 6,7915 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{1010} = 9,5032 \cdot 10^{-3}$$

sehingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$[\delta] = 10^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0,1609 & 0,1897 & 0,1891 & 0,1884 & 0,1877 & 0,1869 & 0,1863 & 0,1855 & 0,1848 & 0,1841 \\ 0,1897 & 0,4183 & 0,4589 & 0,4698 & 0,4807 & 0,4917 & 0,5026 & 0,5136 & 0,5245 & 0,5354 \\ 0,1891 & 0,4589 & 0,7132 & 0,7800 & 0,8165 & 0,8531 & 0,8902 & 0,9267 & 0,9638 & 1,0004 \\ 0,1884 & 0,4698 & 0,7800 & 1,0876 & 1,1843 & 1,2596 & 1,3350 & 1,4104 & 1,4863 & 1,5617 \\ 0,1877 & 0,4807 & 0,8165 & 1,1843 & 1,5937 & 1,7393 & 1,8637 & 1,9894 & 2,1144 & 2,2395 \\ 0,1869 & 0,4917 & 0,8531 & 1,2596 & 1,7393 & 2,2435 & 2,4787 & 2,6940 & 2,9092 & 3,1245 \\ 0,1863 & 0,5026 & 0,8902 & 1,3350 & 1,8637 & 2,4787 & 3,1142 & 3,4802 & 3,8263 & 4,1723 \\ 0,1855 & 0,5136 & 0,9267 & 1,4104 & 1,9894 & 2,6940 & 3,4802 & 4,2985 & 4,8244 & 5,3406 \\ 0,1848 & 0,5245 & 0,9638 & 1,4863 & 2,1144 & 2,9092 & 3,8263 & 4,8244 & 6,1011 & 6,7915 \\ 0,1841 & 0,5354 & 1,0004 & 1,5617 & 2,2395 & 3,1245 & 4,1723 & 5,3406 & 6,7915 & 9,5032 \end{bmatrix}$$

setelah di inverse diperoleh matrik kekakuan tingkat sebagai berikut :

$$[K] = 10^3 \cdot \begin{bmatrix} 13,6865 & -7,5382 & 1,2233 & -0,1337 & 0,0350 & 0,0331 & -0,0062 & 0,0317 & 0,0151 & 0,0077 \\ -7,5382 & 12,6063 & -7,3230 & 1,0741 & -0,0484 & -0,0010 & 0,0368 & 0,0052 & 0,0214 & 0,0075 \\ 1,2233 & -7,3230 & 12,0287 & -6,3374 & 0,5454 & 0,0032 & -0,0151 & 0,0388 & 0,0142 & 0,0091 \\ -0,1337 & 1,0741 & -6,3374 & 9,6066 & -4,5485 & 0,3482 & -0,0333 & 0,0112 & -0,0046 & -0,0004 \\ 0,0350 & -0,0484 & 0,5454 & -4,5485 & 7,7589 & -4,2453 & 0,3844 & 0,0349 & 0,0616 & 0,0271 \\ 0,0331 & -0,0010 & 0,0033 & 0,3482 & -4,2453 & 7,6115 & -4,2151 & 0,3835 & 0,0614 & 0,0310 \\ 0,0062 & 0,0368 & -0,0150 & -0,0333 & 0,3844 & -4,2151 & 7,3599 & -3,7227 & 0,1602 & 0,0467 \\ 0,0317 & 0,0052 & 0,0388 & 0,0112 & 0,0349 & 0,3835 & -3,7227 & 5,2057 & -1,9201 & -0,0600 \\ 0,0151 & 0,0214 & 0,0141 & -0,0045 & 0,0615 & 0,0614 & 0,1602 & -1,9201 & 2,1810 & -0,5868 \\ 0,0077 & 0,0075 & 0,0092 & -0,0006 & 0,0271 & 0,0310 & 0,0467 & -0,0600 & -0,5868 & 0,5198 \end{bmatrix}$$

lalu didapatkan nilai kekakuan pada tiap tingkat sebagai berikut :

$$K_{10} = k_{10\ 10} = 519,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_9 = k_{9\ 9} - K_{10} = 2181 - 519,8 \Rightarrow K_9 = 1661,2 \text{ KN/cm}$$

$$K_8 = k_{8\ 8} - K_9 = 5205,7 - 1661,2 \Rightarrow K_8 = 3544,5 \text{ KN/cm}$$

$$K_7 = k_{7\ 7} - K_8 = 7359,9 - 3544,5 \Rightarrow K_7 = 3815,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_6 = k_{6\ 6} - K_7 = 7611,5 - 3815,4 \Rightarrow K_6 = 3796,1 \text{ KN/cm}$$

$$K_5 = k_{5\ 5} - K_6 = 7758,9 - 3796,1 \Rightarrow K_5 = 3962,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_4 = k_{4\ 4} - K_5 = 9606,6 - 3962,8 \Rightarrow K_4 = 5643,8 \text{ KN/cm}$$

$$K_3 = k_{3\ 3} - K_4 = 12028,7 - 5643,8 \Rightarrow K_3 = 6384,9 \text{ KN/cm}$$

$$K_2 = k_{2\ 2} - K_3 = 12606,3 - 6384,9 \Rightarrow K_2 = 6221,4 \text{ KN/cm}$$

$$K_1 = k_{1\ 1} - K_2 = 13686,5 - 6221,4 \Rightarrow K_1 = 7465,1 \text{ KN/cm}$$

Tabel 3.19 Hasil-hasil Simulasi Model Struktur Portal
2 Tingkat Akibat Beban Gempa

Uraian	Lantai	MRF	CBF	EBF
Simpangan Tingkat (cm)	Atap	1.185	0.520	1.086
	1	0.591	0.266	0.567
Kekakuan Tingkat (KN/cm)	Atap	329.800	1389.700	632.400
	1	639.700	2320.100	985.600
Gaya Geser Dasar (KN)		-54.063	-138.144	-138.144
Waktu Getar Alami Gedung (dt)		0.612	0.257	0.373

Tabel 3.20 Hasil-hasil Simulasi Model Struktur Portal
4 Tingkat Akibat Beban Gempa

Uraian	Lantai	MRF	CBF	EBF
Simpangan Tingkat (cm)	Atap	3.456	1.705	2.682
	3	2.871	1.294	2.033
	2	1.963	0.803	1.329
	1	0.827	0.328	0.574
Kekakuan Tingkat (KN/cm)	Atap	478.300	2471.900	1007.500
	3	980.300	4749.000	2348.200
	2	720.400	2684.300	1816.100
Gaya Geser Dasar (KN)		-109.757	-296.507	-280.034
Waktu Getar Alami Gedung (dt)		1.017	0.423	0.548

Keterangan :

MRF = Momen Resisting Frame (rangka penahan momen)

CBF = Centrally Braced Frame (rangka diperkaku konsentrik).

EBF = Eccentrically Braced Frame (rangka diperkaku eksentrik).

Tabel 3.21 Hasil-hasil Simulasi Model Struktur Portal
6 Tingkat Akibat Beban Gempa

Uraian	Lantai	MRF	CBF	EBF
Simpangan Tingkat (cm)	Atap	6.143	3.850	4.987
	5	5.520	3.110	3.987
	4	4.478	2.333	3.069
	3	3.412	1.619	2.204
	2	2.148	0.939	1.333
	1	0.836	0.365	0.536
Kekakuan Tingkat (KN/cm)	Atap	372.500	1592.100	627.500
	5	701.000	3464.500	1684.700
	4	1102.600	4686.800	3075.300
	3	1469.800	5510.100	3443.500
	2	1216.400	4971.100	3379.400
1	1903.000	5886.000	3833.900	
Gaya Geser Dasar (KN)		-154.384	-434.653	-397.754
Waktu Getar Alami Gedung (dt)		1.375	0.617	0.730

Keterangan :

MRF = Momen Resisting Frame (rangka penahan momen)

CBF = Concentrically Braced Frame (rangka diperkaku konsentrik).

EBF = Eccentrically Braced Frame (rangka diperkaku eksentrik).

Tabel 3.22 Hasil-hasil Simulasi Model Struktur Portal
8 Tingkat Akibat Beban Gempa

Uraian	Lantai	MRF	CBF	EBF
Simpangan Tingkat (cm)	Atap	8.103	6.089	7.765
	7	7.634	5.798	6.569
	6	6.924	4.706	5.442
	5	5.911	3.613	4.269
	4	4.631	2.628	3.180
	3	3.389	1.771	2.197
	2	2.056	1.006	1.284
	1	0.768	0.383	0.496
Kekakuan Tingkat (KN/cm)	Atap	557.700	2628.600	898.600
	7	1241.600	5374.100	2714.000
	6	949.300	2842.200	2445.400
	5	1305.700	5538.600	2848.800
	4	1618.900	5080.100	4160.600
	3	2150.600	7712.900	4882.500
	2	1769.200	5553.000	4160.600
	1	2827.900	8409.500	6088.600
Gaya Geser Dasar (KN)		-190.541	-536.238	-485.816
Waktu Getar Alami Gedung (dt)		1.652	0.836	0.943

Keterangan :

MRF = Momen Resisting Frame (rangka penahan momen)

CBF = Centrally Braced Frame (rangka diperkaku konsentrik).

EBF = Eccentrically Braced Frame (rangka diperkaku eksentrik).

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Simpangan Tingkat

Berdasarkan dari hasil-hasil simulasi model struktur portal dapat dilihat bahwa pada struktur portal tanpa pengaku (“unbracing”) mengalami kenaikan simpangan tingkat antara lantai pertama dan kedua berkisar antara 100% hingga 175% dan lantai atap dengan lantai sebelumnya terjadi penurunan simpangan tingkat berkisar antara 5% hingga 15%. Kenaikan simpangan tingkat pada struktur portal dengan pengaku (“bracing”) menjadi cukup berarti jika dibandingkan dengan simpangan tingkat pada struktur portal tanpa pengaku, yaitu berkisar 95% hingga 170% antara lantai pertama dengan lantai kedua dan antara 5% hingga 30% terjadi penurunan simpangan tingkat pada lantai atap terhadap lantai dibawahnya. Perbandingan simpangan puncak antara struktur portal dengan pengaku terhadap struktur portal tanpa pengaku mengalami kenaikan berkisar antara 5% hingga 130%.

Pada prinsipnya struktur portal dengan sistem pengaku memiliki kekakuan yang lebih baik daripada struktur portal tanpa sistem pengaku, sehingga simpangan yang terjadi pada struktur portal dengan sistem pengaku menjadi lebih

kecil dibandingkan dengan struktur portal tanpa sistem pengaku. Dalam penulisan tugas akhir ini perlu pula diketahui bahwa untuk analisis dan perhitungan, pada struktur portal dengan sistem pengaku, distribusi beban gempa direncanakan sepenuhnya diterima oleh portal yang memiliki pengaku saja yaitu pengaku pada tengah bentang struktur portal. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar perencanaan struktur portal dengan sistem pengaku seperti pada literatur-literatur yang ada.

Untuk dimensi elemen-elemen struktur portal pada bentang tepi kiri dan kanannya seperti pada gambar 3.2 dan 3.3 direncanakan tidak menerima beban gempa, sehingga dimensi yang digunakan lebih ringan yang juga berarti lebih ekonomis. Sedangkan struktur portal tanpa sistem pengaku beban gempa yang didistribusikan diterima sepenuhnya oleh portal secara keseluruhan. Hal tersebut menyebabkan adanya perbedaan dimensi elemen-elemen struktur yang digunakan dan tentunya juga mempengaruhi simpangan tingkat yang dialami dari ketiga jenis struktur portal yang ditinjau.

Perubahan simpangan tingkat yang terjadi antara struktur portal rangka diperkaku konsentrik dan eksentrik tidaklah terlalu besar jika dibandingkan dengan struktur portal rangka penahan momen. Yakni struktur portal dengan pengaku eksentrik simpangan yang dialaminya sedikit lebih besar, rata-rata mendekati 50%. Sementara perubahan simpangan tingkat setiap kenaikan 2 tingkat struktur portal, untuk struktur portal rangka penahan momen mengalami kenaikan simpangan tingkat antara 30% hingga 190% dan struktur portal dengan rangka diperkaku kenaikan simpangan tingkatnya sebesar 50% hingga 230%.

4.2 Kekakuan Tingkat

Dari hasil-hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan paket program SAP'90, memberikan nilai kekakuan tingkat yang beragam terhadap model-model struktur portal yang diteliti. Dapat dilihat bahwa pada struktur portal tanpa pengaku ("unbracing") terjadi penurunan kekakuan tingkat pada lantai pertama terhadap lantai kedua sebesar 25% hingga 50% dan 75% hingga 105% terjadi kenaikan kekakuan tingkat pada lantai atap terhadap lantai dibawahnya. Begitu pula perilaku yang terjadi pada struktur portal dengan pengaku ("bracing"), terjadi penurunan kekakuan tingkat antara lantai pertama dan kedua sebesar 12% hingga 45% dan 56% hingga 220% terjadi kenaikan kekakuan tingkat pada lantai atap terhadap lantai dibawahnya.

Perbedaan kekakuan tingkat yang terjadi antara struktur portal dengan pengaku terhadap struktur portal tanpa pengaku menjadi cukup besar yaitu berkisar antara 70% hingga 300%, dimana struktur portal dengan pengaku memiliki kekakuan yang lebih baik. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan pada penentuan faktor jenis struktur, dimana struktur portal tanpa pengaku memiliki nilai faktor jenis struktur $K=1$ sedangkan struktur portal dengan pengaku memiliki nilai faktor jenis struktur $K=2,5$ (mengacu pada buku PPTGUG,1981). Ini menyebabkan terjadinya perbedaan gaya geser dasar horizontal yang cukup besar sehingga beban gempa yang didistribusikan pada struktur portal dengan pengaku relatif menjadi besar, dengan demikian pada struktur portal berpengaku memiliki kekakuan tingkat yang lebih besar pula jika dibandingkan dengan

struktur portal tanpa pengaku.

Perbedaan kekakuan tingkat terjadi pula pada struktur portal rangka diperkaku konsentrik terhadap struktur portal rangka diperkaku eksentrik. Perbedaan tersebut cenderung meningkat dengan bertambah tingginya struktur portal antara 120% hingga 190% pada lantai atap dan cenderung menurun antara 135% hingga 15% terhadap lantai pertama, dimana struktur portal rangka diperkaku konsentrik memiliki kekakuan yang lebih besar.

Hasil perhitungan kekakuan tingkat dari analisis struktur portal yang ditinjau ini cukup beragam. Hal tersebut dimungkinkan pula karena adanya pemilihan dimensi dari elemen-elemen struktur portal yang dibagi menjadi tiga jenis elemen. Elemen pertama adalah balok, yang dimensi elemen-elemennya dibedakan lagi atas dimensi elemen balok atap dan balok lantai, kemudian yang kedua adalah kolom yang dibedakan atas dimensi kolom pada setiap kenaikan 4 tingkat. Untuk struktur 10 tingkat dibedakan menjadi 3 yaitu dimensi kolom tingkat 1 hingga 4, 5 hingga 8 dan tingkat 9 hingga 10. Demikian pula pada jenis elemen yang ketiga yaitu pengaku yang terdapat pada struktur portal dengan pengaku. Pemilihan atau pemakaian dimensi dari elemen-elemen struktur portal ini bertujuan agar struktur yang direncanakan dapat dibandingkan dengan keadaan yang ada dilapangan dan juga untuk meminimalkan adanya penyambungan-penyambungan, khususnya penyambungan-penyambungan pada kolom yang mana hal demikian menyebabkan penambahan biaya struktur yang cukup besar dan memerlukan ketelitian yang tinggi dalam pelaksanaannya.

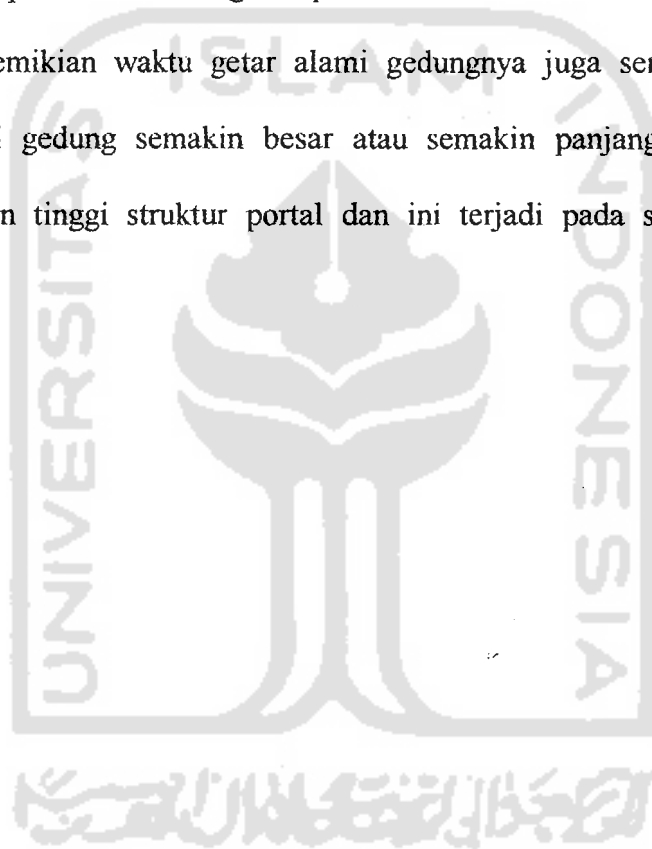
Akan dijelaskan dari pembahasan ini bahwa dalam menganalisis struktur portal dengan menggunakan program SAP'90 ini, dasar perhitungan berdasarkan dari hasil cek tegangan atau cek interaksi melalui sarana yang telah disediakan oleh Sap'90 yaitu SAPSTL yang berfungsi sebagai pemrosesan cek tegangan baja untuk seluruh elemen-elemen struktur. Sehingga dalam pemilihan profil digunakan profil yang paling efektif dan efisien, dan ini menjadi dasar sebagai perbandingan dari ketiga jenis struktur yang dianalisis.

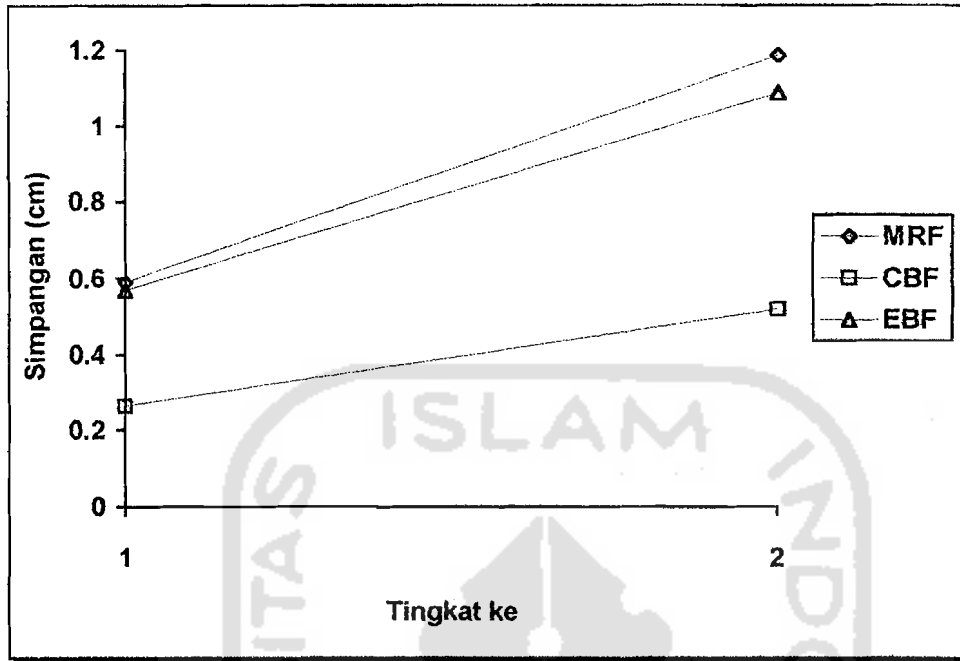
4.3 Gaya Geser Dasar

Dari hasil-hasil simulasi model struktur portal yang telah ditabelkan dapat dikatakan bahwa terjadi kenaikan gaya geser dasar seiring dengan penambahan tinggi struktur portal pada setiap kenaikan 2 tingkat, kenaikan ini berkisar antara 4% hingga 140%. Perbedaan gaya geser dasar tersebut terjadi pada struktur portal tanpa pengaku terhadap struktur portal dengan pengaku rata-rata hampir 170% , dimana struktur portal dengan pengaku memiliki gaya geser dasar yang lebih besar. Sedangkan perbedaan gaya geser dasar yang terjadi antara struktur portal rangka diperkaku konsentrik terhadap struktur portal rangka diperkaku eksentrik tidak terjadi perbedaan yang begitu besar.

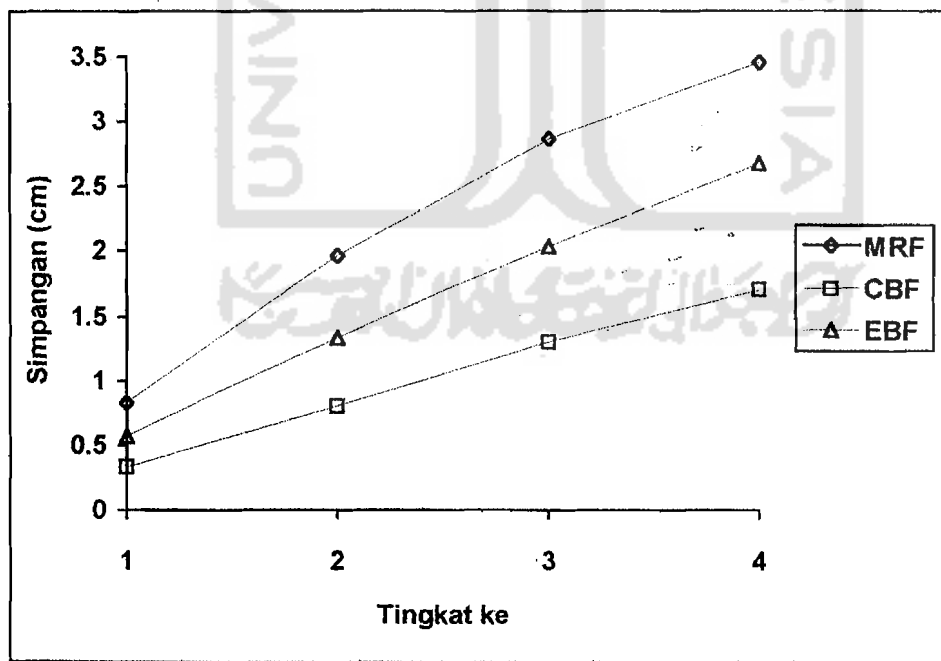
4.4 Waktu Getar Alami Gedung

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa waktu getar alami gedung ini semakin kecil nilainya pada struktur yang memiliki kekakuan lebih besar, seperti pada struktur portal rangka diperkaku konsentrik memiliki kekakuan struktur yang lebih baik dari pada struktur rangka diperkaku eksentrik dan rangka penahan momen, dengan demikian waktu getar alami gedungnya juga semakin kecil. Waktu getar alami gedung semakin besar atau semakin panjang bersamaan dengan penambahan tinggi struktur portal dan ini terjadi pada setiap jenis struktur portal.

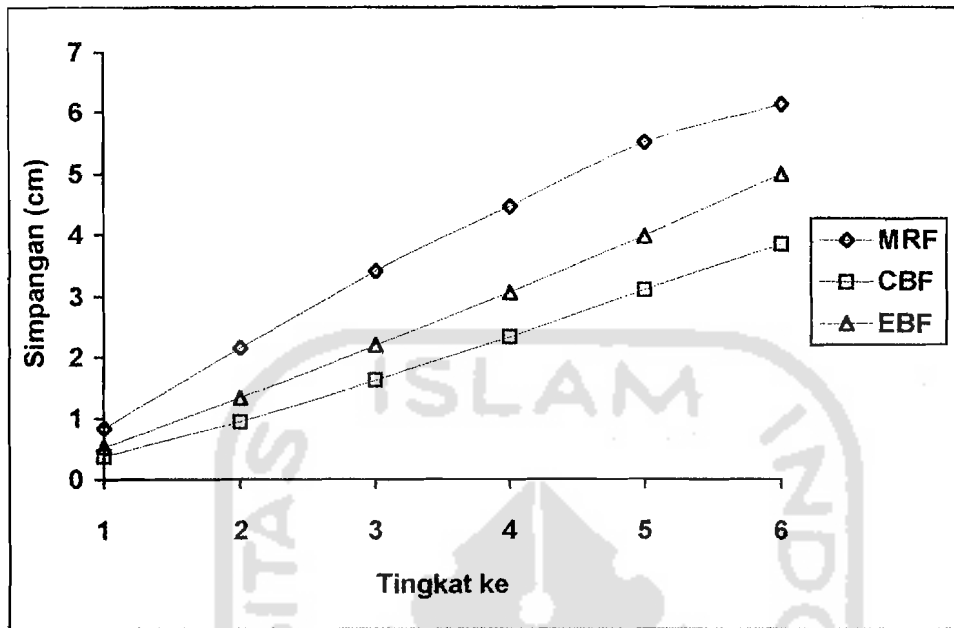




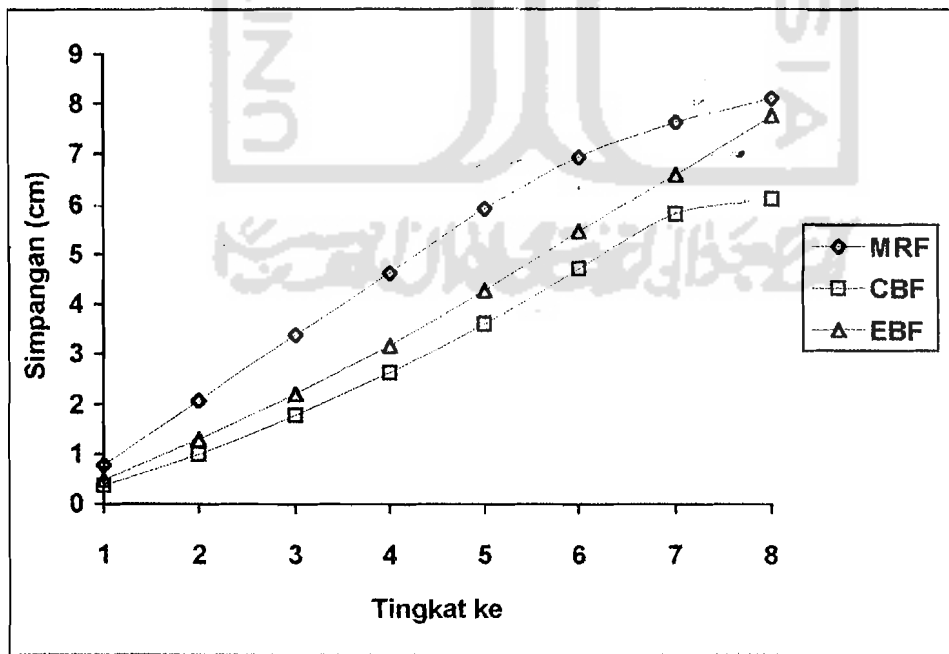
Gambar 4.1 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 2 tingkat akibat beban gempa



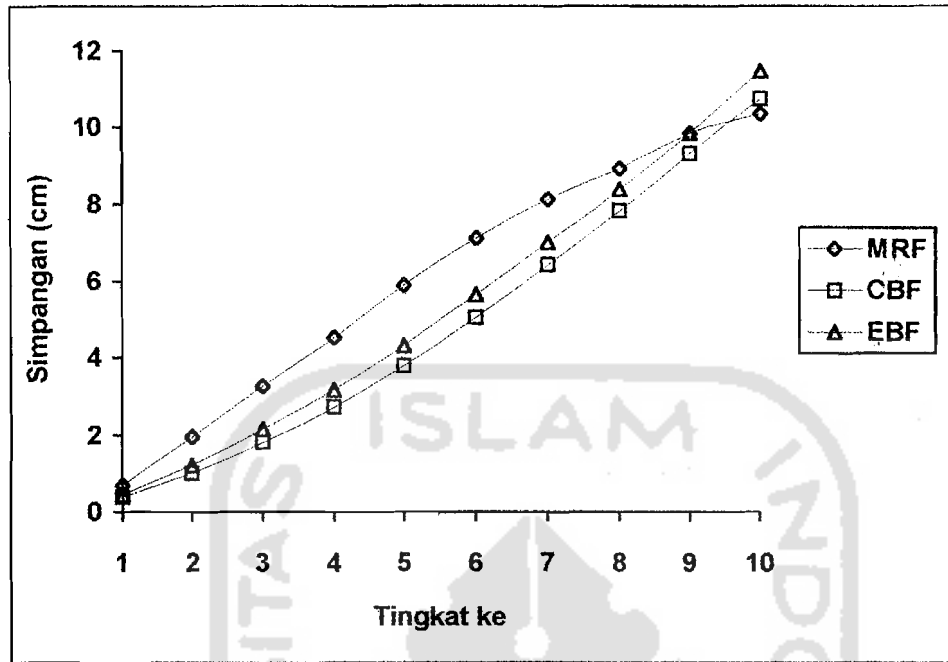
Gambar 4.2 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 4 tingkat akibat beban gempa



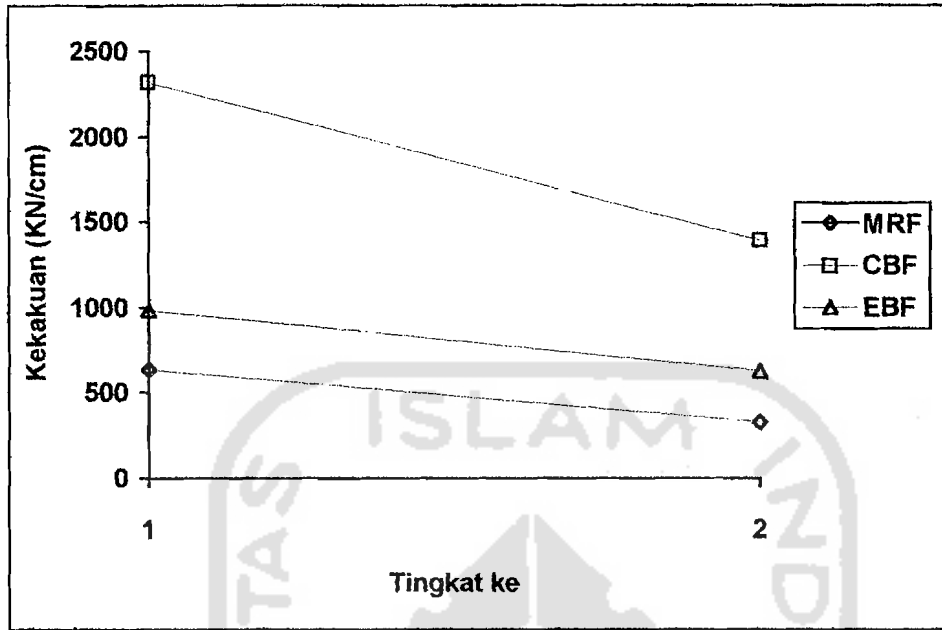
Gambar 4.3 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 6 tingkat akibat beban gempa



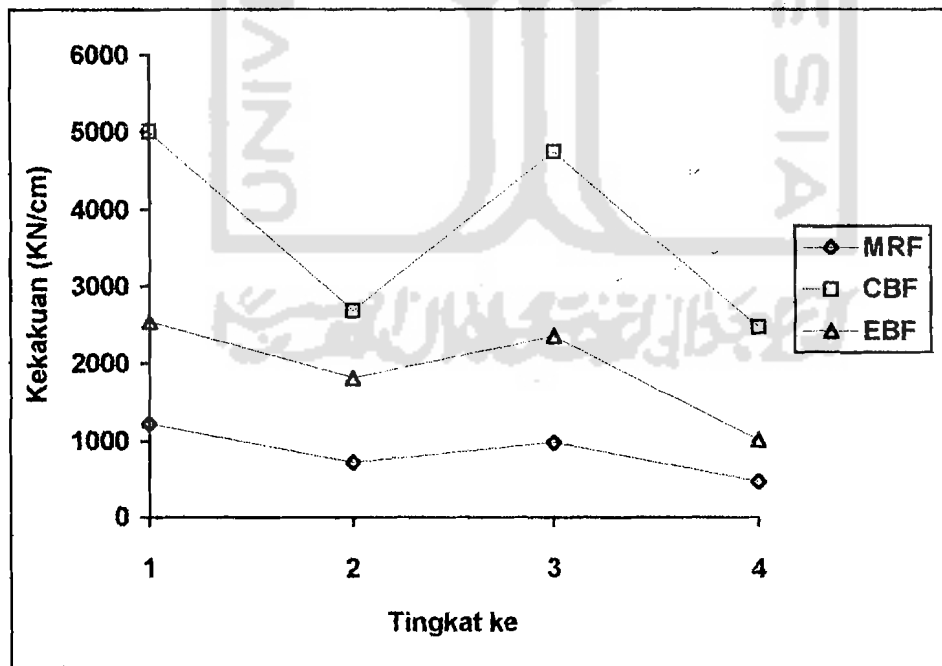
Gambar 4.4 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 8 tingkat akibat beban gempa



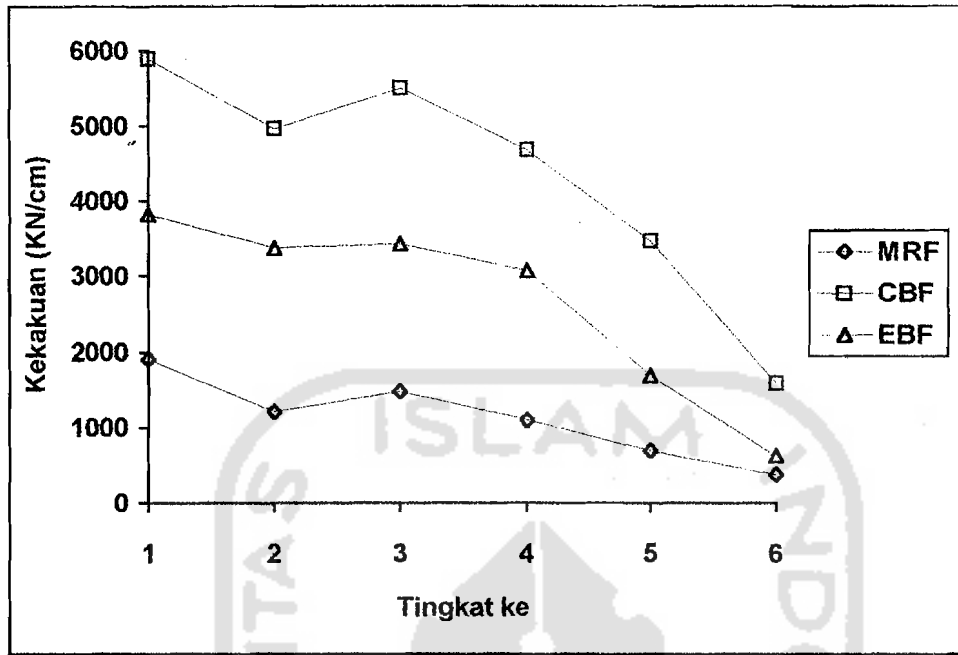
Gambar 4.5 Grafik simpangan tingkat struktur portal model 10 tingkat akibat beban gempa



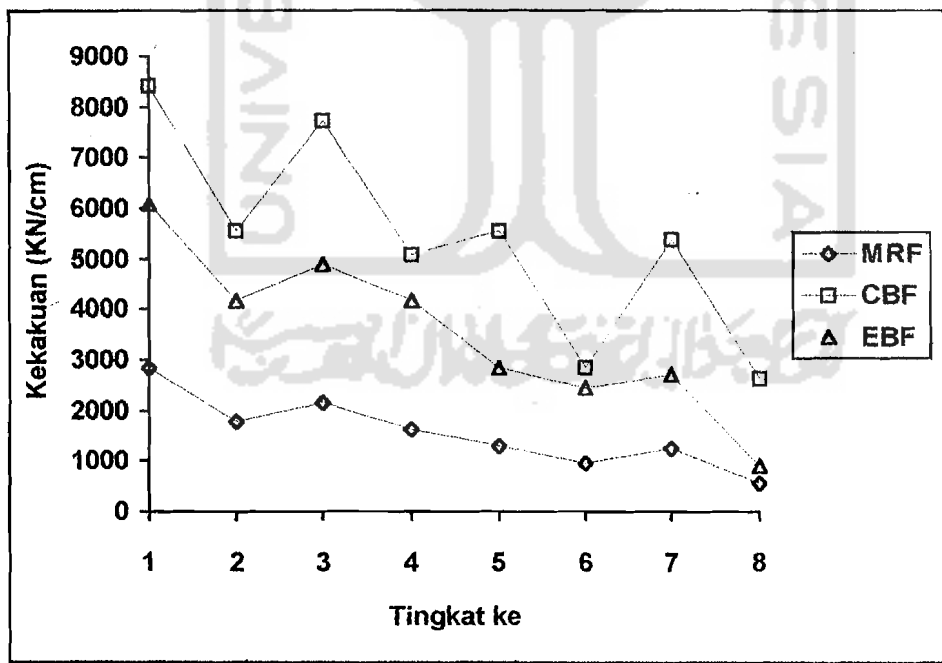
Gambar 4.6 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 2 tingkat akibat beban gempa



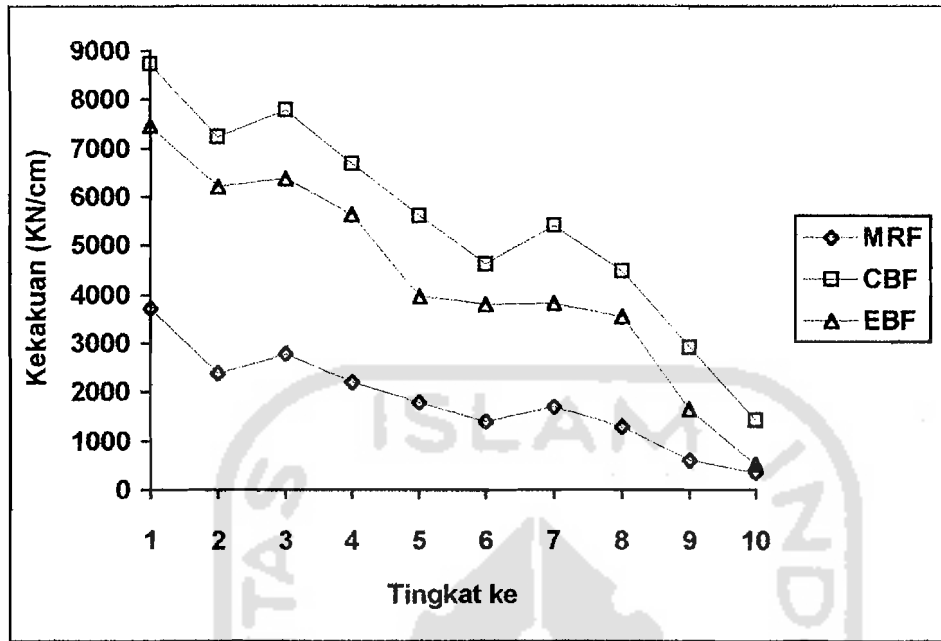
Gambar 4.7 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 4 tingkat akibat beban gempa



Gambar 4.8 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 6 tingkat akibat beban gempa



Gambar 4.9 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 8 tingkat akibat beban gempa



Gambar 4.10 Grafik kekakuan tingkat struktur portal model 10 tingkat akibat beban gempa

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan melalui sarana program komputer yaitu program SAP'90 dengan melakukan perhitungan dan perbandingan terhadap 3 jenis model struktur portal, maka dapat disimpulkan :

1. simpangan tingkat yang terjadi dari setiap model struktur portal yang ditinjau telah dapat memenuhi syarat menurut peraturan yang telah ditetapkan dalam buku Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah Dan Gedung (PPTGUG,1981), dimana peralihan antar tingkat tidak lebih besar dari 2 cm,
2. untuk mendapatkan kekakuan struktur yang memadai, peranan struktur dengan pengaku memberikan pengaruh kekakuan yang cukup besar,
3. dengan menggunakan atau memilih struktur bangunan dengan pengaku dapat memberikan keuntungan dari segi ekonomis karena struktur dengan pengaku memiliki perbedaan volume material yang digunakan yaitu lebih kecil dibandingkan terhadap struktur portal tanpa pengaku, terutama untuk gedung yang lebih tinggi dari 40 m atau diatas 10 tingkat,

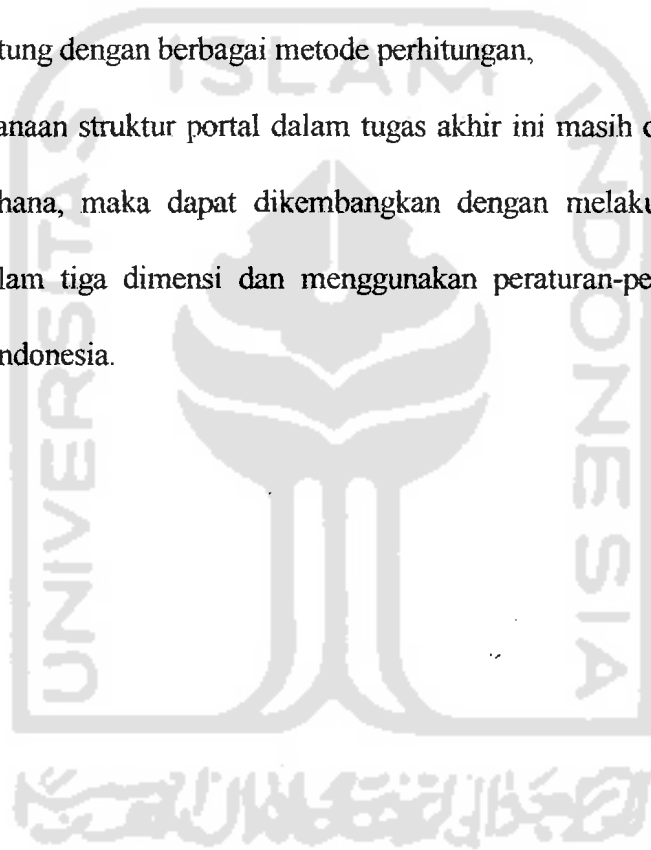
4. dalam proses analisa struktur distribusi beban gempa pada struktur portal rangka diperkaku dianggap sama karena memiliki berat struktur yang mendekati sama,
5. prinsip perencanaan untuk struktur portal rangka diperkaku bahwa beban gempa sepenuhnya diterima oleh struktur portal dengan bentang yang berpengaku saja.

5.2 Saran

Setelah dilakukan pembahasan terhadap pokok-pokok pembahasan dalam tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut :

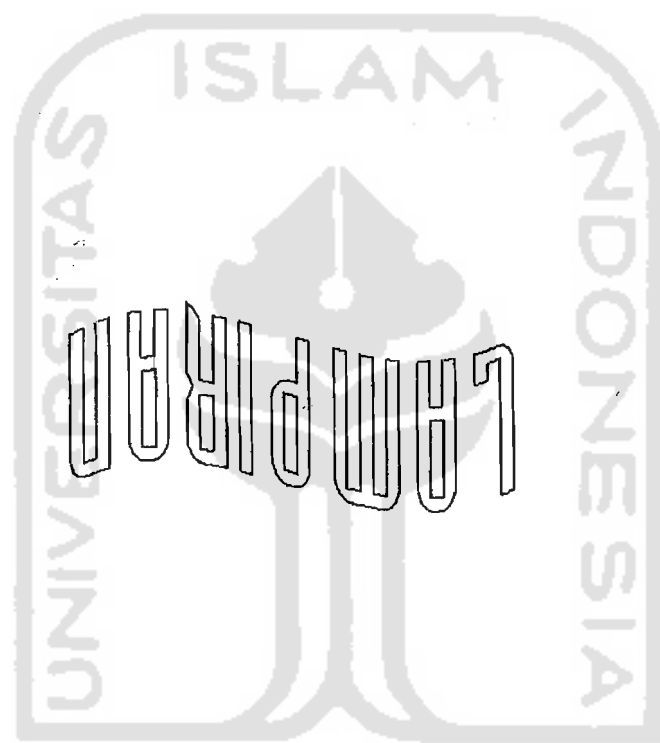
1. perlu kiranya dilakukan suatu penelitian laboratorium mengenai nilai faktor jenis struktur (K) dengan membuat sampel sederhana dari ketiga jenis portal yang ditinjau,
2. untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dalam analisis perlu dilakukan variasi terhadap bentuk-bentuk pengaku yang lain dan melakukan variasi bentang yang beragam,
3. studi ini dapat dilanjutkan dengan mengembangkan perancangan detail atau sambungan pada pertemuan balok, kolom dan pengaku,
4. untuk studi kasus, peneliti dapat mencoba suatu bangunan yang sudah jadi kemudian menganalisis kekakuan dan simpangan serta gaya geser dasar yang terjadi akibat beban gempa,

5. dengan keterbatasan penulis, kiranya dapat dikembangkan lagi metode-metode yang digunakan untuk menghitung struktur gedung tahan gempa seperti prinsip desain kapasitas, metode desain plastis dan lain-lain,
6. dalam perencanaan struktur portal ini sebaiknya perhitungan kekakuan tingkat dihitung dengan berbagai metode perhitungan,
7. dari perencanaan struktur portal dalam tugas akhir ini masih dalam bentuk yang sederhana, maka dapat dikembangkan dengan melakukan analisis struktur dalam tiga dimensi dan menggunakan peraturan-peraturan yang berlaku di Indonesia.

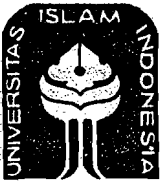


DAFTAR PUSTAKA

- Englekirk, R., 1994, STEEL STRUCTURES CONTROLLING BEHAVIOR THROUGH DESIGN, John Willey & Sons, New York
- Key. David, 1998, EARTHQUAKE DESIGN PRACTICE FOR BUILDING, Thomas Telford.
- Laurentius Wahyudi, Sjahril A. Rahim, 1992, METODE PLASTIS ANALISIS DAN DESAIN, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Liew Richard, J.Y., Chen, W.F., 1995, ANALYSIS AND DESIGN OF STEEL FRAMES CONSIDERING PANEL JOIN DEFORMATION, journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.121, No. 10, pp. 1531-1540
- Muto Kiyoshi., Wira. Msc, 1990, ANALISIS PERENCANAAN GEDUNG TAHAN GEMPA, Erlangga, Jakarta.
- Salmon, C.G., Johnson, J.E., 1986, STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU, jilid II, Erlangga Jakarta.
- Teddy Boen., Wendy.T., 1984, DASAR-DASAR PERHITUNGAN BANGUNAN TAHAN GEMPA, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Widianyana Merati, 1990, PERILAKU STRUKTUR BAJA MENERIMA BEBAN GEMPA.
- 1983, PERATURAN PEMBEBANAN INDONESIA UNTUK GEDUNG (PPIG), Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- 1984, PEDOMAN PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK RUMAH DAN GEDUNG , SKBI-1.3.53.1987, Departemen Pekerjaan Umum.
- 1989, MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION ALLOWABLE STRESS DESIGN, Ninth edition, American Institute of Steel Construction, inc.
- 1996, ANALISIS STRUKTUR DENGAN SAP'90, Tim penelitian dan pengembangan, Wahana Komputer, Semarang.



جامعة اسلام لامبونغ



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

LAMPIRAN 1

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	YUSTRIAWAN	92 810 010		STRUKTUR
2.	SAID KHAIIRIANSYAH	92 810 050		STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISIS BEBAN TERHADAP KEKUATAN PORTAL DENGAN VARIASI TINGKAT DANA STRUKTUR BAJA.....

Dosen Pembimbing I SR.H. SUBATRAWAN, MS
 Dosen Pembimbing II SR. DUMARYATMO, MT

1

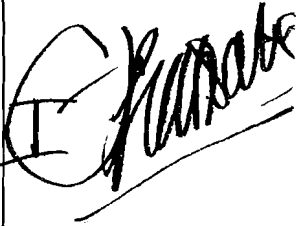
2



Yogyakarta, 10 September 1998
 An. Dekan,
 Fakultas Teknik Sipil.

[Signature]
 SR. H. SAID KHAIIRIANSYAH, MT

CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke :	KETERANGAN	Paraf
	18/11/48		Lanjutan <u>hls</u>	Siapkan Skema
	26/11/48		Revisi proposal <u>hls</u>	
	30/11/48		Lanjutan <u>hls</u>	
	7/12/48		Lanjutan <u>hls</u>	
	7/12/48		Revisi proposal <u>Sus</u>	
	2/2/49		Lanjutan <u>hls</u>	
	17/2/49		Lanjutan dg pembahasan <u>hls</u>	
	2/3/49		Lanjutan <u>hls</u>	
	1/3/49		Revisi lanjutan ke D.P.I.	
	19/4/99		Revisi <u>Sus</u> 15/3/99	

PORTAL RANGKA PENAHAN MOMEN MODEL 10 TINGKAT AKIBAT BEBAN GRAVITASI.

SYSTEM

L=3 : Nomor Kondisi beban

JOINTS

No	X	Y	Z	Koordinat joint
1	X=0	Y=0	Z=0	
5		Y=390/2.54		
41		Y=3900/2.54	G=5,41,4	
2	X=1000/2.54	Y=0		
6		Y=390/2.54		
42		Y=3900/2.54	G=6,42,4	
3	X=1600/2.54	Y=0		
7		Y=390/2.54		
43		Y=3900/2.54	G=7,43,4	
4	X=2600/2.54	Y=0		
8		Y=390/2.54		
44		Y=3900/2.54	G=8,44,4	

RESTRAINTS

1 44 1	R=0,0,1,1,1,0	: Semua joint dalam sumbu X-Y
1 4 1	R=1,1,1,1,1,1	

FRAME

NM=7 NL=4

C MATERIAL BALOK

1	SH=W14X109	E=29000	MN=S	FY=36	: Balok Atap Tepi
2	SH=W12X65	E=29000	MN=S	FY=36	: Balok Atap Tengah
3	SH=W14X159	E=29000	MN=S	FY=36	: Balok Lantai Tepi
4	SH=W12X106	E=29000	MN=S	FY=36	: Balok Lantai Tengah

C MATERIAL KOLOM

5	SH=W14X283	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom Tepi 1 s/d 4
6	SH=W12X190	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom Tepi 5 s/d 8
7	SH=W12X106	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom Tepi 9,10

C BEBAN MATI

1	WG=0, -35.6*0.06852/12	: Beban Mati Atap
2	WG=0, -47.975*0.06852/12	: Beban Mati Lantai

C BEBAN HIDUP

3	WG=0, -15*0.06852/12	: Beban Hidup Atap
4	WG=0, -25*0.06852/12	: Beban Hidup Lantai

C ELEMEN KOLOM

1,1,5	G=3,1,1,1	M=5	LP=1
8,5,9	G=3,1,1,1	M=5	
15,9,13	G=3,1,1,1	M=5	
22,13,17	G=3,1,1,1	M=5	
29,17,21	G=3,1,1,1	M=6	
36,21,25	G=3,1,1,1	M=6	
43,25,29	G=3,1,1,1	M=6	
50,29,33	G=3,1,1,1	M=6	
57,33,37	G=3,1,1,1	M=7	
64,37,41	G=3,1,1,1	M=7	

C ELEMEN BALOK

5,5,6	G=8,7,4,4	M=3	NSL=2,4
6,6,7	G=8,7,4,4	M=4	NSL=2,4
7,7,8	G=8,7,4,4	M=3	NSL=2,4
68,41,42	G=1,2,2,2	M=1	NSL=1,3
69,42,43		M=2	NSL=1,3

LOADS

C BEBAN KOLOM

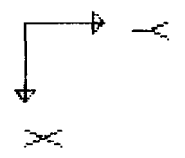
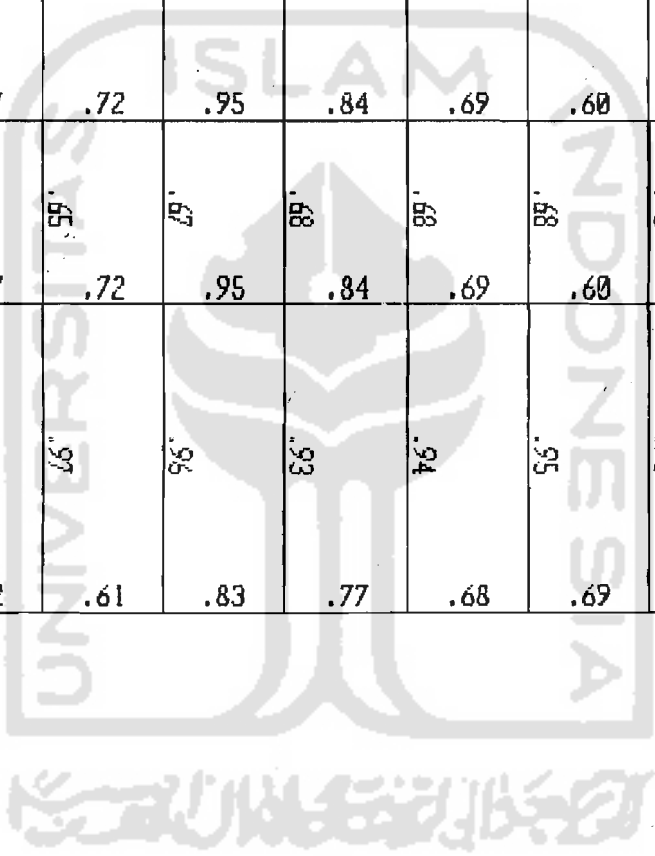
41,44,1	F=0,-23.4*0.2248	L=3
37,40,1	F=0,-23.4*0.2248	
33,36,1	F=0,-23.4*0.2248	
29,32,1	F=0,-23.4*0.2248	
25,28,1	F=0,-23.4*0.2248	
21,24,1	F=0,-23.4*0.2248	
17,20,1	F=0,-23.4*0.2248	
13,16,1	F=0,-23.4*0.2248	
9,12,1	F=0,-23.4*0.2248	
5,8,1	F=0,-23.4*0.2248	

COMBO

1 C=1,1,1



	.71	.70	.62	.61	.83	.77	.68	.69	.86	.98
		.97	.96	.97	.96	.93	.94	.95	.93	.90
	.93	.88	.77	.72	.95	.84	.69	.60	.71	.65
		.67	.65	.65	.67	.68	.68	.68	.70	.72
	.93	.88	.77	.72	.95	.84	.69	.60	.71	.65
		.97	.96	.97	.96	.93	.94	.95	.93	.90
	.71	.70	.62	.61	.83	.77	.68	.69	.86	.98



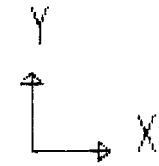
of g 10
SAPSTL
RATIOS

LEGEND

OTHER
 0.0
 0.5
 0.7
 0.9
 1.0

SAP90

	41	68	42	69	43	70	44
64			65		66		67
	37	61	38	62	39	63	40
57			58		59		60
	33	54	34	55	35	56	36
50			51		52		53
	29	47	30	48	31	49	32
43			44		45		46
	25	40	26	41	27	42	28
36			37		38		39
	21	33	22	34	23	35	24
29			30		31		32
	17	26	18	27	19	28	20
22			23		24		25
	13	19	14	20	15	21	16
15			16		17		18
	9	12	10	13	11	14	12
8			9		10		11
	5	5	6	6	7	7	8
1			2		3		4
	1		2		3		4



of g 10
UNDEFORMED
SHAPE

OPTIONS
JOINT IDS
ELEMENT IDS
WIRE FRAME

SAP90

PORTAL RANGKA PENAHAN MOMEN MODEL 10 TINGKAT AKIBAT BEBAN GEMPA.

C -----

SYSTEM

L=3 : Nomor Kondisi beban

JOINTS

No	X	Y	Z	Notes
1	0	0	0	Koordinat joint
5		390/2.54		
41		3900/2.54	6=5,41,4	
2	1000/2.54	0		
6		390/2.54		
42		3900/2.54	6=6,42,4	
3	1600/2.54	0		
7		390/2.54		
43		3900/2.54	6=7,43,4	
4	2600/2.54	0		
8		390/2.54		
44		3900/2.54	6=8,44,4	

RESTRAINTS

No	Restraints	Notes
1	44 1 R=0,0,1,1,1,0	Semua joint dalam sumbu X-Y
1	4 1 R=1,1,1,1,1,1	

CONSTRAINTS

No	Constraints	Notes
6,42,4	C=5 I=4	
7,43,4	C=5 I=4	
8,44,4	C=5 I=4	

FRAME

NM=7 NL=4

C MATERIAL BALOK

No	SH	E	MN	FY	Notes
1	M14X132	E=29000	MN=5	FY=36	Balok Atap Tepi
2	M12x72	E=29000	MN=5	FY=36	Balok Atap Tengah
3	M14X342	E=29000	MN=5	FY=36	Balok Lantai Tepi
4	M12X210	E=29000	MN=5	FY=36	Balok Lantai Tengah

C MATERIAL KOLOM

No	SH	E	MN	FY	Notes
5	M12x120	E=29000	MN=5	FY=36	Kolom 9,10
6	M12x305	E=29000	MN=5	FY=36	Kolom 5 s/d 8
7	M14x426	E=29000	MN=5	FY=36	Kolom 1 s/d 4

C BEBAN MATI

No	WG	Notes
1	0, -35.6*0.06852/12	Beban Mati Atap
2	0, -47.975*0.06852/12	Beban Mati Lantai

C BEBAN HIDUP

No	WG	Notes
3	0, -15*0.06852/12	Beban Hidup Atap
4	0, -25*0.06852/12	Beban Hidup Lantai

C ELEMEN KOLOM

No	G	M	LP
1,1,5	G=3,1,1,1	M=7	LP=1
8,5,9	G=3,1,1,1	M=7	
15,9,13	G=3,1,1,1	M=7	
22,13,17	G=3,1,1,1	M=7	
29,17,21	G=3,1,1,1	M=6	
36,21,25	G=3,1,1,1	M=6	
43,25,29	G=3,1,1,1	M=6	
50,29,33	G=3,1,1,1	M=6	
57,33,37	G=3,1,1,1	M=5	
64,37,41	G=3,1,1,1	M=5	

C ELEMEN BALOK

5,5,6	G=8,7,4,4	M=3	NSL=2,4
6,6,7	G=8,7,4,4	M=4	NSL=2,4
7,7,8	G=8,7,4,4	M=3	NSL=2,4
68,41,42	G=1,2,2,2	M=1	NSL=1,3
69,42,43		M=2	NSL=1,3

LOADS

C BEBAN GEMPA

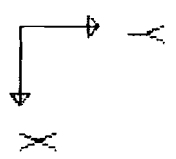
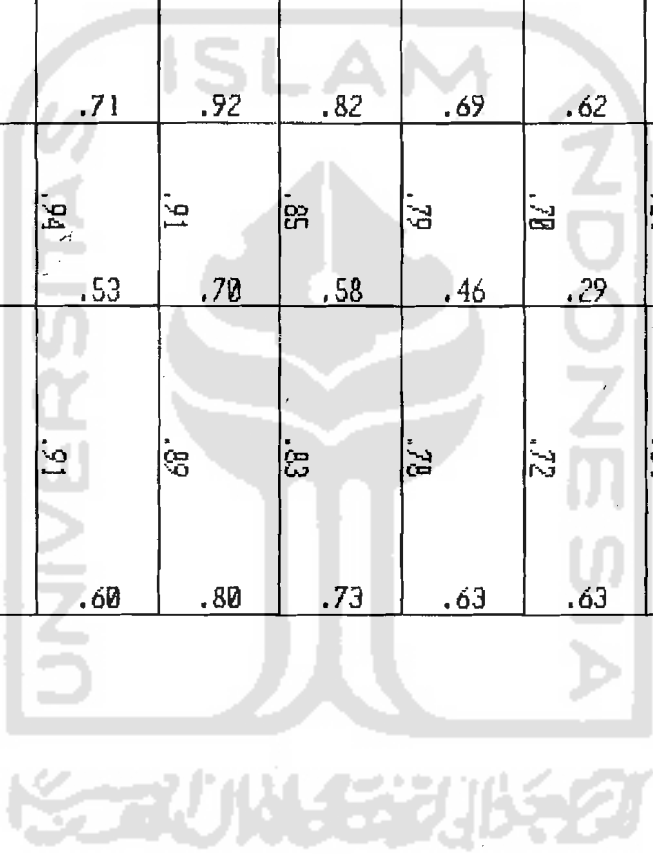
5	F=19.283*0.2248	L=3
9	F=37.426*0.2248	
13	F=56.139*0.2248	
17	F=74.852*0.2248	
21	F=93.565*0.2248	
25	F=112.277*0.2248	
29	F=130.990*0.2248	
33	F=149.703*0.2248	
37	F=168.416*0.2248	
41	F=132.725*0.2248	

COMBO

1 C=1,1,1



	.57	.28	.23	.19	.26	.23	.23	.28	.32	.71
		.81	.89	.88	.86	.80	.74	.68	.63	.51
	.93	.85	.75	.71	.92	.82	.69	.62	.93	.77
		.83	.93	.94	.91	.85	.79	.70	.64	.55
	.88	.67	.60	.53	.70	.58	.46	.29	.51	.41
		.81	.90	.91	.89	.83	.78	.72	.64	.48
	.82	.72	.62	.60	.80	.73	.63	.63	.96	.96
										.83
										.99
										.96



OF 10
SAPSTL
RATIOS

LEGEND

OVER 1.0
0.9
0.7
0.5
0.0

OTHER

SAP90

PORTAL KONSENTRIK MODEL 10 TINGKAT AKIBAT BEBAN GEMPA.

C-----

SYSTEM

L=3 : Nomor Kondisi beban

JOINTS

1	X=0	Y=0	Z=0	: Koordinat joint
3		Y=390/2.54		
30		Y=3900/2.54	G=3,30,3	
2	X=600/2.54	Y=0		
5		Y=390/2.54		
32		Y=3900/2.54	G=5,32,3	
4	X=300/2.54	Y=390/2.54		
31		Y=3900/2.54	G=4,31,3	

RESTRAINTS

1 32 1	R=0,0,1,1,1,0	: Semuajoint dalam sumbu X-Y
1 2 1	R=1,1,1,1,1,1	

CONSTRAINTS

4,31,3	C=3	I=3
5,32,3	C=3	I=3

FRAME

NM=8 NL=4

C MATERIAL BALOK

1	SH=W10X22	E=29000	MN=S	FY=36	: Balok Atap
2	SH=W10X26	E=29000	MN=S	FY=36	: Balok Lantai

C MATERIAL KOLOM

3	SH=W10X33	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom 9,10
4	SH=W12X210	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom 5 s/d 8
5	SH=W14X550	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom 1 s/d 4

C MATERIAL PENGAKU

6	SH=W8x48	E=29000	MN=S	FY=36	: Pengaku 9,10
7	SH=W10X88	E=29000	MN=S	FY=36	: Pengaku 5 s/d 8
8	SH=W12x106	E=29000	MN=S	FY=36	: Pengaku 1 s/d 4

C BEBAN MATI

1	WG=0,-35.6*0.06852/12	: Beban Mati Atap
2	WG=0,-47.975*0.06852/12	: Beban Mati Lantai

C BEBAN HIDUP

3	WG=0,-15*0.06852/12	: Beban Hidup Atap
4	WG=0,-25*0.06852/12	: Beban Hidup Lantai

C ELEMEN KOLOM

1,1,3		M=5	LP=1
7,3,6	G=2,6,3,3	M=5	
4,2,5	G=3,6,3,3	M=5	
25,12,15	G=3,6,3,3	M=4	
28,14,17	G=3,6,3,3	M=4	
49,24,27	G=1,6,3,3	M=3	
52,26,29	G=1,6,3,3	M=3	

C ELEMEN BALOK

5,3,4	G=8,6,3,3	M=2	NSL=2,4	LP=1
6,4,5	G=8,6,3,3	M=2	NSL=2,4	
59,30,31	G=1,1,1,1	M=1	NSL=1,3	



C ELEMEN PENGAKU

2,1,4		M=8
8,3,7	G=2,6,3,3	M=8
3,2,4	G=3,6,3,3	M=8
26,12,16	G=3,6,3,3	M=7
27,14,16	G=3,6,3,3	M=7
50,24,28	G=1,6,3,3	M=6
51,26,28	G=1,6,3,3	M=6

LOADS

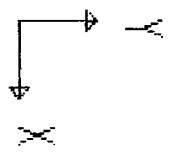
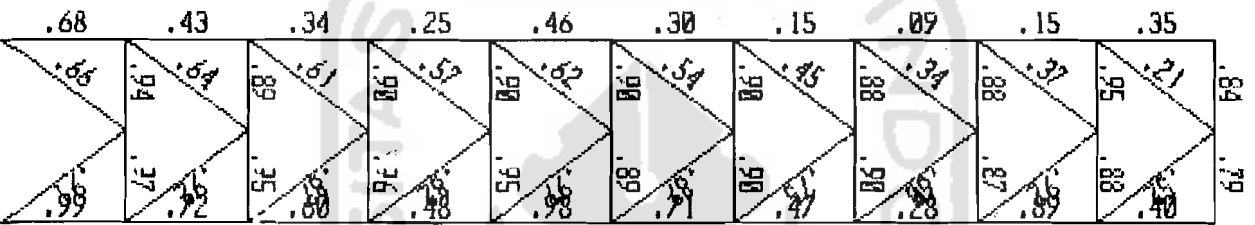
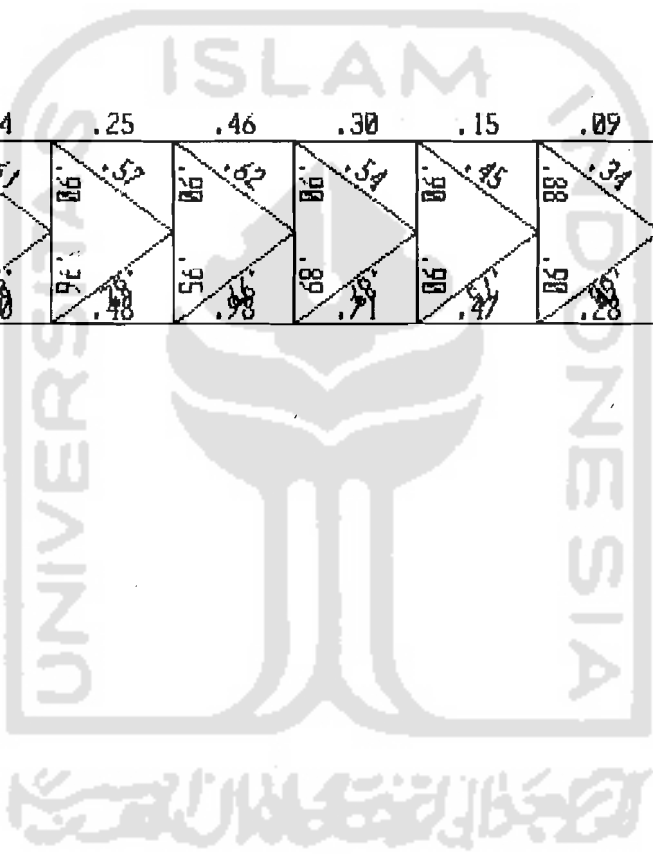
C BEBAN GEMPA

3	F=49.8810.2248	L=3
6	F=95.37210.2248	
9	F=143.05710.2248	
12	F=190.74310.2248	
15	F=238.42910.2248	
18	F=286.11510.2248	
21	F=333.80110.2248	
24	F=381.48710.2248	
27	F=429.17210.2248	
30	F=338.50110.2248	

COMBO

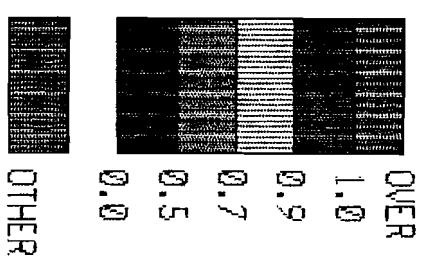
1	C=1,1,1
---	---------





KF10
SAPSTL
RATIOS

LEGEND



SAP90

PORTAL EKSENTRIK MODEL 10 TINGKAT AKIBAT BEBAN GEMPA.

C-----

SYSTEM

L=3 : Nomor Kondisi beban

JOINTS

1	X=0	Y=0	Z=0	: Koordinat joint
3		Y=390/2.54		
39		Y=3900/2.54	G=3,39,4	
2	X=600/2.54	Y=0		
6		Y=390/2.54		
42		Y=3900/2.54	G=6,42,4	
4	X=240/2.54	Y=390/2.54		
40		Y=3900/2.54	G=4,40,4	
5	X=360/2.54	Y=390/2.54		
41		Y=3900/2.54	G=5,41,4	

RESTRAINTS

1 42 1	R=0,0,1,1,1,0	: Semua joint dalam sumbu X-Y
1 2 1	R=1,1,1,1,1,1	

CONSTRAINTS

4,40,4	C=3	I=4
5,41,4	C=3	I=4
6,42,4	C=3	I=4

FRAME

NM=8 NL=4

C MATERIAL BALOK

1	SH=M10X49	E=29000	MN=S	FY=36	: Balok Atap
2	SH=M12X279	E=29000	MN=S	FY=36	: Balok Lantai

C MATERIAL KOLOM

3	SH=M10X26	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom 9,10
4	SH=M12X210	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom 5 s/d 8
5	SH=M14X605	E=29000	MN=S	FY=36	: Kolom 1 s/d 4

C MATERIAL PENGAKU

6	SH=M8x58	E=29000	MN=S	FY=36	: Pengaku Tingkat 9,10
7	SH=M12x136	E=29000	MN=S	FY=36	: Pengaku Tingkat 5 s/d 8
8	SH=M12x190	E=29000	MN=S	FY=36	: Pengaku Tingkat 1 s/d 4

C BEBAN MATI

1	WG=0,-35.610.06852/12	: Beban Mati Atap
2	WG=0,-47.97510.06852/12	: Beban Mati Lantai

C BEBAN HIDUP

3	WG=0,-1510.06852/12	: Beban Hidup Atap
4	WG=0,-2510.06852/12	: Beban Hidup Lantai

C ELEMEN KOLOM

1,1,3		M=5	LP=1
8,3,7	G=2,7,4,4	M=5	
4,2,6	G=3,7,4,4	M=5	
29,15,19	G=3,7,4,4	M=4	
32,18,22	G=3,7,4,4	M=4	
57,31,35	G=1,7,4,4	M=3	
60,34,38	G=1,7,4,4	M=3	

C ELEMEN BALOK

5,3,4	G=8,7,4,4	M=2	NSL=2,4
6,4,5	G=8,7,4,4	M=2	NSL=2,4
7,5,6	G=8,7,4,4	M=2	NSL=2,4
68,39,40	G=1,2,2,2	M=1	NSL=1,3
69,40,41		M=1	NSL=1,3

C ELEMEN PENGAKU

2,1,4		M=8
3,2,5	G=3,7,4,4	M=8
9,3,8	G=2,7,4,4	M=8
30,15,20	G=3,7,4,4	M=7
31,18,21	G=3,7,4,4	M=7
58,31,36	G=1,7,4,4	M=6
59,34,37	G=1,7,4,4	M=6

LOADS

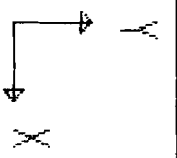
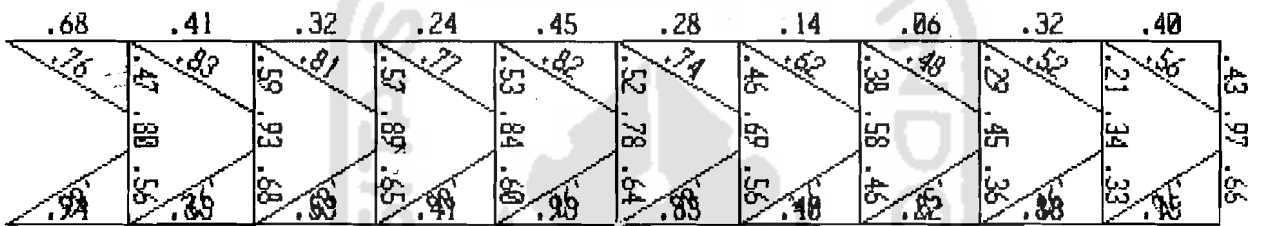
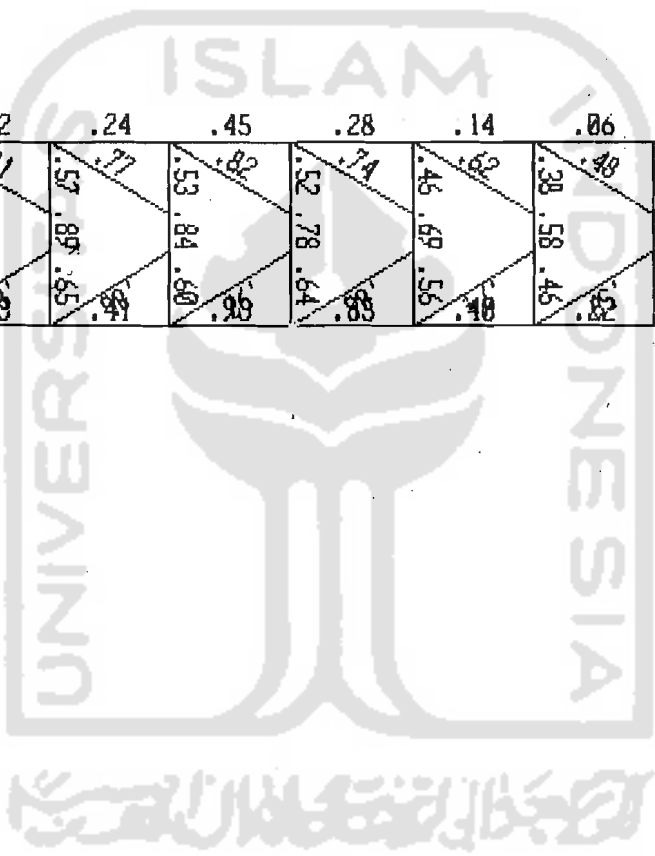
C BEBAN GEMPA

3	F=49.88*0.2248	L=3
7	F=95.372*0.2248	
11	F=143.857*0.2248	
15	F=190.743*0.2248	
19	F=238.429*0.2248	
23	F=286.115*0.2248	
27	F=333.801*0.2248	
31	F=381.487*0.2248	
35	F=429.172*0.2248	
39	F=476.858*0.2248	

CONGO

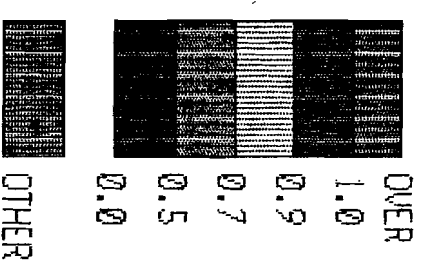
1	C=1,1,1
---	---------





EF10
SAPSTL
RATIOS

LEGEND



SAP90

Tabel 1. Gaya-gaya Batang dan Momen
Struktur Portal Rangka Penahan Momen Model 10 Tingkat
Akibat Beban Gravitasi

Elemen	Panjang Bentang (in)	Gaya Aksial (Kip)	Gaya Lintang (Kip)		Momen (Kip.in)		Keterangan		
			V ₁	V ₂	M ₁	M ₂			
B A L O K	5	393.7	13.98	81.67	-82.38	-5112.57	-5252.13	balok lantai tepi maks.	
	7	393.7	13.98	82.38	-81.67	-5252.13	-5112.57		
	12	393.7	-1.79	82.02	-82.03	-5216.77	-5220.53		
	14	393.7	-1.79	82.03	-82.02	-5220.53	-5216.77		
	19	393.7	4.06	82.27	-81.78	-5272.68	-5174.45		
	21	393.7	4.06	81.78	-82.27	-5174.45	-5272.68		
	26	393.7	-7.93	82.25	-81.8	-5209.08	-5121.48		
	28	393.7	-7.93	81.8	-82.25	-5121.48	-5209.08		
	33	393.7	4.13	82.12	-81.93	-5079.22	-5042.54		
	35	393.7	4.13	81.93	-82.12	-5042.54	-5079.22		
	40	393.7	-0.95	82.35	-81.7	-5139.86	-5012.78		
	42	393.7	-0.95	81.7	-82.35	-5012.78	-5139.86		
	47	393.7	4.54	82.54	-81.51	-5196.39	-4991.86		
	49	393.7	4.54	81.51	-82.54	-4991.86	-5196.39		
	54	393.7	-10.63	82.2	-81.85	-5011.4	-4942.41		
	56	393.7	-10.63	81.85	-82.2	-4942.41	-5011.4		
	61	393.7	9.43	81.64	-82.41	-4753.83	-4905.52		
	63	393.7	9.43	82.41	-81.64	-4905.52	-4753.83		
	68	393.7	-36.32	55.96	-57.79	-3009.54	-3369.81		balok atap tepi maks.
	70	393.7	-36.32	57.79	-55.96	-3369.81	-3009.54		
6	236.2	3.74	49.22	-49.22	-2063.84	-2063.84	b.a.tgh.maks b.l.tgh.maks		
13	236.2	1.29	49.22	-49.22	-2037.48	-2037.48			
20	236.2	0.91	49.22	-49.22	-2033.87	-2033.87			
27	236.2	-1.98	49.22	-49.22	-2067.89	-2067.89			
34	236.2	1.42	49.22	-49.22	-2130.66	-2130.66			
41	236.2	0.48	49.22	-49.22	-2117.99	-2117.99			
48	236.2	1.5	49.22	-49.22	-2104.24	-2104.24			
55	236.2	-3.76	49.22	-49.22	-2173.61	-2173.61			
62	236.2	2.63	49.22	-49.22	-2254.49	-2254.49			
69	236.2	-15.21	34.13	-34.13	-1620.45	-1620.45			

Tabel 2. Gaya-gaya Batang dan Momen
Struktur Portal Rangka Penahan Momen Model 10 Tingkat
Akibat Beban Gravitasi

Elemen	Panjang Bentang (in)	Gaya Aksial (Kip)	Gaya Lintang (Kip)		Momen (Kip.in)		Keterangan	
			V1	V2	M1	M2		
K O L O M	1	153.5	-847.62	-21.48	-21.48	1013.05	-2285.25	kolom maksimum
	2	153.5	-1324.85	12.5	12.5	-559.69	1359.03	
	3	153.5	-1324.85	-12.5	-12.5	559.69	-1359.03	
	4	153.5	-847.62	21.48	21.48	-1013.05	2285.25	
	8	153.5	-760.69	-35.46	-35.46	2827.31	-2617.93	
	9	153.5	-1187.99	22.74	22.74	-1829.27	1662.4	
	10	153.5	-1187.99	-22.74	-22.74	1829.27	-1662.4	
	11	153.5	-760.69	35.46	35.46	-2827.31	2617.93	
	15	153.5	-673.42	-33.67	-33.67	2598.84	-2570.81	
	16	153.5	-1051.48	19.66	19.66	-1520.65	1497.77	
	17	153.5	-1051.48	-19.66	-19.66	1520.65	-1497.77	
	18	153.5	-673.42	33.68	33.67	-2589.84	2570.81	
	22	153.5	-585.88	-37.72	-37.72	2701.86	-3090.53	
	23	153.5	-915.23	22.8	22.8	-1642.81	1858.23	
	24	153.5	-915.23	-22.8	-22.8	1642.81	-1858.23	
	25	153.5	-585.88	37.72	37.72	-2701.86	3090.53	
	29	153.5	-498.37	-29.79	-29.79	2118.55	-2455.5	
	30	153.5	-778.95	16.84	16.84	-1195.36	1390.98	
	31	153.5	-778.95	-16.84	-16.84	1195.36	-1390.98	
	32	153.5	-498.37	27.79	29.79	-2118.55	2455.5	
	36	153.5	-410.99	-33.92	-33.92	2623.71	-2584.41	
	37	153.5	-642.55	19.55	19.55	-1520.89	1481.4	
	38	153.5	-642.55	-19.55	-19.55	1520.89	-1481.4	
	39	153.5	-410.99	33.92	33.92	-2623.71	2584.41	
	43	153.5	-323.39	-32.97	-32.97	2555.45	-2507.47	
	44	153.5	-506.37	18.13	18.13	-1413.4	1370.55	
	45	153.5	-506.37	-18.13	-18.13	1413.4	-1370.55	
	46	153.5	-323.39	32.97	32.97	-2555.45	2507.47	
	50	153.5	-235.58	-37.51	-37.51	2688.92	-3070.68	
	51	153.5	-370.39	21.17	21.17	-1517.07	1733.26	
	52	153.5	-370.39	-21.17	-21.17	1517.07	-1733.26	
	53	153.5	-235.58	37.51	37.51	-2688.92	3070.68	
	57	153.5	-148.12	-26.88	-26.88	1940.72	-2187.05	
	58	153.5	-234.06	14.3	14.3	-1035.54	1159.97	
59	153.5	-234.06	-14.3	-14.3	1035.54	-1159.97		
60	153.5	-148.12	26.88	26.88	-1940.72	2187.05		
64	153.5	-61.22	-36.32	-36.32	2566.78	-3009.54		
65	153.5	-97.18	21.1	21.1	-1491.06	1749.3		
66	153.5	-97.18	-21.1	-21.1	1491.06	-1749.35		
67	153.5	-61.22	36.32	36.32	-2566.78	3009.54		

Tabel 3. Gaya-gaya Batang dan Momen
Struktur Portal Rangka Penahan Momen Model 10 Tingkat
Akibat Beban Gempa

Elemen	Panjang Bentang (in)	Gaya Aksial (Kip)	Gaya Lintang (Kip)		Momen (Kip.in)		Keterangan		
			V1	V2	M1	M2			
BALOK	5	393.7	16.7	58.05	-110.47	-268.62	-9705.94	balok lantai tepi maks.	
	7	393.7	7.68	59.02	-105.03	-658.41	-9716.35		
	12	393.7	-7.51	53.58	-110.47	571.12	-10628.82		
	14	393.7	-4.18	53.45	-110.6	375.77	-10874.87		
	19	393.7	-4.84	53.97	-110.08	482.4	-10560.95		
	21	393.7	-0.19	53.03	-111.02	458.81	-10956.13		
	26	393.7	-23.39	55.44	-108.61	290.24	-10560.95		
	28	393.7	-7.84	54.44	-109.61	229.23	-10629.46		
	33	393.7	-12.11	58.12	-105.93	-89.97	-9502.98		
	35	393.7	-1.49	57.3	-106.75	-242.69	-9977.41		
	40	393.7	-21.62	61.87	-102.18	-868.8	-8804.75		
	42	393.7	-5.65	0	-103.67	60.38	-9357.4		
	47	393.7	-15.55	66.13	-97.92	-1775.2	-8032.84		
	49	393.7	0.07	64	-100.05	-1557.34	-8653.45		
	54	393.7	-48.15	69.2	-94.85	-2118.48	-7167.35		
	56	393.7	-22.62	68.8	-95.25	-2276.92	-7485.19		
	61	393.7	-15.63	72.88	-91.17	-2443.37	-6045.49		
	63	393.7	4.41	75.75	-88.3	-3256.83	-5728.22		
	68	393.7	-58.04	53.42	-60.33	-2436.1	-3797.76		balok atap tepi maks.
	70	393.7	-40.05	55.84	-57.91	-2999.16	-3405.11		
6	236.2	2.36	23.17	-75.26	974.61	-5177.56	balok lantai tengah maks.		
13	236.2	-2.81	17.31	-81.12	1701.27	-5834.6			
20	236.2	-4.93	17.1	-81.33	1731.81	-5855.94			
27	236.2	-10.37	19.12	-79.31	1457.37	-5652.71			
34	236.2	-8.89	22.75	-75.68	968.48	-5282.53			
41	236.2	-11.98	26.25	-72.18	567.83	-4857.99			
48	236.2	-12.1	30.32	-68.11	112.86	-4351.29			
55	236.2	-24.88	35.23	-63.2	-590.3	-3894.43	balok atap tengah maks.		
62	236.2	-15.65	41.52	-56.91	-1521.24	-3338.68			
69	236.2	-28.74	31.83	-36.42	-1356.45	-1897.51			

Tabel 4. Gaya-gaya Batang dan Momen
Struktur Portal Rangka Penahan Momen Model 10 Tingkat
Akibat Beban Gempa

Elemen	Panjang Bentang (in)	Gaya Aksial (Kip)	Gaya Lintang (Kip)		Momen (Kip.in)		Keterangan	
			V1	V2	M1	M2		
K O L O M	1	153.5	-602.78	28.65	28.65	-5784.14	-1384.74	kolom maks.
	2	153.5	-1252.1	72.45	72.45	-7782.78	3342.1	
	3	153.5	-1291.66	48.29	48.29	-6705.54	709.74	
	4	153.5	-988.19	69.86	69.86	-7688.52	3038.55	
	8	153.5	-544.72	7.62	7.62	-1116.18	53.2	
	9	153.5	-1122.73	86.79	86.79	-7338.45	5988.14	
	10	153.5	-1157.38	42.98	42.98	-3809.41	2789.43	
	11	153.5	-883.16	77.54	77.54	-6677.8	5228.41	
	15	153.5	-491.15	6.71	6.71	-517.92	512.24	
	16	153.5	-994.94	82.1	82.1	-6341.95	6264.24	
	17	153.5	-1022.82	44.34	44.34	-3420.95	3386.87	
	18	153.5	-772.55	73.37	73.37	-5646.46	5618.58	
	22	153.5	-437.17	-1.07	-1.07	29.84	-134.56	
	23	153.5	-867.77	82.19	82.19	-6028.27	6591.31	
	24	153.5	-888.45	39.6	39.6	-2927.71	3152.9	
	25	153.5	-661.53	73.18	73.18	-5337.62	5898.07	
	29	153.5	-381.73	5.5	5.5	-424.8	419.04	
	30	153.5	-740.05	69.17	69.17	-5041.5	5578.66	
	31	153.5	-754.69	37.07	37.07	-2729.03	2963.23	
	32	153.5	-551.93	65.33	65.33	-4731.39	5300.21	
	36	153.5	-323.61	-3.43	-3.43	509.01	-18.04	
	37	153.5	-611.36	65.95	65.95	-4892.8	5234.03	
	38	153.5	-621.72	29.67	29.67	-2076.61	2478.83	
	39	153.5	-445.18	63.85	63.85	-4677.2	5125.89	
	43	153.5	-261.75	-7.05	-7.05	850.76	-231.76	
	44	153.5	-482.94	56.31	56.31	-4138.58	4507.71	
	45	153.5	-489.15	23.34	23.34	-1541.48	2042.64	
	46	153.5	-341.51	58.19	58.19	-4231.52	4703.51	
	50	153.5	-195.61	-20.95	-20.95	1543.45	-1672.6	
	51	153.5	-354.7	52.86	52.86	-3637.99	4478.93	
	52	153.5	-357.04	11.17	11.17	-751.3	963.65	
	53	153.5	-241.46	58.26	58.26	-3949.94	4995.8	
	57	153.5	-126.41	-6.45	-6.45	445.89	-544.19	
	58	153.5	-224.62	29.6	29.6	-2098.13	2446.06	
59	153.5	-225.04	8.9	8.9	-653.87	713.2		
60	153.5	-146.21	35.65	35.65	-2489.38	2983.79		
64	153.5	-53.54	-28.68	28.68	1899.18	-2504.17		
65	153.5	-91.93	29.62	29.62	-2078.18	2469.27		
66	153.5	-92.38	-11.15	-11.15	631.35	-1081.09		
67	153.5	-57.91	40.05	40.05	-2744.43	3405.11		

Tabel 5. Gaya-gaya Batang dan Momen
Struktur Portal Rangka Diperkaku Konsentrik Model 10 Tingkat
Akibat Beban Gempa

Elemen	Panjang Bentang (in)	Gaya Aksial (Kip)	Gaya Lintang (Kip)		Momen (Kip.in)		Keterangan	
			V1	V2	M1	M2		
B A L O K	5	118.11	-217.06	21.6	-27.61	-244.01	-599.17	
	11	118.11	-262.69	22.58	-26.63	-289.6	-528.52	
	17	118.11	-254.33	22.54	-26.67	-291.58	-535.52	
	23	118.11	-245.09	22.57	-26.65	-297.63	-538.5	
	29	118.11	-230.24	22.61	-26.6	-299.4	-535.26	
	35	118.11	-208.84	22.7	-26.51	-313.82	538.97	
	41	118.11	180.74	22.98	-26.23	-341.86	-533.57	
	47	118.11	-153.01	22.94	-26.27	-341.92	-538.3	
	53	118.11	-117.34	22.26	-26.95	-299.64	-576.78	
	59	118.11	-78.07	14.89	-19.23	-162.56	-418.76	b.atap maks.
	6	118.11	238.22	21.99	-27.23	-391.51	-701.22	b.lantai maks
	12	118.11	279.83	22.76	-26.45	-447.47	-665.35	
	18	118.11	260.91	22.67	-26.54	-437.77	-666.16	
	24	118.11	238.36	22.79	-26.42	-438.77	-653.39	
	30	118.11	216.76	23.71	-25.5	-489.84	-595.32	
	36	118.11	183.41	23.63	-25.59	-476.11	-592.03	
	42	118.11	147.67	23.75	-25.47	-473.39	-575.16	
	48	118.11	103.18	24.02	-25.2	-476.86	-546.7	
	54	118.11	54.08	25.87	-23.34	-551.23	-401.6	
	60	118.11	-2.53	18.6	-15.53	-397.53	-216.23	
K O L O M	1	153.54	1664.39	47.11	47.11	-7815.05	-581.99	
	7	153.54	1354.69	0.13	0.13	-733.92	-714.31	
	13	153.54	1064.07	2.41	2.41	-806.64	-436.47	
	19	153.54	794.14	1.72	1.72	-537.79	-273.53	
	25	153.54	549.87	-0.14	-0.14	-180.94	-201.85	
	31	153.54	341.43	-0.02	-0.02	-105.13	-108.77	
	37	153.54	174.54	-0.07	-0.07	2.73	-8.13	
	43	153.54	55.26	-2.69	-2.69	158.16	-254.71	
	49	153.54	-6.93	-0.54	-0.54	30.56	-52.28	
	55	153.54	-14.89	-1.98	-1.98	140.92	-162.56	
	4	153.54	-2568.92	56.59	56.59	-8500.15	188.76	kolom maks.
	10	153.54	-2160.99	5.12	5.12	-992.08	-206.25	
	16	153.54	-1771.98	8.68	8.68	-1290.14	41.86	
	22	153.54	-1403.53	8.99	8.99	-1026.72	354.07	
	28	153.54	-1059.95	4.43	4.43	-482.95	197.01	
	34	153.54	-753.26	5.46	5.46	-532.57	306.01	
	40	153.54	-488.1	5.02	5.02	-405.91	365.64	
	46	153.54	-270.08	4.83	4.83	-304.04	438.26	
52	153.54	-106.92	1.69	1.69	-106.58	152.55		
58	153.54	-15.53	2.53	2.53	-171.78	216.23		

Tabel 6. Gaya-gaya Batang dan Momen
Struktur Portal Rangka Diperkaku Konsentrik Model 10 Tingkat
Akibat Beban Gempa

Elemen	Panjang Bentang (in)	Gaya Aksial (Kip)	Gaya Lintang (Kip)		Momen (Kip.in)		Keterangan	
			V ₁	V ₂	M ₁	M ₂		
P E N G A K U	2	193.7	339.75	2.12	2.12	-286.26	124.02	pengaku maksimum.
	8	193.7	416.75	-1.6	-1.6	395.94	85.73	
	14	193.7	393.95	-1.56	-1.56	381.93	80.34	
	20	193.7	367.7	-1.68	-1.68	392.9	67.58	
	26	193.7	335.93	-0.94	-0.94	205.04	22.54	
	32	193.7	290.77	-0.96	-0.96	202.68	17.32	
	38	193.7	238.42	-1	-1	202.31	7.74	
	44	193.7	178.81	-0.88	-0.88	175.57	5.6	
	50	193.7	107.17	-0.31	-0.31	56.65	-3.31	
	56	193.7	37.55	-0.75	-0.75	106.45	-39.04	
	3	193.7	-402	1.7	1.7	-245.89	83.64	
	9	193.7	-478.38	-2.5	-2.5	479.63	-4.67	
	15	193.7	-455.82	-2.07	-2.07	418.55	17.41	
	21	193.7	-429.89	-1.91	-1.91	402.41	32.16	
	27	193.7	-399.5	-0.83	-0.83	183.63	22.89	
	33	193.7	-354.41	-0.46	-0.46	134.26	45.53	
	39	193.7	-301.98	-0.35	-0.35	119.9	52.45	
	45	193.7	-242.77	-0.2	-0.2	94.52	55.84	
51	193.7	-174.18	0.15	0.16	-1.86	28.86		
57	193.7	-86.4	0.71	0.71	-77.26	60.26		

Tabel 7. Gaya-gaya Batang dan Momen
Struktur Portal Rangka Diperkaku Eksentrik Model 10 Tingkat
Akibat Beban Gempa

Elemen	Panjang Bentang (in)	Gaya Aksial (Kip)	Gaya Lintang (Kip)		Momen (Kip.in)		Keterangan	
			V1	V2	M1	M2		
B A L O K	5	94.5	-229.55	64.91	25.54	26.9	4299.79	
	12	94.5	-274.71	86.59	47.22	-768.58	5552.94	
	19	94.5	-268.06	83.25	43.88	-706.54	5299.46	
	26	94.5	-256.46	78.13	38.75	-584.14	4937.69	
	33	94.5	-235.64	73.28	33.91	-183.6	4880.5	
	40	94.5	-214.69	67.22	27.85	-184.11	4307.52	
	47	94.5	-186.76	59.58	20.21	-209.36	3560.59	
	54	94.5	-153.51	49.54	10.17	-94.77	2725.86	
	61	94.5	-120.74	36.56	-2.81	346.58	1941.17	
	68	94.5	-76.6	19.38	-7.92	-91.83	450.03	
	6	47.2	-6.13	-290.19	-309.88	6744.64	-7430.3	
	13	47.2	-10.81	-344.14	-363.83	8051.15	-8672.61	b.lantai maks
	20	47.2	-15.42	-330.42	-350.11	7749.04	-8326.54	
	27	47.2	-20.37	-310.37	-330.05	7293.58	-7834.48	
	34	47.2	-28.05	-280.61	-300.29	6400.64	-7321.4	
	41	47.2	-32.57	-248.07	-267.76	5703.03	-6481.86	
	48	47.2	-37.15	-205.94	-225.63	4771.79	-5422.9	
	55	47.2	-41.43	-158.58	-178.27	3708.87	-4248.29	
	62	47.2	-56.5	-103.87	-123.56	2155.95	-3216.3	
	69	47.2	-51.49	-40.09	-53.74	959.06	-1257.58	b.atap maks
7	94.5	256.87	73.61	34.23	-5190.9	-96.11		
14	94.5	291.71	93.53	54.16	-6367.17	610		
21	94.5	275.11	88.49	49.12	-6046.09	455.43		
28	94.5	253.31	82.65	43.28	-5633.18	316.16		
35	94.5	222.56	86.93	47.56	-5982.84	370.97		
42	94.5	190.49	77.81	38.44	-5260.28	231.8		
49	94.5	151.65	66.36	26.99	-4341.15	69.11		
56	94.5	109.07	54.35	14.97	-3360.36	-85.39		
63	94.5	51.19	48.78	9.4	-3046.49	-297.84		
70	94.5	-0.52	22.39	-4.91	-855.07	-29.43		

Tabel 8. Gaya-gaya Batang dan Momen
Struktur Portal Rangka Diperkaku Eksentrik Model 10 Tingkat
Akibat Beban Gempa

Elemen	Panjang Bentang (in)	Gaya Aksial (Kip)	Gaya Lintang (Kip)		Momen (Kip.in)		Keterangan	
			V1	V2	M1	M2		
K O L O M	1	153.5	1614.92	35.65	35.65	-6621.97	-1148.6	kolom maks
	8	153.5	1288.47	-9.92	-9.92	-132.16	-1655.56	
	15	153.5	1000.76	-9.3	-9.3	88.61	-1338.91	
	22	153.5	734.88	-9.49	-9.49	274.69	-1182.36	
	29	153.5	498.49	-3.5	-3.5	38.29	-499.17	
	36	153.5	295.85	-3.58	-3.58	181	-367.99	
	43	153.5	136.92	-2.81	-2.81	206.38	-224.46	
	50	153.5	27.75	-3.17	-3.17	265.96	-220.21	
	57	153.5	-23.77	0.34	0.34	-24.93	26.83	
	64	153.5	-19.38	-0.51	-0.51	-14.11	-91.83	
	4	153.5	-2501.28	36.92	36.92	-6704.05	-1035.7	
	11	153.5	-2078.16	-8.73	-8.73	-202.36	-1543.5	
	18	153.5	-1693.71	-7.55	-7.55	-48.93	-1207.66	
	25	153.5	-1330.13	-6.11	-6.11	71.6	-866.92	
	32	153.5	-986.19	-3.41	-3.41	1.67	-522.43	
	39	153.5	-688.18	-3.92	-3.92	224.3	-377.05	
	46	153.5	-434.62	-2.23	-2.23	172.22	-169.91	
	53	153.5	-299	-1.08	-1.08	140.22	-25.87	
60	153.5	-71.64	0.3	0.3	-29.36	16.95		
67	153.5	-4.91	0.52	0.52	-50.14	29.43		
P E N G A K U	2	180.3	385.99	24.81	24.81	-2027.43	2444.85	pengaku maksimum
	9	180.3	471.62	19.64	19.64	-1043.34	2498.58	
	16	180.3	451.19	19	19	-975.59	2449.58	
	23	180.3	421.07	18.1	18.1	-907.06	2355.89	
	30	180.3	376.66	11.96	11.96	-636.52	1520.14	
	37	180.3	330.44	10.49	10.49	-496.58	1395.51	
	44	180.3	271.02	8.88	8.88	-390.58	1395.51	
	51	180.3	202.46	7.01	7.01	-281.06	983.01	
	58	180.3	119.74	1.75	1.75	-100.5	214.78	
	65	180.3	40.5	4.52	4.52	-305.64	509.03	
	3	180.3	-464.43	23	23	-1906.49	2239.4	
	10	180.3	-548.06	17.94	17.94	-929.45	2305.44	
	17	180.3	-525.8	17.56	17.56	-884.57	2280.45	
	24	180.3	-494.91	16.78	16.78	-823.83	2201.3	
	31	180.3	-461.12	10.49	10.49	-552.43	1338.56	
	38	180.3	-411.21	8.86	8.86	-375.76	1221.59	
	45	180.3	-347.63	7.76	7.76	-317.47	1081.75	
	52	180.3	-276.99	6.26	6.26	-241.03	887.94	
59	180.3	-203.21	1.4	1.4	-81.9	169.83		
66	180.3	-91.55	3.51	3.51	-230.75	402.52		

Contoh Perhitungan Elemen-elemen
Struktur Portal Rangka Penahan Momen

A. Balok atap tepi (nomor elemen 68).

$$M_1 = -2436,1 \text{ Kip in.}$$

$$M_2 = -3797,76 \text{ Kip in.}$$

$$P = -58,04 \text{ Kip}$$

$$\text{Panjang bentang} = 10\text{m} = 393,7 \text{ in.}$$

$$\text{Modulus elastis baja (Es)} = 29000 \text{ Ksi.}$$

$$\text{Tegangan leleh baja (Fy)} = 36 \text{ Ksi}$$

Profil balok yang digunakan W14 x 132

$$\text{Data profil : } A = 38,8 \text{ in}^2 \quad r_x = 6,28 \text{ in}$$

$$S_x = 209 \text{ in}^3 \quad r_y = 3,76 \text{ in}$$

$$b_f = 14,725 \text{ in} \quad r_t = 4,05 \text{ in}$$

$$t_f = 1,03 \text{ in} \quad d/A_f = 0,97$$

$$b_f/2t_f = 7,1 \quad d/t_w = 22,7$$

Cek batang kompak.

$$b_f/2t_f = 7,1 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10,82 \text{ in}$$

$$d/t_w = 22,7 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{640}{\sqrt{36}} = 106,7 \text{ in}$$

- $L = 393,7 \text{ in}$

$$Lc_1 = \frac{76 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{76 \cdot 14,725}{\sqrt{36}} = 186,52 \text{ in}$$

$$Lc_2 = \frac{20000}{\frac{d}{A_f} \cdot F_y} = \frac{20000}{0,97 \cdot 36} = 572,74 \text{ in}$$

$$Lc = 186,52 \text{ in}$$

$$L > Lc \quad , \quad Lu_1 = Lc_2$$

$$Lu_2 = rt \sqrt{\frac{102.000 \cdot cb}{F_y}}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \text{positif, kurva momen berupa kurva ganda}$$

$$cb = 1,75 + 1,05 \left(\pm \frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3$$

$$= 1,75 + 1,05 \left(\frac{2436,1}{3797,76} \right) + 0,3 \left(\frac{2436,1}{3797,76} \right)^2 = 2,55 > 2,3$$

$$cb = 2,3$$

$$Lu_2 = 4,05 \sqrt{\frac{102.000 \cdot 2,3}{36}} = 326,94 \text{ in}$$

$$Lc < L < Lu \quad , \quad \text{maka } Fbx = 0,6 \cdot F_y = 0,6 \cdot 36 = 21,6 \text{ Ksi}$$

$$fbx = \frac{M}{S_x} = \frac{3797,76}{209} = 18,1711 \text{ ksi}$$

$$fa = \frac{P}{A} = \frac{58,04}{38,8} = 1,4959 \text{ ksi}$$

Asumsi balok sendi – sendi $K = 1$

$$\frac{k \cdot l}{r_y} = \frac{393,7}{3,76} = 104,707$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E_s}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 29000}{36}} = 126,1$$

$$\frac{k \cdot l}{r_y} < C_c \text{ (in elastic)}$$

$$F_a = \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(kl/r)^2}{C_c^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(kl/r)}{8 C_c} - \frac{1(kl/r)^3}{8 C_c^3}} \cdot F_y$$

$$= \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(104,707)^2}{126,1^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(104,707)}{126,1} - \frac{1(104,707)^3}{126,1^3}} \cdot 36 = 12,3731 \text{ Ksi}$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{1,4959}{12,3731} = 0,1209 < 0,15$$

cek persamaan interaksi

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \leq 1$$

$$\frac{1,6575}{12,3012} + \frac{18,1711}{21,6} = 0,96 < 1 \quad \text{aman} \sim$$

B. Balok atap tengah (nomor elemen 69).

$$M_1 = -1356,45 \text{ Kip in.}$$

$$M_2 = -1897,51 \text{ Kip in.}$$

$$P = -28,74 \text{ Kip}$$

$$\text{Panjang bentang} = 6\text{m} = 236,2 \text{ in.}$$

$$\text{Modulus elastis baja (Es)} = 29000 \text{ Ksi.}$$

$$\text{Tegangan leleh baja (Fy)} = 36 \text{ Ksi}$$

Profil balok yang digunakan W12 x 72

Data profil :	A	= 21,1 in ²	rx	= 5,31 in
	Sx	= 97,4 in ³	ry	= 3,04 in
	bf	= 12,04 in	rt	= 3,29 in
	tf	= 0,67 in	d/Af	= 1,52
	bf/2tf	= 9	d/tw	= 28,5

Cek batang kompak.

$$bf/2tf = 9 < \frac{65}{\sqrt{Fy}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10,82 \text{ in}$$

$$d/tw = 28,5 < \frac{65}{\sqrt{Fy}} = \frac{640}{\sqrt{36}} = 106,7 \text{ in}$$

• $L = 236,2$ in

$$L_c = \frac{76 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{76 \cdot 12,04}{\sqrt{36}} = 152,507 \text{ in}$$

$$L_{c2} = \frac{20000}{\frac{d}{A_f} \cdot F_y} = \frac{20000}{1,52 \cdot 36} = 365,497 \text{ in}$$

$$L_c = 152,507 \text{ in}$$

$$L > L_c \quad , \quad Lu_1 = L_c$$

$$Lu_2 = rt \sqrt{\frac{102.000 \cdot cb}{F_y}}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \text{positif, kurva momen berupa kurva ganda}$$

$$cb = 1,75 + 1,05 \left(\pm \frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3$$

$$= 1,75 + 1,05 \left(\frac{1356,45}{1897,51} \right) + 0,3 \left(\frac{1356,45}{1897,51} \right)^2 = 2,65 > 2,3$$

$$cb = 2,3$$

$$Lu_2 = 3,29 \sqrt{\frac{102.000 \cdot 2,3}{36}} = 265,588 \text{ in}$$

$$L_c < L < Lu \quad , \quad \text{maka } F_{bx} = 0,6 \cdot F_y = 0,6 \cdot 36 = 21,6 \text{ Ksi}$$

$$f_{bx} = \frac{M}{S_x} = \frac{1897,51}{97,4} = 19,4816 \text{ ksi}$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{28,74}{21,1} = 1,3621 \text{ ksi}$$

$$\text{Asumsi balok sendi - sendi } K = 1$$

$$\frac{k \cdot l}{r_y} = \frac{236,2}{3,04} = 77,6974$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E_s}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 29000}{36}} = 126,1$$

$$\frac{k \cdot l}{r_y} < C_c \text{ (in elastic)}$$

$$F_a = \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(kl/r)^2}{C_c^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(kl/r)}{8 C_c} - \frac{1(kl/r)^3}{8 C_c^3}} \cdot F_y$$

$$= \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(77,6974)^2}{126,1^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(77,6974)}{8 \cdot 126,1} - \frac{1(77,6974)^3}{8 \cdot 126,1^3}} \cdot 36 = 15,6096 \text{ Ksi}$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{1,3621}{15,6096} = 0,0873 < 0,15$$

cek persamaan interaksi

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \leq 1$$

$$\frac{1,3621}{15,6096} + \frac{19,4816}{21,6} = 0,99 < 1 \quad \text{aman} \sim$$

C. Balok lantai tepi (nomor elemen 21).

$$M_1 = 458,81 \text{ Kip in.}$$

$$M_2 = -10956,13 \text{ Kip in.}$$

$$P = -0,19 \text{ Kip.}$$

$$\text{Panjang bentang} = 10\text{m} = 393,7 \text{ in.}$$

$$\text{Modulus elastis baja (Es)} = 29000 \text{ Ksi.}$$

$$\text{Tegangan leleh baja (Fy)} = 36 \text{ Ksi}$$

Profil balok yang digunakan W14 x 342

$$\text{Data profil : } A = 101 \text{ in}^2 \quad r_x = 6,98 \text{ in}$$

$$S_x = 559 \text{ in}^3 \quad r_y = 4,24 \text{ in}$$

$$b_f = 16,36 \text{ in} \quad r_t = 4,54 \text{ in}$$

$$t_f = 2,47 \text{ in} \quad d/A_f = 0,43$$

$$b_f/2t_f = 3,3 \quad d/t_w = 11,4$$

Cek batang kompak.

$$b_f/2t_f = 3,3 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10,82 \text{ in}$$

$$d/t_w = 11,4 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{640}{\sqrt{36}} = 106,7 \text{ in}$$

• $L = 393,7 \text{ in}$

$$Lc_1 = \frac{76 \cdot bf}{\sqrt{Fy}} = \frac{76 \cdot 16,36}{\sqrt{36}} = 207,227 \text{ in}$$

$$Lc_2 = \frac{20000}{\frac{d}{Af} \cdot Fy} = \frac{20000}{0,43 \cdot 36} = 1291,99 \text{ in}$$

$$Lc = 207,227 \text{ in}$$

$$L > Lc \quad , \quad Lu_1 = Lc$$

$$Lu_2 = rt \sqrt{\frac{102.000 \cdot cb}{Fy}}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \text{negatif, kurva momen berupa kurva tunggal}$$

$$cb = 1,75 + 1,05 \left(\pm \frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3$$

$$= 1,75 + 1,05 \left(\frac{458,81}{10956,13} \right) + 0,3 \left(\frac{458,81}{10956,13} \right)^2 = 1,7066$$

$$Lu_2 = 3,29 \sqrt{\frac{102.000 \cdot 1,7066}{36}} = 228,776 \text{ in}$$

$$Lc < L < Lu \quad , \quad \text{maka } Fbx = 0,6 \cdot Fy = 0,6 \cdot 36 = 21,6 \text{ Ksi}$$

$$fbx = \frac{M}{Sx} = \frac{10956,13}{559} = 19,5995 \text{ Ksi}$$

$$fa = \frac{P}{A} = \frac{0,19}{101} = 0,0019 \text{ ksi}$$

$$\text{Asumsi balok sendi - sendi } K = 1$$

$$\frac{k \cdot l}{ry} = \frac{393,7}{4,24} = 92,854$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot Es}{Fy}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 29000}{36}} = 126,1$$

$$\frac{k \cdot l}{r_y} < C_c \text{ (in elastic)}$$

$$F_a = \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(kl/r)^2}{C_c^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(kl/r)}{8 C_c} - \frac{1(kl/r)^3}{8 C_c^3}} \cdot F_y$$

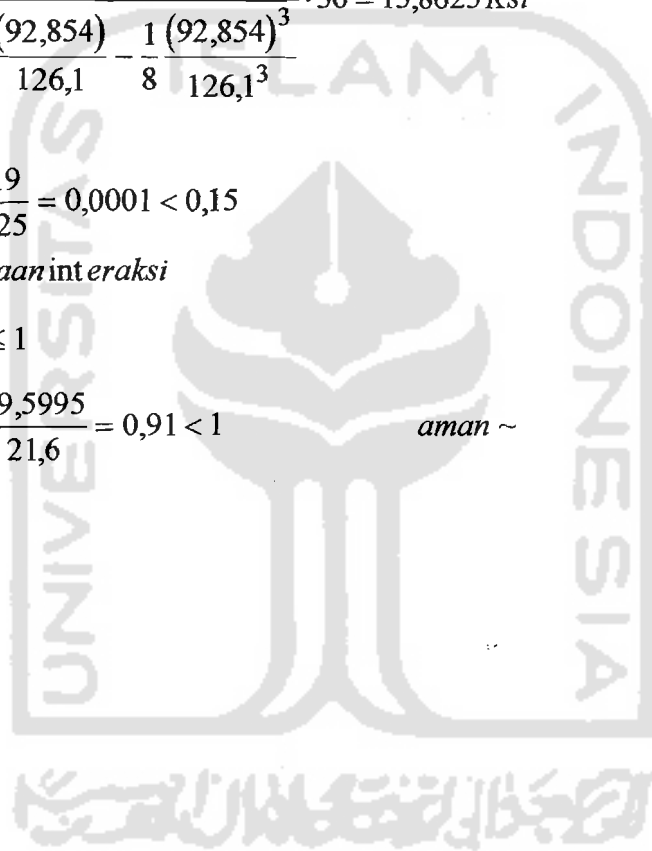
$$= \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(92,854)^2}{126,1^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(92,854)}{8 \cdot 126,1} - \frac{1(92,854)^3}{8 \cdot 126,1^3}} \cdot 36 = 13,8625 \text{ Ksi}$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{0,0019}{13,8625} = 0,0001 < 0,15$$

cek persamaan interaksi

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \leq 1$$

$$\frac{0,0019}{13,8625} + \frac{19,5995}{21,6} = 0,91 < 1 \quad \text{aman} \sim$$



D. Balok lantai tengah (nomor elemen 20).

$$M_1 = 1731,81 \text{ Kip in.}$$

$$M_2 = -5855,94 \text{ Kip in.}$$

$$P = -4,93 \text{ Kip.}$$

$$\text{Panjang bentang} = 6\text{m} = 236,2 \text{ in.}$$

$$\text{Modulus elastis baja (Es)} = 29000 \text{ Ksi.}$$

$$\text{Tegangan leleh baja (Fy)} = 36 \text{ Ksi}$$

Profil balok yang digunakan W12 x 210

Data profil :	$A = 61,8 \text{ in}^2$	$r_x = 5,89 \text{ in}$
	$S_x = 292 \text{ in}^3$	$r_y = 3,28 \text{ in}$
	$bf = 12,79 \text{ in}$	$rt = 3,53 \text{ in}$
	$tf = 1,9 \text{ in}$	$d/A_f = 0,61$
	$bf/2tf = 3,4$	$d/tw = 12,5$

Cek batang kompak.

$$bf/2tf = 3,4 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10,82 \text{ in}$$

$$d/tw = 12,5 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{640}{\sqrt{36}} = 106,7 \text{ in}$$

• $L = 236,2 \text{ in}$

$$Lc_1 = \frac{76 \cdot bf}{\sqrt{Fy}} = \frac{76 \cdot 12,79}{\sqrt{36}} = 162,01 \text{ in}$$

$$Lc_2 = \frac{20000}{\frac{d}{Af} \cdot Fy} = \frac{20000}{0,61 \cdot 36} = 910,75 \text{ in}$$

$$Lc = 162,01 \text{ in}$$

$$L > Lc \quad , \quad Lu_1 = Lc_2$$

$$Lu_2 = rt \sqrt{\frac{102.000 \cdot cb}{Fy}}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \text{negatif, kurva momen berupa kurva tunggal}$$

$$cb = 1,75 + 1,05 \left(\pm \frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2,3$$

$$= 1,75 + 1,05 \left(\frac{1731,81}{5855,94} \right) + 0,3 \left(\frac{1731,81}{5855,94} \right)^2 = 1,4657$$

$$Lu_2 = 3,53 \sqrt{\frac{102.000 \cdot 1,4657}{36}} = 227,48 \text{ in}$$

$$Lc < L < Lu \quad , \quad \text{maka } Fbx = 0,6 \cdot Fy = 0,6 \cdot 36 = 21,6 \text{ Ksi}$$

$$fbx = \frac{M}{Sx} = \frac{5855,94}{292} = 20,0546 \text{ Ksi}$$

$$fa = \frac{P}{A} = \frac{4,93}{61,8} = 0,0798 \text{ ksi}$$

Asumsi balok sendi – sendi $K = 1$

$$\frac{k \cdot l}{ry} = \frac{236,2}{3,28} = 72,012$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot Es}{Fy}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 29000}{36}} = 126,1$$

$$\frac{k \cdot l}{r_y} < C_c \text{ (in elastic)}$$

$$F_a = \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(kl/r)^2}{C_c^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(kl/r)}{8 C_c} - \frac{1(kl/r)^3}{8 C_c^3}} \cdot F_y$$

$$= \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(72,012)^2}{126,1^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(72,012)}{8 \cdot 126,1} - \frac{1(72,012)^3}{8 \cdot 126,1^3}} \cdot 36 = 16,2206 \text{ Ksi}$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{0,0798}{16,2206} = 0,0049 < 0,15$$

cek persamaan interaksi

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \leq 1$$

$$\frac{0,0798}{16,2206} + \frac{20,0546}{21,6} = 0,94 < 1 \quad \text{aman} \sim$$

E. Kolom (nomor elemen 2).

$$M_1 = 3342,1 \text{ Kip in.}$$

$$M_2 = -7782,76 \text{ Kip in.}$$

$$P = -1252,1 \text{ Kip}$$

$$\text{Panjang bentang} = 3,9\text{m} = 153,54 \text{ in.}$$

$$\text{Modulus elastis baja (Es)} = 29000 \text{ Ksi.}$$

$$\text{Tegangan leleh baja (Fy)} = 36 \text{ Ksi}$$

Profil balok yang digunakan W14 x 426

Data profil :	$A = 125 \text{ in}^2$	$r_x = 7,26 \text{ in}$
	$S_x = 707 \text{ in}^3$	$r_y = 4,34 \text{ in}$
	$bf = 16,695 \text{ in}$	$rt = 4,64 \text{ in}$
	$tf = 3,035 \text{ in}$	$d/A_f = 0,37$
	$bf/2tf = 2,8$	$d/tw = 10$

Cek batang kompak.

$$bf/2tf = 2,8 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10,82 \text{ in}$$

$$d/tw = 10 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{640}{\sqrt{36}} = 106,7 \text{ in}$$

- Sebagai kolom

Asumsi kolom jepit-sendi $K = 0,8$

$$\frac{Kx \cdot Lx}{rx} = \frac{0,8 \cdot 153,54}{7,26} = 16,919$$

$$\frac{Ky \cdot Ly}{ry} = \frac{0,8 \cdot 153,54}{4,34} = 28,30 \text{ (menentukan)}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot Es}{Fy}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 29000}{36}} = 126,1$$

$$\frac{kl}{r} < Cc \text{ (inelastik)}$$

$$Fa = \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(kl/r)^2}{Cc^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(kl/r)}{8Cc} - \frac{1(kl/r)^3}{8Cc^3}} \cdot Fy$$

$$= \frac{\left[1 - 0,5 \frac{(28,30)^2}{126,1^2} \right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(28,30)}{8 \cdot 126,1} - \frac{1(28,30)^3}{8 \cdot 126,1^3}} \cdot 36 = 20,0602 \text{ Ksi}$$

$$fa = \frac{P}{A} = \frac{1252,1}{125} = 10,0168 \text{ Ksi}$$

$$fbx = \frac{M}{Sx} = \frac{7782,76}{707} = 11,0081 \text{ Ksi}$$

$$\frac{fa}{Fa} = \frac{10,0168}{20,0602} = 0,4993 > 0,15$$

- Sebagai balok

$$Lc_1 = \frac{76 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{76 \cdot 16,695}{\sqrt{36}} = 211,47 \text{ in}$$

$$Lc_2 = \frac{20000}{d / af \cdot F_y} = \frac{20000}{0,37 \cdot 36} = 1501,50 \text{ in}$$

$$L < Lc \quad , \text{ maka } F_{bx} = 0,66 \cdot F_y = 0,66 \cdot 36 = 23,76 \text{ ksi}$$

Pembesaran momen

$$\frac{K_b \cdot L_b}{r_b} = \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} = 16,919$$

$$F'_{ex} = \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot E}{23(k_x L_x / r_x)^2} = \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot 29000}{23(16,919)^2} = 521,677$$

$$\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) = \left(1 - \frac{10,0168}{521,677}\right) = 0,9808$$

$$C_{mx} = 0,85 \text{ (portal tak dikekang)}$$

Cek persamaan int eraksi

$$a. \quad \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} \cdot f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) \cdot F_{bx}} \leq 1$$

$$0,4993 + \frac{0,85 \cdot 11,0081}{0,9808 \cdot 23,76} = 0,90 < 1 \quad \text{aman}$$

$$b. \quad \frac{f_a}{0,6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \leq 1$$

$$\frac{10,0168}{0,6 \cdot 36} + \frac{11,0081}{23,76} = 0,93 < 1 \quad \text{aman}$$