

TUGAS AKHIR

**ANALISIS NON LINIER EFEK P-DELTA
PADA KOLOM STRUKTUR BETON BERTULANG**



Disusun oleh :

Ari Wijoyo

No. Mhs : 92310172

NIRM : 920051013114120172

Saipul Anwar

No. Mhs : 92310270

NIRM : 920051013114120270

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

TUGAS AKHIR

**ANALISIS NON LINIER EFEK P-DELTA
PADA KOLOM STRUKTUR BETON BERTULANG**

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

Disusun oleh :

Ari Wijoyo

No. Mhs : 92310172

NIRM : 920051013114120172

Saipul Anwar

No. Mhs : 92310270

NIRM : 920051013114120270

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

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS NON LINIER EFEK P-DELTA
PADA KOLOM STRUKTUR BETON BERTULANG**

Disusun oleh :


Ari Wijoyo
No. Mhs : 92310172
NIRM : 920051013114120172


Saipul Anwar
No. Mhs : 92310270
NIRM : 920051013114120270

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Moch. Teguh, MSCE
Dosen Pembimbing I

Ir. H. Ilman Noor, MSCE
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 11-08-1998


Tanggal : 11-08-1998

PRAKATA

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Berdasarkan kurikulum yang berlaku, Tugas Akhir ini diselesaikan sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk dapat memperoleh derajat sarjana jenjang strata satu (S-1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Pada kesempatan ini disampaikan banyak terima-kasih kepada semua pihak yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Ir. Moch Teguh, MSCE, selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku Dosen Pembimbing II,
3. Bapak Ir. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D. atas arahannya,
4. Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
5. Rekan-rekan dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberi andil dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Semoga segala bantuan dan saran yang telah diberikan kepada kami dapat menjadi amal sholeh dan mendapat balasan dari Allah SWT. Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk kesempurnaannya. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat yang baik bagi penyusun dan siapapun yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Juli 1998

Penulis

(Ari Wijoyo / Saipul Anwar)

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	5
1.3 Manfaat.....	5
1.4 Rumusan Masalah.....	6
1.5 Hipotesis.....	6
1.6 Batasan Masalah.....	6
1.7 Metode Penelitian.....	7

BAB II. PENGARUH INTERAKSI PEMBEBANAN PADA STABILITAS STRUKTUR	
2.1 Pembebanan pada Struktur Bangunan Tinggi.....	9
2.2 Analisis Beban Gempa Rencana dengan Metode Statis Ekuivalen...	11
2.3.1 Beban Geser Dasar Akibat Gempa.....	14
2.3.2 Koefisien Gempa Dasar.....	15
2.3.3 Faktor Keutamaan.....	17
2.3.4 Faktor Jenis Struktur.....	17
2.3 Prinsip Dasar Desain Bangunan.....	18
2.4 Pendekatan Deformasi pada Struktur Portal.....	21
2.4.1 Deformasi Geser.....	22
2.4.2 Deformasi Lentur.....	23
2.4.3 Kombinasi Deformasi Akibat Geser dan Lentur.....	23
BAB III. FORMULASI EFEK P-DELTA PADA STRUKTUR KOLOM.....	25
3.1 Konsep Dasar Efek P-Delta.....	25
3.2 Faktor Pembesaran Akibat P-Delta.....	27
3.3 Iterasi P-Delta.....	30
BAB IV. APLIKASI ANALISIS EFEK P-DELTA.....	35
4.1 Data Perencanaan.....	35
4.2 Perhitungan Gaya-gaya yang Bekerja pada Struktur.....	37
4.2.1 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal Total Akibat Gempa..	37

4.2.2 Perhitungan Beban Akibat Gaya Gravitasi.....	46
4.3 Analisis Efek P-Delta pada Perancangan Kolom.....	58
4.3.1 Iterasi Efek P-Delta.....	58
4.3.2 Metode Faktor Amplifikasi.....	67
BAB V. PEMBAHASAN.....	72
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
6.1 Kesimpulan.....	79
6.2 Saran-saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....	82
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Efek P-Delta.....	4
Gambar 2.1 Diagram beban-beban yang perlu diperhatikan.....	10
Gambar 2.2 Pembagian daerah gempa di Indonesia.....	13
Gambar 2.3 Koefisien gempa dasar.....	16
Gambar 3.1 (a) Kolom kantilever dengan beban lateral dan beban aksial terpusat..	28
(b) Kolom kantilever dengan beban lateral dan beban aksial terdistribusi	
Gambar 3.2 (a) Kolom mengalami anjakan akibat gaya geser.....	30
(b) Penambahan beban aksial pada kolom yang telah mengalami anjakan	
(c) Persamaan beban horisontal	
Gambar 3.3 Diagram penambahan beban lateral.....	31
Gambar 4.1 Portal arah sumbu x.....	36
Gambar 4.2 Portal arah sumbu y.....	36
Gambar 4.3 Denah lantai tipikal.....	37
Gambar 4.4 Distribusi beban plat metode amplop arah sumbu x.....	46
Gambar 4.5 Distribusi beban plat metode amplop arah sumbu y.....	50
Gambar 4.6 Beban mati arah sumbu x	54
Gambar 4.7 Beban hidup arah sumbu x.....	54
Gambar 4.8 Beban mati arah sumbu y.....	55
Gambar 4.9 Beban hidup arah sumbu y.....	55

Gambar 4.10 Beban lateral arah sumbu x.....	56
Gambar 4.11 Beban lateral arah sumbu y.....	56
Gambar 4.12 Dimensi portal arah sumbu x yang direvisi.....	57
Gambar 4.13 Dimensi portal arah sumbu y yang direvisi.....	58
Gambar 4.14 Momen hasil analisis efek P-Delta (a) arah sumbu x (b) arah sumbu y	66

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Distribusi gaya geser dasar horisontal total akibat gempa.....	41
Tabel 4.2 Simpangan lateral arah sumbu x.....	43
Tabel 4.3 Hitungan persamaan Rayleigh arah sumbu x.....	44
Tabel 4.4 Simpangan lateral arah sumbu y.....	45
Tabel 4.5 Hitungan persamaan Rayleigh arah sumbu y.....	46
Tabel 4.6 Hasil analisis efek P-Delta dengan iterasi arah sumbu x.....	59
Tabel 4.7 Hasil analisis efek P-Delta dengan iterasi arah sumbu y.....	62
Tabel 4.8 Gaya lateral dan defleksi lateral arah sumbu x.....	65
Tabel 4.9 Gaya lateral dan defleksi lateral arah sumbu y.....	65
Tabel 4.10 Faktor pembesaran momen dengan iterasi.....	67
Tabel 4.11 Hasil metode faktor amplifikasi arah sumbu x.....	69
Tabel 4.12 Hasil metode faktor amplifikasi arah sumbu y.....	71
Tabel 5.1 Komparasi defleksi lateral akhir arah sumbu x.....	73
Tabel 5.2 Komparasi momen akhir arah sumbu x.....	74
Tabel 5.3 Komparasi faktor pembesaran momen arah sumbu x.....	74
Tabel 5.4 Komparasi defleksi lateral akhir arah sumbu y.....	75
Tabel 5.5 Komparasi momen akhir arah sumbu y.....	75
Tabel 5.6 Komparasi faktor pembesaran momen arah sumbu y.....	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : Bagan alir analisis efek P-delta yang disederhanakan

Lampiran B : Input dan output SAP 90

Abstrak

Dalam menetapkan distribusi gaya-gaya dan momen yang terjadi pada struktur akibat beban luar biasanya dipakai analisis linier. Pada analisis tersebut hubungan antara tegangan dan regangan dari material dianggap linier dan pengaruh deformasi terhadap persamaan keseimbangan struktur atau pengaruh gaya aksial terhadap kekakuan elemen struktur diabaikan. Bila gaya aksial yang terjadi pada elemen struktur cukup besar, maka hasil distribusi gaya-gaya dalam yang didapat dari "first order analysis" tidak sesuai lagi karena gaya aksial yang bekerja pada kolom yang telah mengalami deformasi akan menghasilkan momen sekunder yang dikenal sebagai efek P-delta. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan analisis nonlinier. Akan tetapi prosedur maupun parameter analisis non linier cukup rumit dan sulit dipahami oleh para praktisi. Solusi masalah tersebut adalah dengan metode faktor pembesaran ("magnification factor"). Dalam tugas akhir ini disajikan analisis pengaruh P-delta memakai metode faktor pembesaran (batasan kelangsingan kolom diabaikan) dan metode analisis P-Delta yang disederhanakan. Prosedur penyelesaian metode tersebut adalah dengan melakukan modifikasi pada gaya-gaya yang diperoleh dari "first order analysis". Dari kedua metode tersebut didapat pembesaran momen lentur dan anjakan pada kolom struktur portal. Akan tetapi pembesaran yang dihasilkan masih berada di bawah batas toleransi yang ditentukan, maka untuk kasus dengan model struktur portal yang dianalisis disini adanya pembesaran momen dan anjakan belum mempengaruhi stabilitas dan kekuatan struktur.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tinjauan dasar dalam perencanaan struktur adalah dengan menjamin adanya kekuatan dan kestabilan dalam segala kondisi pembebanan yang mungkin. Semua struktur akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) tertentu apabila dibebani. Pada struktur stabil, deformasi yang diakibatkan oleh beban umumnya relatif kecil dan gaya internal yang timbul di dalam struktur akan mempunyai kecenderungan mengembalikan struktur ke bentuk semula apabila beban dihilangkan. Pada struktur labil, deformasi yang diakibatkan oleh beban mempunyai kecenderungan terus bertambah selama struktur tersebut dibebani. Struktur demikian mudah mengalami runtuh secara menyeluruh.

Struktur portal merupakan gabungan dari elemen-elemen kolom dan balok yang bekerja sebagai satu kesatuan dalam memikul beban untuk disalurkan ke tanah. Kolom adalah komponen struktur yang tidak hanya memikul beban aksial tekan, tetapi juga menahan momen akibat pembebanan langsung atau rotasi-rotasi ujung. Elemen struktur dapat dimasukkan dalam kategori kolom bila bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi sisi kolom terkecil.

Secara struktural, kolom berfungsi meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi di bawahnya untuk diteruskan ke tanah melalui pondasi. Dengan

kondisi ini, kolom menempati posisi yang penting di dalam suatu sistem struktur portal bangunan, karena kegagalan kolom merupakan lokasi kritis yang dapat mengakibatkan keruntuhan komponen struktur lain dan lebih lanjut dapat menyebabkan keruntuhan total seluruh struktur (“total collapse”).

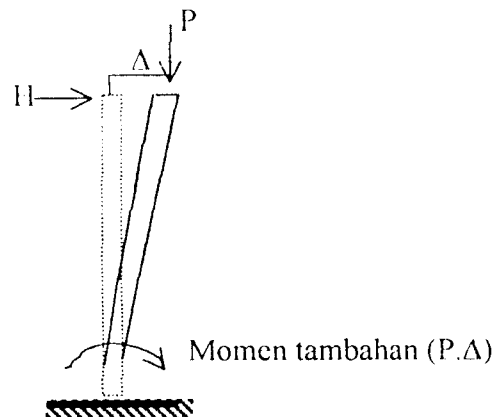
Keruntuhan kolom struktural jika ditinjau dari segi ekonomis maupun manusiawi merupakan hal yang sangat merugikan. Oleh karena itu, dalam merencanakan suatu struktur kolom perlu lebih hati-hati. Dalam hal ini diperlukan perhitungan yang cermat dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi daripada balok atau elemen struktur horisontal lainnya, karena keruntuhan kolom tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas, seperti lendutan atau retak-retak yang terjadi pada balok.

Keruntuhan kolom beton bertulang dapat didefinisikan dalam dua kriteria. Pertama keruntuhan bagian-bagian kritis (“section failure”), yang ditunjukkan dengan kapasitas beban ultimit yang mampu didukung. Kedua adalah kegagalan stabilitas (“stability failure”). Pada kegagalan stabilitas akan terjadi tekuk yang digambarkan dengan besarnya defleksi lateral yang terjadi. Mekanisme kegagalan pada kolom terjadi apabila beban pada kolom yang telah mengalami deformasi bertambah, sehingga akan menimbulkan retak yang terjadi di sepanjang tinggi kolom. Pada batas keruntuhan (“limit state of failure”), selimut beton di luar sengkang akan terlepas, sehingga tulangan memanjang akan terlihat. Apabila beban terus bertambah, maka kolom akan kehilangan stabilitas dan akan terjadi keruntuhan tekuk (“local buckling”). Dengan kata lain, dalam keadaan batas

runtuh akan didahului dengan terjadinya kerusakan pada selimut beton sebelum kemampuan lekatan tulangan baja beton berkurang.

Struktur beton bertulang bersifat lebih lebih massal (besar) dibanding dengan struktur lain seperti baja, sehingga secara struktural menjadi lebih tegar dan permasalahan kelangsingan menjadi berkurang. Akan tetapi, dengan perkembangan teknologi yang pesat, elemen struktur dapat diciptakan dari bahan yang mempunyai mutu tinggi, dengan sendirinya membuka peluang untuk dapat membuat komponen struktur yang dapat berfungsi lebih efisien dan optimal, termasuk pada struktur beton bertulang khususnya elemen kolom. Hal ini telah mengarah pada penggunaan komponen struktur kolom yang lebih langsing.

Pada kolom, selain bekerja gaya aksial (P) karena berat sendiri struktur dan beban berguna, juga bekerja gaya lateral (H) yang dapat terjadi karena beban angin atau beban gempa. Akibat gaya lateral, elemen kolom akan mengalami anjakan lateral (Δ), dengan demikian gaya aksial yang bekerja, bergeser terhadap titik awal dalam arah lateral. Pada keadaan demikian kolom akan mendapat momen lentur tambahan (momen sekunder), berarti momen eksternal akan bertambah. Kondisi struktur yang seperti ini disebut sebagai efek P -delta (P - Δ effect"). Efek P -delta tidak tampak pada perhitungan mekanika, tetapi mengingat efek ini ada dan berpengaruh terhadap stabilitas dan kapasitas kolom, maka perlu diperhatikan dalam perancangan bangunan terutama bangunan tingkat tinggi, terlebih lagi pada portal yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping ("unbraced frame").



Gambar 1.1 Efek P-Delta

Efek P-delta akan membesar antara lain jika terjadi penambahan berat struktur. Hal ini disebabkan berat struktur akan mempengaruhi sifat beban gempa dan gaya aksial (P). Dari hukum Newton diketahui bahwa gaya merupakan hasil perkalian antara massa dan percepatan ($F=m \cdot a$). Percepatan adalah perubahan kecepatan pada suatu waktu, dan sangat dipengaruhi gerakan gempa, sedangkan massa merupakan besaran yang tergantung pada berat gedung. Oleh karena itu penambahan berat akan memperbesar beban gempa, maka anjakan yang terjadi akan semakin besar sehingga pengaruh momen sekunder akan semakin besar pula. Dari gambar 1.1 dapat dijelaskan gambaran dasar dari pengaruh P-delta adalah $M=H \cdot h + P \cdot \Delta$.

Penyelesaian dari efek P-delta ini kurang akurat bila dilakukan dengan analisis linear ("first order analysis"), karena pengaruh momen sekunder diperhitungkan, maka penyelesaiannya dilakukan dengan analisis nonlinear atau analisis orde kedua ("second order analysis"). Solusi dan prosedur analisis

nonlinear cukup rumit dan parameter yang terkait cukup sulit difahami oleh para praktisi.

Untuk mengatasi hal tersebut, maka oleh para ahli diperkenalkan beberapa metode analisis efek P-delta yang lebih sederhana dan dalam batas-batas tertentu dapat dipakai untuk menggantikan analisis nonlinear yang cukup rumit dan mahal tersebut. Salah satu metode yaitu dengan memakai konsep faktor pembesaran (“magnification factor”). Pada metode ini gaya-gaya dalam yang diperoleh dari analisis linear cukup dikalikan dengan faktor pembesaran, sehingga pengaruh nonlinearitas seolah-olah telah diperhitungkan. Metode lain ialah dengan memodifikasi gaya-gaya hasil analisis linear. Dengan metode ini, pengaruh gaya aksial yang bekerja dengan eksentrisitas tertentu dari sumbu awal diperhitungkan sebagai gaya yang akan memberikan kontribusi terjadinya penambahan gaya horisontal.

1.2 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh P-delta pada anjakan lateral dan momen elemen kolom pada struktur portal bertingkat dengan perhitungan selain menggunakan faktor pembesaran dan akhirnya akan dapat disimpulkan apakah efek P-delta cukup berpengaruh pada kekuatan dan stabilitas struktur.

1.3 Manfaat

Manfaat analisis ini agar dapat memahami tentang pengaruh P-delta terhadap stabilitas struktur, sehingga dapat digunakan sebagai landasan apakah

efek P-delta cukup menentukan dan perlu dimasukkan dalam perencanaan bangunan bertingkat khususnya bangunan tinggi sehingga tercapai struktur yang stabil.

1.4 Rumusan Masalah

Konfigurasi struktur bangunan tinggi cenderung mengalami kondisi yang labil, hal ini diakibatkan oleh interaksi dari kombinasi pembebanan yang bekerja dan penggunaan elemen struktur yang cukup langsing. Untuk itu perlu spesifikasi khusus dalam perencanaannya yaitu dengan meninjau pengaruh-pengaruh tersebut di atas.

1.5 Hipotesis

Dengan konsep perhitungan yang akan dibahas diharapkan akan didapat hasil pembesaran momen dan anjakan akibat interaksi bekerjanya gaya vertikal dan gaya horisontal yang lebih akurat, sehingga efek P-delta memang perlu dimasukkan dalam perencanaan.

1.6 Batasan Masalah

Mengingat banyaknya permasalahan yang terkait dengan topik yang dibahas, maka tugas akhir ini dibatasi oleh ketentuan sebagai berikut ini.

1. Struktur yang dianalisis adalah portal beton bertulang dengan bentuk bangunan tipikal.

2. Pengaruh kekakuan struktur karena adanya dinding geser dan pengakuan elemen struktur (“bracing”) diabaikan atau dengan kata lain struktur portal yang ditinjau adalah struktur portal terbuka (“open frame”).
3. Analisis struktur tingkat pertama untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur menggunakan program aplikasi SAP 90.
4. Pengaruh torsi diabaikan dengan asumsi titik berat struktur yang ditinjau berhimpit dengan titik berat massa.
5. Beban lateral yang dipakai adalah beban gempa arah horizontal yang diperoleh dari perhitungan dengan metode statik ekuivalen berdasarkan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (1981).
6. Perhitungan pembebanan memakai Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983) dan SK-SNI-T-15-1991.
7. Deformasi akibat pengaruh rotasi pondasi tidak dimasukkan dalam perhitungan.

1.7 Metode Penelitian

Cara studi yang akan dilakukan adalah studi pustaka, membahas dan membuat kesimpulan hasil studi yang dilakukan. Adapun tahapan analisis dan perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut ini

1. Menentukan spesifikasi dan konfigurasi struktur portal beton bertulang yang akan dianalisis.
2. Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur.
3. Menghitung gaya-gaya dalam dengan program aplikasi SAP 90.

4. Melakukan perhitungan pengaruh P-delta faktor pembesaran dan dengan memodifikasi gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari analisis linear .
5. Melakukan komparasi hasil momen dan defleksi akhir yang terjadi.

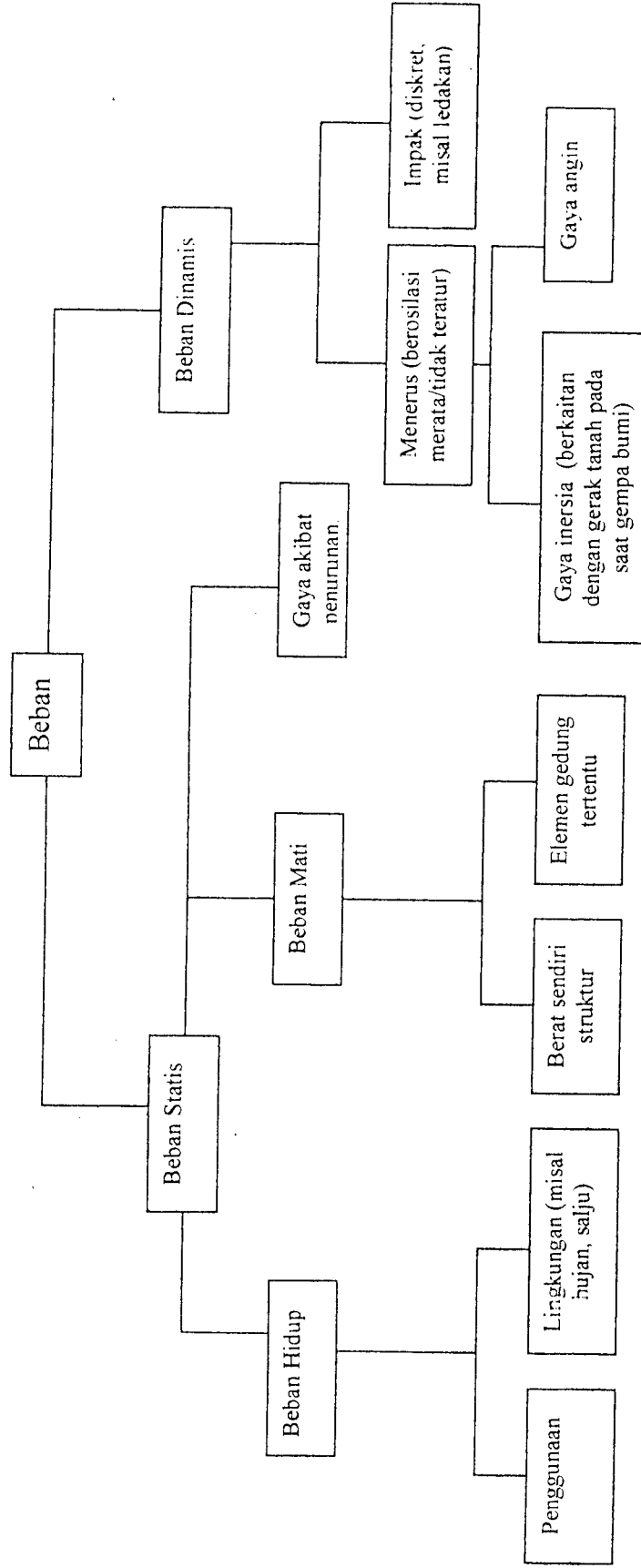
BAB II
PENGARUH INTERAKSI PEMBEBANAN
PADA STABILITAS STRUKTUR

2.1 Pembebanan pada Struktur Bangunan Tinggi

Pembebanan pada struktur bangunan tinggi berbeda dengan pembebanan pada bangunan tingkat rendah. Pada perencanaan bangunan tinggi perlu diperhatikan beban lateral yang berpengaruh terhadap kekuatan dan stabilitas struktur selain adanya beban gravitasi. Beban lateral tersebut bekerja pada setiap tingkat dan dianggap sebagai beban statis yang menirukan beban gempa riil akibat gerakan tanah.

Untuk beban gravitasi, pembebanan pada struktur bangunan tinggi hampir sama dengan pembebanan bangunan tingkat rendah. Beban gravitasi ini mencakup beban mati dari suatu struktur antara lain pelat dan balok, beban berguna dan beban hidup yang terjadi akibat hunian. Besar berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung serta beban hidup yang bekerja ditetapkan dalam Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983).

Dalam melakukan analisis desain struktur, diperlukan gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Gambar 2.1 mengilustrasikan diagram beban-beban yang perlu diperhatikan.



Gambar 2.1 Diagram beban-baban yang bekerja pada struktur

Beban lateral yang bekerja pada setiap tingkat merupakan hasil distribusi dari gaya dasar horisontal yang didistribusikan secara merata setiap tingkat, beban lateral yang bekerja itu tidak sama besar, hal ini disebabkan oleh berat lantai dan ketinggian tingkat tersebut. Semakin berat lantai dan tinggi suatu tingkat, semakin besar gaya lateral yang terjadi sehingga simpangan lateral yang terjadi akan semakin besar pula.

2.2 Analisis Beban Gempa Rencana dengan Metoda Statis Ekuivalen

Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat resiko gempa yang cukup tinggi. Kejadian gempa sering melanda Indonesia, baik dalam ukuran yang kecil yang frekuensi kejadiannya sampai ribuan kali pertahun, maupun gempa dengan kekuatan yang cukup besar yang dapat merusakkan bangunan. Hal ini tidak terlepas dari kondisi geografis Indonesia yang terletak di antara empat sistem lempeng tektonik yang aktif, yakni tapal batas lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, lempeng Filipina dan lempeng Pasifik. Pada prinsipnya gempa yang umum terjadi adalah suatu peristiwa pelepasan energi pada suatu tempat di perbatasan lempeng-lempeng plat tektonik.

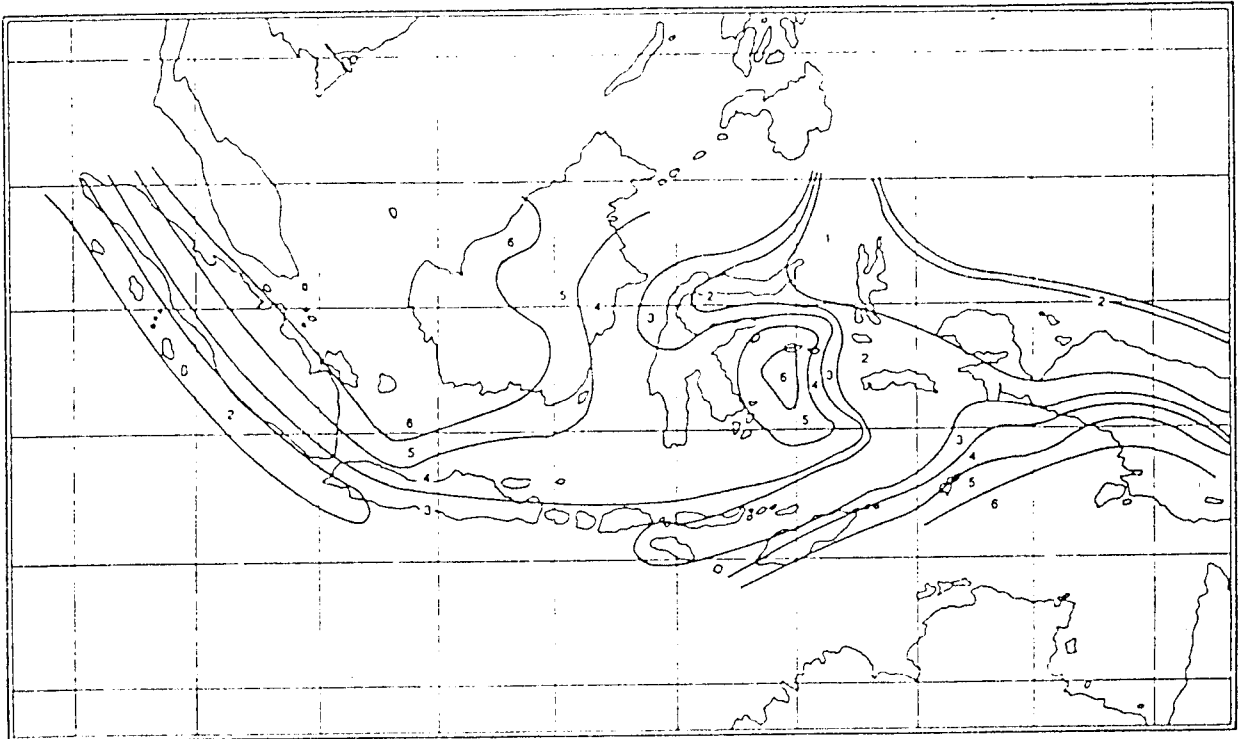
Gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang dapat terjadi dimana saja di permukaan Bumi. Hingga saat ini belum dapat diperkirakan kapan suatu daerah akan mengalami gempa dan seberapa besar kekuatan gempa yang akan terjadi. Kondisi ini menuntut para perencana untuk memberi perhatian yang serius agar konstruksi bangunan yang dibuat dapat tahan terhadap beban gempa.

Selama terjadi gempa bumi, bangunan akan mengalami gerakan vertikal dan gerakan horisontal. Gaya gempa baik dalam arah vertikal maupun arah horisontal, akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya gempa tersebut, gaya gempa dalam arah vertikal seringkali tidak diperhitungkan karena cukup kecil jika dibandingkan dengan besar gaya akibat beban gravitasi yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang cukup memadai. Oleh karena itu, struktur jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa dalam arah horisontal akan bekerja langsung pada titik lemah struktur yang mempunyai kekuatan tidak memadai, sehingga dapat menyebabkan struktur runtuh (“failure”). Atas dasar inilah prinsip utama dalam perencanaan tahan gempa adalah meningkatkan kekuatan struktur terhadap gaya lateral (gaya horisontal) yang secara umum tidak memadai (Muto,1987).

Besar taraf pembebanan gempa tidak berlaku universal melainkan sangat bervariasi antara satu wilayah dengan wilayah lain tergantung pada kondisi seismotektonik, geografis dan geologi setempat. Berbagai peraturan perencanaan bangunan tahan gempa menetapkan suatu taraf beban gempa rencana yang menjamin suatu struktur tidak akan rusak pada saat dilanda gempa kecil atau sedang, dan pada saat dilanda gempa kuat, struktur tersebut mampu berperilaku duktail dengan memencarkan energi gempa dan sekaligus membatasi beban gempa yang masuk ke dalam struktur.

Berdasarkan intensitas dan kekuatan gempa yang pernah terjadi, wilayah Indonesia dibagi menjadi enam wilayah gempa yang berbeda-beda, dengan

wilayah 1 merupakan daerah paling rawan terhadap gempa, dan wilayah 6 merupakan daerah aman gempa. Pembagian wilayah gempa di Indonesia dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Pembagian daerah gempa di Indonesia

Beban statis ekuivalen merupakan representasi dari beban gempa yang telah disederhanakan, yaitu penyederhanaan gaya inersia yang bekerja pada suatu massa dan disederhanakan menjadi suatu beban statik. Meskipun cara ini merupakan penyederhanaan, tetapi cara ini didasari oleh prinsip-prinsip dinamis seperti faktor keutamaan gedung, berat total struktur, faktor jenis struktur, dan faktor koefisien gempa. Adapun faktor-faktor penentu beban gempa rencana dengan metode statis ekuivalen adalah sebagai berikut :

2.2.1 Beban geser dasar akibat gempa

Besarnya beban geser rencana (V) menurut peraturan yang ditetapkan dalam Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, 1987 adalah

$$V = C \cdot I \cdot K \cdot W_t \quad (2.1)$$

dengan

V = Gaya geser dasar horisontal akibat beban gempa,

C = Koefisien gempa dasar seperti yang ditentukan dari spektrum respon percepatan,

I = Faktor keutamaan struktur,

K = Faktor jenis struktur,

W_t = Berat total bangunan.

Koefisien gempa dasar (C) berfungsi untuk menjamin agar struktur mampu memikul beban gempa yang dapat menyebabkan kerusakan besar pada struktur. Dalam penentuan nilai koefisien gempa dasar dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut meski secara eksplisit tidak tampak :

1. Faktor "over strength" struktur (f_1)

Faktor f_1 diperhitungkan untuk memperkirakan kemampuan struktur memikul beban gempa yang lebih besar dari beban gempa rencana karena :

- a. Berat bangunan relatif lebih kecil daripada berat yang diperkirakan.
- b. Beban gempa mungkin sudah dikalikan dengan faktor 4 (struktur dengan nilai daktilitas 4) sebelum didistribusikan menjadi gaya-gaya rencana pada elemen struktur.

- c. Dalam proses perencanaan struktur, telah diperhitungkan faktor reduksi kapasitas
- d. Pendekatan-pendekatan perencanaan yang konservatif dan peningkatan luas tulangan karena pembulatan.
- e. Bahan-bahan yang dipakai lebih kuat daripada yang sebenarnya dibutuhkan. Alasan ini mengakibatkan nilai kekuatan struktur jauh melebihi kekuatan gempa rencana. Oleh karena itu diperlukan suatu faktor agar resiko gempa yang diberikan pada waktu perencanaan tidak terlalu berlebihan. Untuk Indonesia diusulkan nilai f_1 sebesar 1,6 berdasarkan beberapa data dari kekuatan baja tulangan, perkiraan persentase tulangan yang berlebihan dan pengaruh dari faktor-faktor yang diperhitungkan dalam perencanaan struktur.

2. Faktor f_2

Faktor ini diberikan untuk memperhitungkan kemampuan struktur memikul beban gempa yang lebih besar dari beban gempa rencana akibat kemungkinan redistribusi momen setelah terbentuk sendi plastis. Nilai f_2 diperkirakan sebesar 2,0 untuk struktur-struktur portal pada umumnya.

2.2.2 Koefisien gempa dasar

Pembagian wilayah gempa yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda, menyebabkan koefisien gempa dasar suatu tempat akan berbeda dengan tempat lain, sehingga memberikan pengaruh pembebanan yang berbeda pula pada struktur. Nilai koefisien gempa dasar bergantung pada frekuensi gerakan tanah

yang bersifat sangat merusak, yang berbeda-beda pada tiap wilayah gempa dan waktu getar alami struktur portal beton bertulang dihitung dengan rumus:

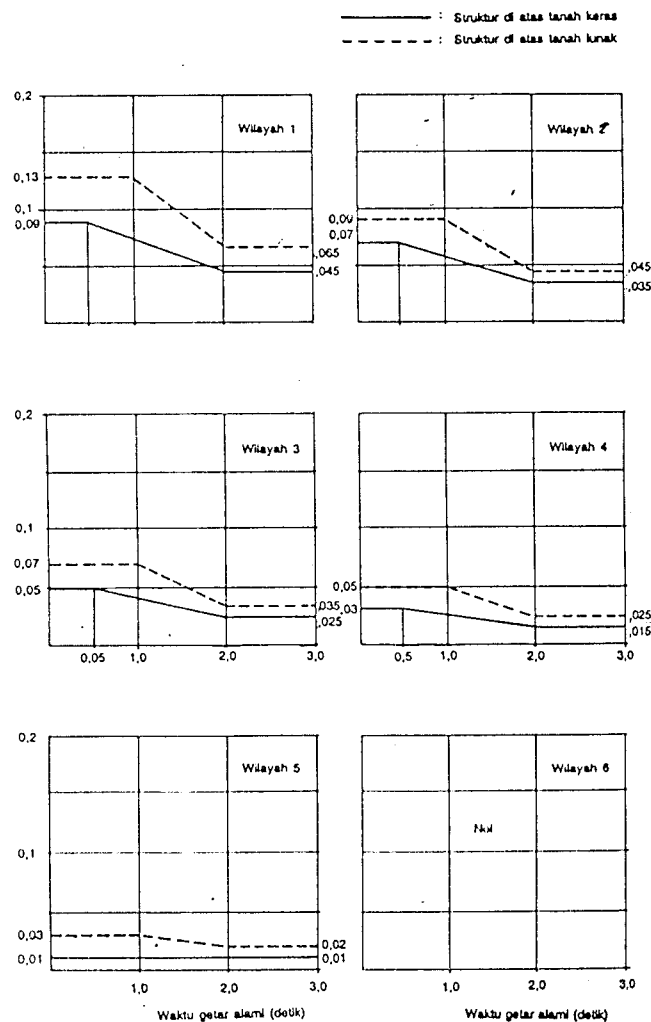
$$T = 0.06 \cdot H^{0.75} \tag{2.2}$$

dengan

T = Waktu getar alami struktur portal beton bertulang,

H = Tinggi bangunan

Berdasarkan pembagian wilayah gempa di Indonesia, nilai koefisien gempa dasar untuk masing-masing wilayah ditunjukkan gambar berikut :



Gambar 2.3 Koefisien gempa dasar

2.2.3 Faktor keutamaan

Faktor keutamaan gedung (I) adalah faktor yang dipengaruhi oleh kepentingan bangunan tersebut terhadap pelayanan usaha penyelamatan setelah terjadi gempa dan tingkat bahaya bila terjadi keruntuhan. Tingkat kepentingan suatu struktur terhadap bahaya gempa dapat berbeda-beda tergantung pada fungsinya. Oleh karena itu semakin penting suatu struktur tersebut semakin besar perlindungan yang harus diberikan. Faktor keutamaan dipakai untuk memperbesar beban gempa rencana agar struktur mampu memikul beban gempa dengan periode ulang yang lebih panjang, dengan demikian struktur akan mampu menahan beban gempa yang lebih besar. Faktor keutamaan untuk berbagai jenis gedung harus diambil menurut tabel 2.1 Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, 1987.

2.2.4 Faktor jenis struktur

Faktor jenis struktur (K) dipengaruhi oleh perilaku struktur bila menerima beban gempa. Faktor ini dimaksudkan agar struktur mempunyai kekuatan lateral yang cukup untuk menjamin bahwa sifat daktilitas struktur yang dituntut tidak lebih besar dari daktilitas yang tersedia pada saat terjadi gempa kuat. Faktor K sangat bergantung pada jenis struktur dan bahan konstruksi yang dipakai. Struktur yang mempunyai daktilitas yang cukup dan mampu memancarkan energi gempa pada sejumlah besar elemen struktur memerlukan faktor K yang rendah. Sedangkan struktur yang mempunyai mekanisme pemancaran energi yang sedikit,

memerlukan faktor K yang lebih tinggi agar struktur mempunyai ketahanan yang cukup selama terjadi gempa.

Beban geser dasar gempa yang diperoleh dari analisis diatas didistribusikan ke setiap tingkat sepanjang tinggi struktur sebagai beban horisontal terpusat dengan rumus

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} V \quad (2.3)$$

dengan

F_i : beban horisontal yang terpusat pada lantai i

h_i : ketinggian sampai tingkat i diukur dari tinggi penjepit lateral seperti yang ditentukan dalam pasal 1.3 PPTGUGI, 1987.

Rumus tersebut harus memenuhi ketentuan di bawah ini:

1. Bila H/A atau $H/B < 3$, maka gaya geser horisontal total harus dibagikan ke seluruh tinggi gedung menjadi beban terpusat yang menangkap pada masing-masing tingkat.
2. Bila H/A atau $H/B > 3$, maka gaya geser horisontal total harus dibagikan 0,1 menjadi beban terpusat yang bekerja pada atap dan 0,9 sisanya dibagikan sepanjang tinggi gedung menurut rumus di atas.

2.3 Prinsip Dasar Desain Bangunan

Salah satu kriteria yang dapat dipakai sebagai ukuran suatu struktur dapat diterima untuk penggunaan yang diinginkan atau untuk maksud desain tertentu adalah kemampuan layan ("serviceability"), struktur harus mampu memikul baban rancang secara aman, tanpa kelebihan tegangan pada material dan

mempunyai deformasi yang masih dalam daerah yang diijinkan. Dengan memilih ukuran dan bentuk elemen struktur serta bahan yang digunakan, taraf tegangan pada struktur ditentukan pada tingkat yang dipandang masih dapat diterima, sehingga kelebihan tegangan pada material yang ditunjukkan dengan kegagalan material maupun anjakan elemen struktur tidak terjadi.

Prinsip desain bangunan adalah suatu hal yang penting di era modern. Prinsip ini dimulai dari bagaimana menentukan atau mendesain beban-beban, konfigurasi bangunan yang tepat, mekanisme goyangan (“sway mechanism”) yang dipakai dan pengoptimalan prinsip pelepasan energi (“energy dissipation”) pada elemen-elemen struktur. Konfigurasi bangunan secara umum meliputi perencanaan bentuk, ukuran bangunan secara tiga dimensi, pemilihan jenis bangunan, kombinasi tempat dan orientasi struktur utama penahan beban horisontal (“lateral load resisting system”) dan penempatan bagian pengisi (“nonstructural element). Mekanisme goyangan yang dipilih apakah “beam sway mechanism” atau “column sway mechanism”, dengan pemilihan pola goyangan yang tepat akan bergantung pada jenis struktur utama. Optimalisasi pelepasan energi sangat penting agar energi yang tersimpan di dalam struktur dapat diminimalkan.

Sebagai akibat dari cacat perencanaan konfigurasi bangunan yang berhubungan dengan kekakuan struktur akan terjadi tingkat yang lemah atau biasa disebut dengan “soft storey”. “Soft storey” dapat terjadi pada struktur bangunan bertingkat yang menggunakan portal sebagai struktur utama. Pada bangunan bertingkat, umumnya tingkat dasar didesain menjadi ruangan yang lebih leluasa

dengan cara pada tingkat yang bersangkutan tidak dipasang dinding-dinding. Sebaliknya pada tingkat atas seringkali dipasang dinding-dinding dari pasangan batu bata yang kaku dan masif. Menurut hasil penelitian Bertero dan Brokken (1983) dinding-dinding bata yang masif dapat menaikkan kekakuan tingkat sampai beberapa ratus persen dan dapat menurunkan periode getar kira-kira 50%. Dengan demikian, pada tingkat dasar akan menjadi tingkat yang relatif lemah ("soft storey") dibanding dengan tingkat-tingkat di atasnya.

"Soft storey" juga akan terbentuk pada kondisi mekanisme goyangan yang salah. Persepsi umum sering menganggap bahwa struktur yang menggantung, seperti balok harus memikul beban vertikal yang lebih besar. Oleh karena itu sering dijumpai bahwa perhatian untuk desain balok lebih diutamakan daripada desain kolom, tanpa mengetahui bagaimana sebaiknya mendesain kekuatan antar keduanya. Kolom akan mengalami tegangan paska elastik (inelastik) lebih dulu dibanding balok, sehingga kolom dapat saja rusak lebih dulu dari balok. Hal semacam ini menyebabkan mekanisme goyangan kolom ("column-sway mechanism").

Perilaku dinamik pada bagian "soft storey" terutama simpangan horisontal, akan berbeda dengan bagian-bagian yang lain. Simpangan horisontal yang berlebihan pada tingkat dasar akan mengakibatkan pengaruh P-delta menjadi signifikan. Kombinasi antara momen guling ("overtuning moment") akibat gaya horisontal dan pengaruh P-delta ini banyak mengakibatkan keruntuhan bangunan.

2.4 Pendekatan Deformasi pada Struktur Portal

Beban yang bekerja pada elemen struktur selalu menyebabkan terjadinya perubahan dimensional pada elemen struktur tersebut, dimana struktur akan mengalami perubahan ukuran atau bentuk atau kedua-duanya. Perubahan dimensional dikelompokkan ke dalam dua jenis, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis yang terjadi secara berurutan dengan semakin bertambahnya beban. Apabila elemen struktur mula-mula dibebani, maka deformasi yang terjadi masih dalam daerah elastis dari material. Pada daerah ini, elemen struktur masih dapat kembali kepada keadaan semula jika beban dihilangkan. Apabila beban bertambah terus, maka akan terjadi deformasi yang termasuk ke dalam daerah plastis dari material. Hal ini terjadi apabila tegangan pada material cukup besar sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan permanen dalam struktur. Apabila perubahan internal material ini telah terjadi, struktur tidak akan dapat kembali ke keadaan semula meskipun beban telah dihilangkan.

Analisis dan perencanaan kolom beton bertulang yang sering dibahas terbatas pada kolom pendek tanpa memperhitungkan kemungkinan terjadinya tekuk ("buckling"). Peraturan perhitungan beton untuk bangunan gedung SK-SNI-T-15-1991-03 menetapkan digunakannya suatu proses evaluasi kelangsingan pada batas nilai rasio kelangsingan tertentu. Dengan cara demikian, komponen struktur tekan digolongkan menjadi dua, yaitu struktur kolom pendek dan kolom langsing. Elemen kolom pendek adalah jenis kolom yang cenderung mengalami kegagalan material (ditentukan oleh kekuatan material). Kolom langsing cenderung mengalami fenomena tekuk, untuk mencegah tekuk yang tidak dikehendaki,

diperlukan evaluasi terhadap reduksi kekuatan yang harus diberikan dalam perhitungan struktur kolom.

Fenomena tekuk merupakan hal yang menarik. Tekuk adalah suatu ragam kegagalan yang diakibatkan oleh ketidakstabilan elemen struktur yang dipengaruhi oleh aksi beban. Pada saat tekuk terjadi, taraf gaya internal dapat sangat rendah. Deformasi yang terjadi pada elemen kolom dibedakan atas deformasi lentur, deformasi geser dan deformasi akibat fondasi (Muto K,1963).

2.4.1 Deformasi Geser

Sebagaimana telah disinggung di depan bahwa beban gempa yang bekerja pada struktur mengakibatkan struktur mengalami goyangan dalam tiga arah, dua pada arah lateral dan satu pada arah aksial. Deformasi pada arah lateral mengakibatkan portal cenderung untuk mengalami kondisi tidak stabil. Deformasi aksial yang terjadi pada kolom tidak begitu berpengaruh jika dibandingkan dengan besarnya beban gravitasi dan dapat diabaikan. Beban aksial kritis untuk elemen struktur yang mengalami deformasi akibat geser ditunjukkan dengan penurunan rumus-rumus berikut

$$P_{icrg} = \frac{12E}{h_i \left(\frac{1}{C_i} + \frac{1}{G_i} \right)} \quad (2.5)$$

dengan

$C_i : \Sigma (I_c/h)_i$, I_c : inersia kolom, h : tinggi kolom,

$G_i : \Sigma (I_g/L)_i$, I_g : inersia balok, L : panjang balok

2.4.2 Deformasi Lentur

Deformasi dipengaruhi oleh letak tingkat dan keadaan distribusi gaya luar di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Pada tingkat-tingkat bawah, pengaruh yang ditimbulkan lebih besar dibandingkan pada tingkat-tingkat atas. Struktur dengan kelangsingan yang lebih besar akan mudah mengalami tekuk, karena beban tekuk merupakan fungsi dari momen inersia. Umumnya anjakan maksimum terjadi di tengah kolom. Beban tekuk kritis pada mode ini diperhitungkan dengan rumus berikut

$$P_{icrl} = \frac{7.83EI}{h^2} (1 - 0.2297\beta) \quad (2.6)$$

dengan

P_{icrl} : beban gravitasi total kritis,

h_2 : tinggi total struktur,

β : rasio bagian fleksibel kolom dengan tinggi kolom.

2.4.3 Kombinasi Deformasi Akibat Geser dan Lentur

Untuk kasus kombinasi geser dan lentur mungkin memberikan kontribusi pada terjadi tekuk dapat digambarkan dengan sebuah struktur dengan beban lateral dan beban gravitasi di puncak, besar P kritis pada struktur dengan kondisi di atas adalah

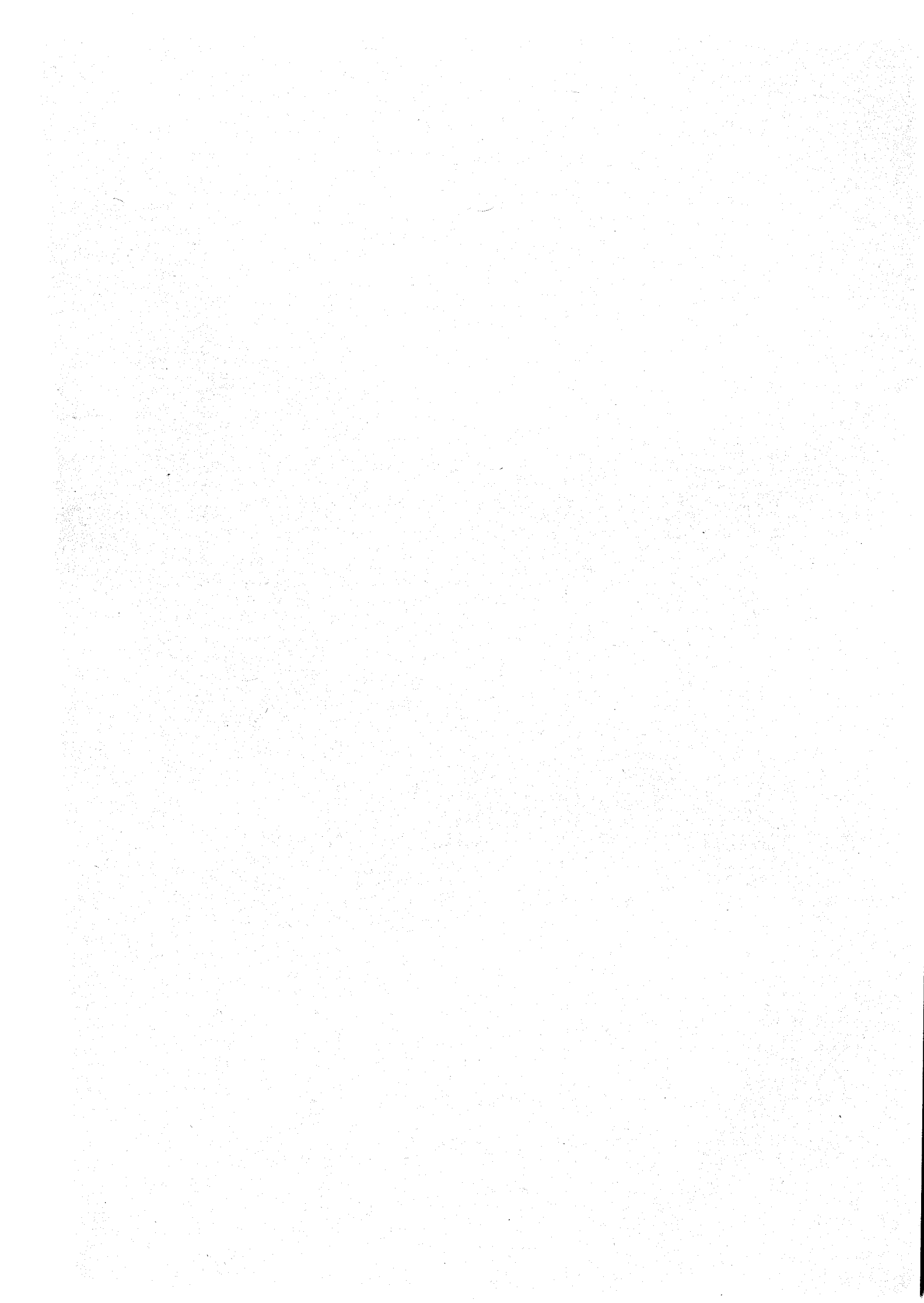
$$\frac{1}{P_{icr}} = \frac{1}{P_{icrg}} + \frac{1}{P_{icrl}} \quad (2.8)$$

dengan

P_{cr} : beban tekuk kritis untuk kombinasi lentur dan geser yang menyebabkan tekuk,

P_f : beban tekuk pada mode deformasi lentur,

P_s : beban tekuk pada mode deformasi geser.



BAB III
FORMULASI EFEK P-DELTA
PADA STRUKTUR KOLOM

3.1 Konsep Dasar Efek P-Delta

Analisis dan perencanaan struktur, baik dengan perhitungan manual maupun menggunakan program aplikasi komputer dengan masukan beban gravitasi dan beban horisontal akan didapat besar gaya-gaya dalam (momen lentur, gaya lintang, gaya normal) dan defleksi yang terjadi. Perhitungan tersebut belum memasukkan pengaruh interaksi dari beban gravitasi dan beban horisontal yang bekerja secara bersamaan. Kenyataannya ketika beban horisontal bekerja pada struktur kolom atau dinding, maka struktur akan mengalami translasi, sehingga beban gravitasi yang bekerja mempunyai eksentrisitas terhadap sumbu kolom atau dinding. Akibat dari beban gravitasi P yang bekerja dengan eksentrisitas berupa anjakan horisontal sebesar Δ , dikenal dengan efek P-delta.

Pada kasus beban gravitasi besar dan struktur fleksibel akan menghasilkan tambahan gaya cukup besar yang memungkinkan struktur mengalami runtuh, sehingga diperlukan ketelitian dalam menentukan pembesaran anjakan dan momem akibat pengaruh P-delta.

Anjakan akibat beban lateral yang terjadi pada struktur menyebabkan beban gravitasi yang bekerja mempunyai eksentrisitas terhadap titik awal sehingga

menghasilkan penambahan momen eksternal. Analisis dasar untuk kondisi di atas dapat digambarkan sebagai berikut

$$\text{Analisis orde pertama : } M = F.h$$

$$\text{Analisis orde kedua : } M = F.h + P.\Delta$$

dengan

F : beban lateral

h : tinggi struktur

P : Gaya aksial akibat beban gravitasi

Δ : besar anjakan lateral

Defleksi yang terjadi akibat beban lateral saat gempa bumi mungkin sangat besar, disini efek P-delta menjadi sangat penting. Hal itu dapat dijelaskan dari keruntuhan beberapa gedung tinggi yang pernah terjadi (Eisenberg, 1994). Efek P-Delta perlu diperhatikan bila (ScarlatA.S,1991)

$$\text{koefisien stabilitas } \theta = \frac{P \Delta}{V h} > 0,10$$

dengan

Δ : defleksi

h : tinggi kolom

P : Gaya aksial vertikal

V : Gaya geser

Metode analisis P-delta yang umum dipakai adalah metode faktor pembesaran (“amplification factor”). Metode ini merupakan metode pendekatan yang cukup sederhana yaitu dengan menentukan faktor pembesaran yang akan

dipakai dalam seluruh perhitungan kapasitas struktur. Analisis efek P-delta yang lain adalah dengan melakukan modifikasi terhadap hasil analisis linear. Adapun langkah-langkah perhitungan akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

3.2 Faktor Pembesaran Akibat P-Delta

Aplikasi pengaruh efek P-delta yang umum dipakai karena cukup sederhana adalah dengan menentukan suatu faktor amplifikasi (“amplification factor”). Metode ini sering dipakai dalam perencanaan struktur baik struktur beton maupun struktur baja terutama yang menggunakan komponen elemen kolom langsing.

SK-SNI T-15-1991, memberikan analisis perkiraan yang didasarkan pada faktor pembesaran momen sebagai suatu evaluasi pendekatan. Tingkat kelangsingan kolom diungkapkan sebagai rasio kelangsingan, kl/r , dimana k adalah faktor panjang efektif komponen struktur tekan (kolom), l adalah panjang kolom yang tidak dikekang dan r adalah jari-jari putar (“radius of gyration”) tampang kolom.

Perencanaan komponen struktur tekan dengan menggunakan cara pembesaran momen dapat dipakai apabila nilai rasio kelangsingan $kl/r < 100$. Apabila nilai $kl/r > 100$, maka perencanaan harus menggunakan analisis orde kedua yang cukup rumit karena harus memperhitungkan efek defleksi dan menggunakan reduksi modulus tangen beton. Meskipun sebenarnya SNI Beton 1991 mendorong untuk berani melakukan analisis non linier yang terdapat pada ayat 3.3.10 yang menyebutkan :

1. Perencanaan dari komponen struktur tekan harus didasarkan pada gaya dan momen yang didapat dari analisis struktur yang ditinjau. Analisis tersebut harus memperhitungkan pengaruh dari beban aksial dan variasi dari momen inersia pada kekakuan komponen struktur dan pada momen jepit ujungnya, *pengaruh dari lendutan pada momen dan gaya* dan pengaruh dari lamanya pembebanan.
2. Bila prosedur yang ditentukan pada butir pertama tidak diikuti, maka pengaruh dari kelangsingan pada komponen struktur tekan boleh diperhitungkan berdasarkan *prosedur pendekatan* yang diberikan dalam ayat 3.3.11

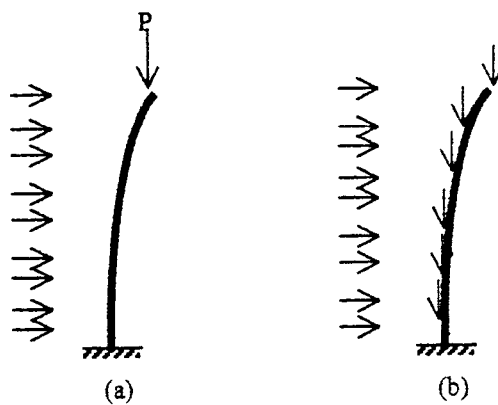
Anjakan horisontal pada sebuah elemen kantilever vertikal akibat beban lateral dan terdapat beban vertikal terpusat P pada bagian bebas kantilever (Gambar 3.1), akan mengalami pembesaran dengan faktor pembesaran sebesar F

$$F = \frac{1}{1 - \left(\frac{P}{P_{icr}}\right)} \quad (3.1)$$

dengan

P_{icr} : beban tekuk kritis pada puncak elemen kantilever.

P : beban rencana aksial



Gambar 3.1 (a) Kolom kantilever dengan beban lateral dan beban aksial terpusat
(b) Kolom kantilever dengan beban lateral dan beban aksial terdistribusi

Anjakan akhir dengan amplifikasi/pembesaran adalah

$$\Delta^* = F\Delta = \frac{1}{1 - \left(\frac{P}{P_{icr}}\right)} \cdot \Delta \quad (3.2)$$

dengan

Δ^* : anjakan akhir dengan faktor pembesaran,

F : faktor pembesaran,

Δ : anjakan awal dengan analisis tingkat pertama.

Akibat efek P-delta juga menyebabkan penambahan momen internal, maka momen M struktur pada analisa tingkat satu akan mengalami pembesaran akibat pengaruh perhitungan tingkat dua menjadi M^* , yaitu

$$M^* = \frac{1}{1 - \left(\frac{P}{P_{icr}}\right)} \cdot M \quad (3.3)$$

dengan

M^* : Momen akhir dengan faktor pembesaran,

M : Momen awal,

P : Beban aksial rencana,

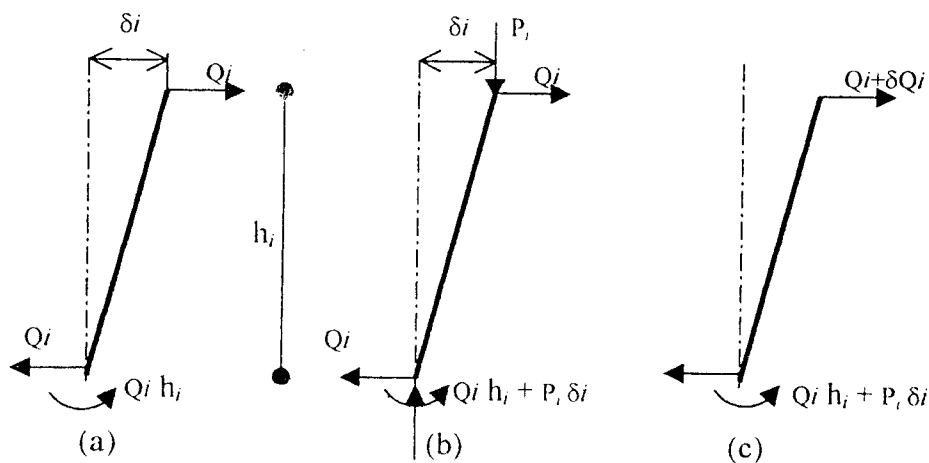
P_{cr} : Beban tekuk kritis.

Beban tekuk kritis dapat dicari dengan meninjau masing-masing mode deformasi yang mungkin terjadi pada struktur sebagaimana dijelaskan pada bagian 2.4.1, 2.4.2 dan 2.4.3.

3.3 Iterasi P-Delta

Pada kasus beban gravitasi besar dan struktur yang cukup lentur, pemakaian metode faktor pembesaran tidak sesuai lagi, untuk itu diperlukan metode analisis yang lebih akurat, yaitu dengan iterasi efek P-delta.

Untuk menentukan penambahan beban horisontal yang merupakan fungsi dari beban gravitasi dilakukan dengan mengikuti langkah berikut. Pada gambar 3.2 dapat dijelaskan bahwa setelah melakukan perhitungan analisis orde pertama pada tingkat i yang bekerja beban horisontal sebesar Q_i , mengakibatkan anjakan pada ujung atas tingkat sebesar δ_i . Beban gravitasi yang bekerja dengan eksentrisitas δ_i memberikan tambahan beban horisontal sebesar δQ_i , dan menyebabkan penambahan momen pada bagian bawah tingkat sebesar $P_i \delta_i$.



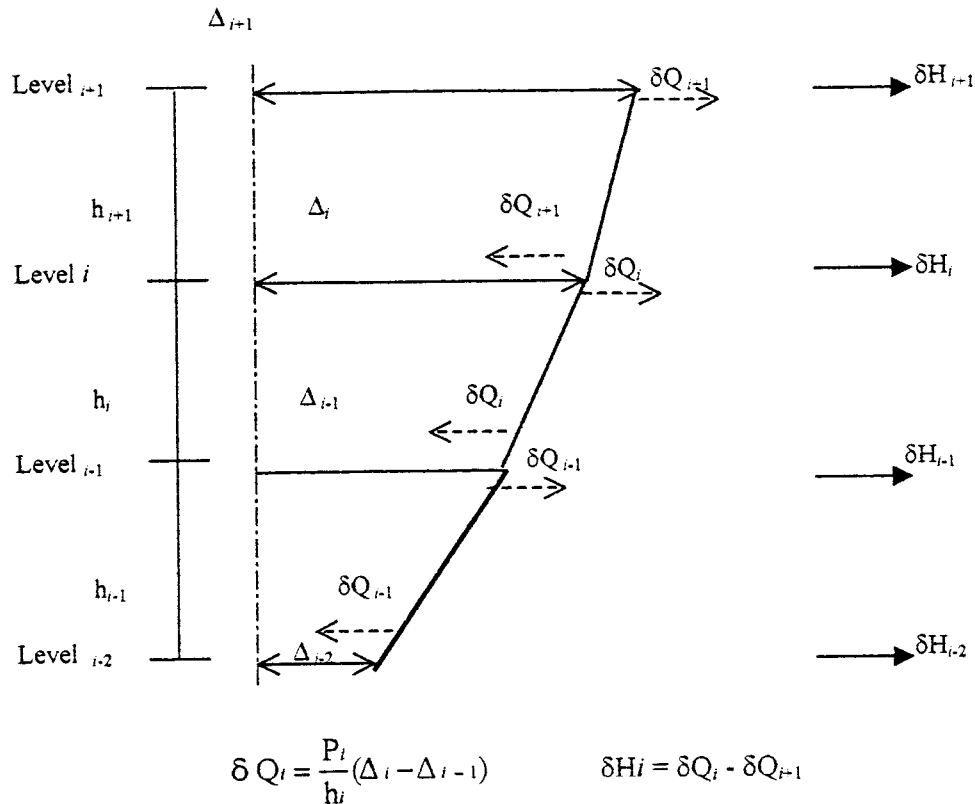
Gambar 3.2 (a) Kolom mengalami anjakan akibat gaya geser Q_i
 (b) Penambahan beban aksial pada kolom yang telah mengalami anjakan
 (c) Persamaan beban horisontal

Berdasarkan persamaan penambahan beban horisontal memberikan

$$\delta Q_i = \frac{P_i \delta_i}{h_i} \quad (3.4)$$

$$\delta Q_i = \frac{P_i}{h_i}(\Delta_i - \Delta_{i-1}) \quad (3.5)$$

$$\delta H_i = \delta Q_i - \delta Q_{i-1} \quad (3.6)$$



Gambar 3.3 Diagram penambahan beban lateral

Setelah analisis orde pertama dilakukan dan didapat anjakan sebesar Δ_i , selanjutnya beban gravitasi dipakai untuk menentukan tambahan beban horisontal yang akan memberikan tambahan anjakan sebesar δ_{i1} . Dengan prosedur yang sama sesuai dengan gambar 3.2 akan didapat tambahan anjakan berikutnya δ_{i2} , δ_{i3} , δ_{in} . Anjakan total pada tingkat i dengan memasukkan pengaruh P-delta merupakan jumlah dari anjakan awal hasil analisa perhitungan orde pertama ditambah dengan jumlah semua penambahan anjakan.

Atau dapat ditulis

$$\Delta_i^* = \Delta_i + \delta_{i1} + \delta_{i2} + \delta_{i3} + \dots \quad (3.7)$$

Momen akhir pada tingkat i , M_i^* dengan memasukkan pengaruh P-delta adalah jumlah dari momen hasil perhitungan orde pertama ditambah dengan perbesaran momen δM_i , atau dengan analisis iterasi didapat

$$M_i^* = M_i + \delta M_{i1} + \delta M_{i2} + \delta M_{i3} + \dots \quad (3.8)$$

Pada analisis orde pertama, dengan hanya meninjau beban horisontal, kekakuan struktur pada tingkat i adalah

$$K_i = Q_i / \delta_i$$

Gaya geser efektif merupakan hasil dari beban horisontal awal ditambah dengan tambahan beban horisontal yang merupakan fungsi dari beban gravitasi adalah

$$Q_i^* = Q_i + \delta Q_i = Q_i + \frac{P_i Q_i}{h_i} \quad (3.9)$$

Besar anjakan akhir akan didapat

$$\delta_i^* = [Q_i + (P_i \delta_i^* / h_i)] / K_i \quad (3.10)$$

$$\delta_i^* = [Q_i + (P_i \delta_i / h_i)] / [Q_i / \delta_i] \quad (3.11)$$

$$\delta_i^* = \frac{1}{1 - \left(\frac{P_i \delta_i}{h_i} \right)} \quad (3.12)$$

Pembesaran momen pada tingkat i dengan memasukkan efek P-delta akan didapat

$$M_i^* = \frac{1}{1 - \left(\frac{P_i \delta_i}{h_i} \right)} M_i \quad (3.13)$$

dengan M_i adalah momen struktur pada tingkat i hasil perhitungan analisis orde pertama.

Pada metode iterasi ini dipakai prinsip-prinsip analisis linear yang telah dikenal luas dan mudah untuk dipelajari. Untuk melakukan analisis linear tersebut metode yang disarankan untuk dipakai adalah metode matriks kekakuan atau metode elemen hingga yang saat ini telah tersedia paket program komputernya. Untuk memperhitungkan pengaruh P-delta, hasil yang diperoleh dari analisis linear tersebut perlu dimodifikasi. Adapun langkah-langkah yang ditempuh maupun modifikasi yang harus dilakukan dalam metode ini akan diuraikan sebagai berikut :

1. Menghitung gaya-gaya dalam (momen lentur, gaya lintang, dan gaya normal) dan lendutan akibat beban luar (beban vertikal dan horisontal) pada portal yang ditinjau dengan prinsip analisis linear. Lendutan horisontal pada lantai ke- i diberi notasi Δ_i (gambar 3.2 dan 3.3) dan beban horisontal lantai ke- i diberi notasi H_i .
2. Karena setiap lantai telah mengalami mengalami lendutan horisontal, maka beban vertikal (aksial) yang bekerja pada kolom ke- i akan menimbulkan momen sekunder M_{s_i} sebesar :

$$M_{s_i} = (\Sigma P_i) (\Delta_{i+1} - \Delta_i)$$

dengan ΣP_i = gaya aksial total lantai ke- i

Momen sekunder tersebut seolah-olah mengakibatkan penambahan gaya lintang pada ujung-ujung kolom ke- i sebesar

$$V_i' = M_{s_i} = \frac{(\Sigma P_i) (\Delta_{i+1} - \Delta_i)}{h_i}$$

dengan h_i = tinggi lantai ke- i .

Maka besarnya pertambahan gaya horisontal yang dirasakan oleh lantai ke- i

$$H_i' = V_{i-1}' - V_i'$$

3. Selanjutnya, untuk setiap lantai, H_i' yang diperoleh kemudian ditambahkan pada gaya horisontal awal (langkah a) $H^* = H_1 + H_i'$.

Berdasarkan gaya horisontal terbaru tersebut (gaya vertikal masih tetap sama), portal yang ditinjau dianalisis lagi untuk memperoleh lendutan yang baru.

4. Langkah (b) dan (c) tersebut dilakukan beberapa kali sampai pada kondisi konvergen, yaitu kondisi bila hasil lendutan horisontal setiap lantai pada iterasi ke (n-1) telah sama atau hampir sama dengan hasil iterasi ke (n). Gaya-gaya dalam dan lendutan yang diperoleh pada kondisi konvergen tersebut merupakan hasil akhir yang telah mencakup efek P-delta.

BAB IV

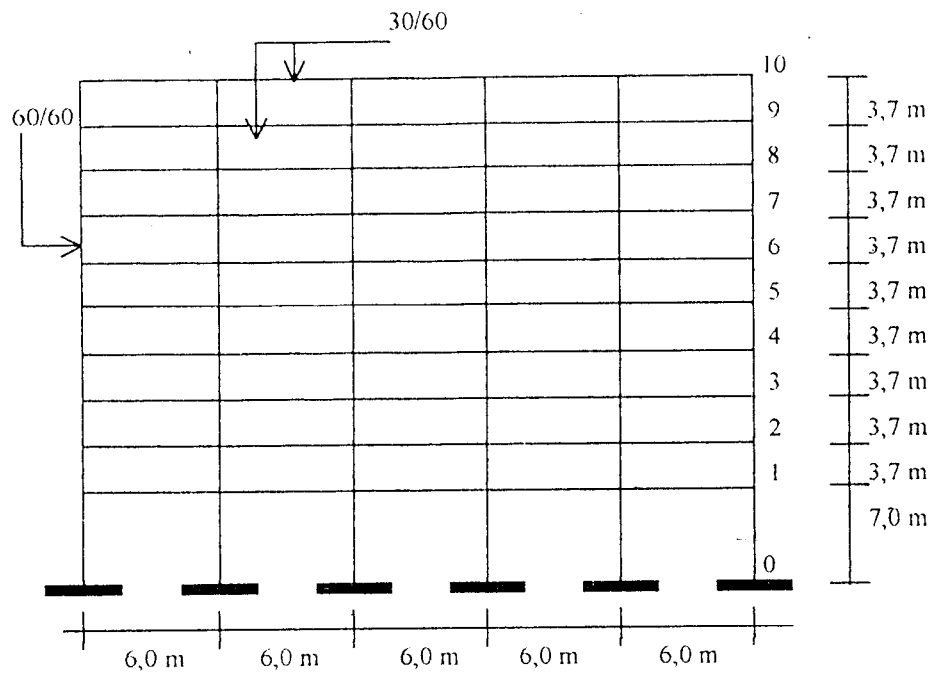
APLIKASI ANALISIS EFEK P-DELTA

4.1 Data Perencanaan

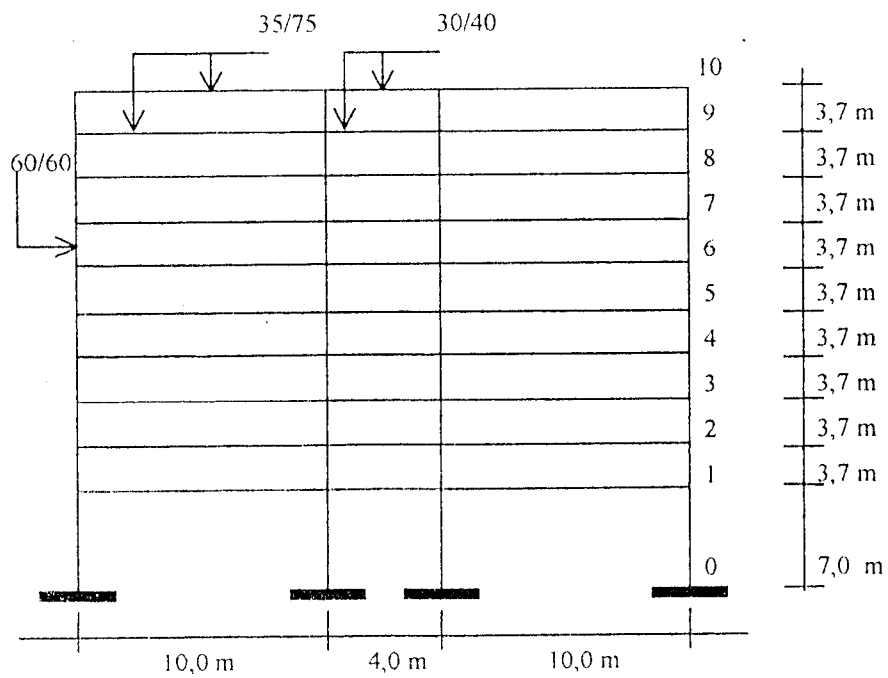
Persyaratan umum portal beton bertulang yang akan dianalisis meliputi jenis dan lokasi bangunan, tipe pembebanan, mutu atau kualitas bahan struktur yang digunakan serta denah dan dimensi elemen utama struktur portal. Jenis bangunan yang akan dianalisis adalah bangunan perkantoran dengan lokasi bangunan terletak di daerah gempa 2 pada peta wilayah gempa untuk Indonesia dan terletak di atas tanah lunak, sehingga dengan asumsi di atas diharapkan bangunan akan mengalami beban lateral yang cukup besar.

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

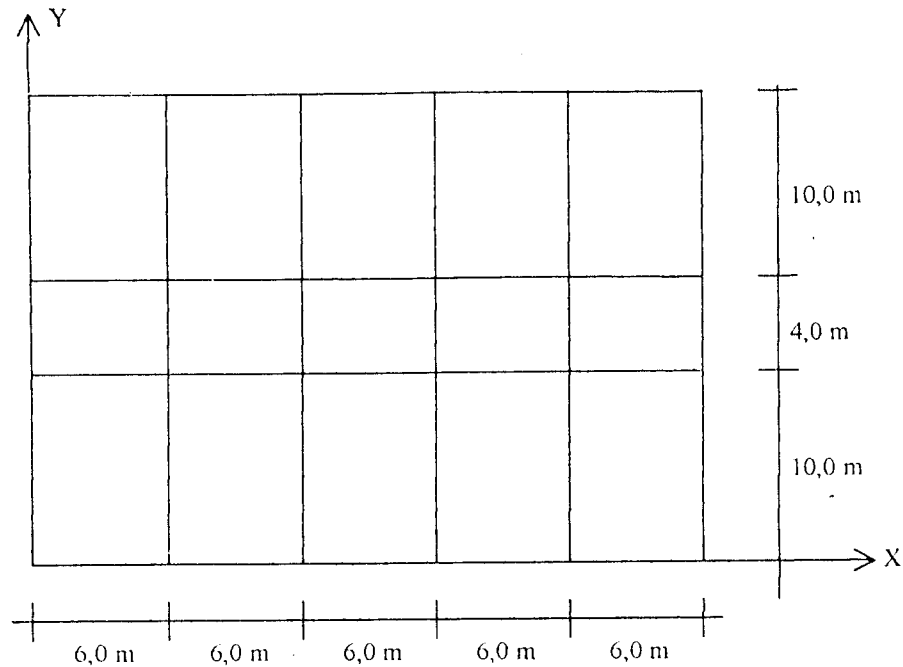
Struktur yang akan dianalisis adalah struktur beton bertulang 10 lantai. Mutu bahan yang dipakai yaitu mutu beton $f_c = 30$ Mpa dan mutu baja tulangan $f_y = 400$ Mpa. Tebal pelat lantai diasumsikan 130 mm dan tebal pelat atap 120 mm, sedang dimensi kolom dan balok untuk masing-masing portal diasumsikan seperti pada gambar-gambar berikut ini.



Gambar 4.1 Portal 10 lantai arah sumbu x



Gambar 4.2 Portal 10 lantai arah sumbu y



Gambar 4.3 Denah lantai 1 – lantai 10 (tipikal)

4.2 Perhitungan Gaya-gaya yang Bekerja pada Struktur

4.2.1 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal Total Akibat Gempa

1. Berat bangunan total (Wt)

a. Lantai 10 (atap)

Beban mati

$$\sim \text{plat atap} = 30 \cdot 24 \cdot 0,12 \cdot 2,4 = 207,360 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \sim \text{balok atap} &= [(20 \cdot 6 \cdot 0,30 \cdot 0,48) + (12 \cdot 10 \cdot 0,35 \cdot 0,63) + \\ & (6 \cdot 4 \cdot 0,30 \cdot 0,28)] \cdot 2,4 = 109,814 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\sim \text{dinding (sepanjang balok)} = 264 \cdot 1,85 \cdot 0,25 = 122,100 \text{ ton}$$

$$\sim \text{plafon} = 30 \cdot 24 \cdot (0,011 + 0,007) = 12,960 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \sim \text{air hujan (2 cm)} &= 30 \cdot 24 \cdot 0,02 \cdot 1,0 &= 14,400 \text{ ton} \\
 \sim \text{kolom} &= 24 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 1,85 \cdot 2,4 &= 38,362 \text{ ton} \\
 && \underline{\hspace{10em}} \\
 W_m &= 504,996 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Beban hidup

$$\sim q_h \text{ atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\sim \text{koefisien reduksi} = 0,3$$

$$W_h = 0,3 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 0,10 = 21,60 \text{ ton}$$

$$\text{Berat total } W_{10} = W_m + W_h$$

$$= 504,996 + 21,60 = 526,596 \text{ ton}$$

b. Lantai 9

Beban mati

$$\sim \text{plat lantai} = 30 \cdot 24 \cdot 0,13 \cdot 2,4 = 224,640 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \sim \text{balok lantai} &= [(20 \cdot 6 \cdot 0,30 \cdot 0,47) + (12 \cdot 10 \cdot 0,35 \cdot 0,62) + \\
 &\quad (6 \cdot 4 \cdot 0,30 \cdot 0,27)] \cdot 2,4 &= 107,770 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\sim \text{dinding} = 264 \cdot 3,7 \cdot 0,25 = 244,200 \text{ ton}$$

$$\sim \text{plafon} = 30 \cdot 24 \cdot (0,011 + 0,007) = 12,960 \text{ ton}$$

$$\sim \text{pasir (5 cm)} = 30 \cdot 24 \cdot 0,05 \cdot 1,6 = 57,600 \text{ ton}$$

$$\sim \text{spesi (2 cm)} = 30 \cdot 24 \cdot 0,02 \cdot 2,1 = 30,240 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \sim \text{tegel (2 cm)} &= 30 \cdot 24 \cdot 0,02 \cdot 2,4 &= 34,560 \text{ ton} \\
 && \underline{\hspace{10em}} \\
 && 711,970 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\sim \text{kolom} = 24 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 3,7 \cdot 2,4 = 76,723 \text{ ton}$$

$$W_m = 788,693 \text{ ton}$$

Beban hidup

$$\sim q_h \text{ lantai} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\sim \text{koefisien reduksi} = 0,3$$

$$W_h = 0,3 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 0,25 = 54 \text{ ton}$$

$$\text{Berat total } W_9 = W_m + W_h$$

$$= 788,693 + 54 = 842,693 \text{ ton}$$

c. Lantai 1

Beban mati

$$W_m = 711,970 + (24 \cdot 0,60 \cdot 0,60 \cdot 5,35 \cdot 2,4) = 822,908 \text{ ton}$$

Beban hidup

$$W_h = 54 \text{ ton}$$

$$\text{Berat total } W_1 = 822,908 + 54$$

$$= 876,908 \text{ ton}$$

d. Berat total bangunan

$$W_t = W_{10} + 8(W_9) + W_1$$

$$= 526,364 + 8(842,693) + 876,908 = 8144,816 \text{ ton}$$

2. Waktu getar bangunan (T)

Dengan rumus empiris $T_x = T_y = 0,06 (H)^{3/4}$

H = tinggi total bangunan = 40,3 m

$$T_x = T_y = 0,06 (40,3)^{3/4} = 0,96 \text{ detik}$$

3. Koefisien gempa dasar (C)

Untuk mengetahui koefisien gempa dasar yang dihasilkan oleh waktu getar bangunan $T = 0,96 \text{ dt}$, dapat dicari pada tabel koefisien gempa

dasar yang disesuaikan dengan wilayah gempa dan kondisi tanah, yaitu jenis tanah lunak dan bangunan terletak di daerah gempa 2, diperoleh $C = 0,09$.

4. Faktor keutamaan (I) dan faktor jenis struktur (K)

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung 1987 diperoleh $I = 1,0$ dan $K = 1,0$ untuk bangunan perkantoran yang menggunakan struktur rangka beton bertulang dengan daktilitas penuh.

5. Gaya geser dasar horisontal total akibat gempa (V)

$$\begin{aligned} \text{Dengan rumus } V &= C \cdot I \cdot W_t \cdot K \\ &= 0,09 \cdot 1 \cdot 8144,816 \cdot 1 \\ &= 733,033 \text{ ton} \end{aligned}$$

6. Distribusi gaya geser dasar horisontal total akibat gempa ke sepanjang tinggi gedung (F_i)

$$\begin{aligned} \sim \text{arah } x &= H/A \\ &= 40,3/30 = 1,34 < 3 \end{aligned}$$

$$F_{ix} = \frac{(W_i \cdot h_i)_x}{\Sigma (W_i \cdot h_i)_x} \cdot V$$

$$\begin{aligned} \sim \text{arah } y &= H/B \\ &= 40,3/24 = 1,68 < 3 \end{aligned}$$

$$F_{iy} = \frac{(W_i \cdot h_i)_y}{\Sigma (W_i \cdot h_i)_y} \cdot V$$

Untuk mempermudah perhitungan, maka distribusi gaya geser horisontal disajikan dalam bentuk tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Distribusi gaya geser dasar horisontal total akibat gempa

Tingkat (i)	h _i (m)	W _i (ton)	W _i h _i (tm)	F _i (ton)	Untuk tiap portal	
					1/4 F _i x (ton)	1/6 F _i y (ton)
1	7	876,908	6138,36	24,082	6,021	4,014
2	10,7	842,693	9016,82	35,384	8,846	5,897
3	14,4	842,693	12134,78	47,619	11,905	7,937
4	18,1	842,693	15252,74	59,855	14,964	9,976
5	21,8	842,693	18370,71	72,090	18,023	12,015
6	25,5	842,693	21488,67	84,326	21,108	14,054
7	29,2	842,693	24606,64	96,562	24,141	16,094
8	32,9	842,693	27724,60	108,797	27,199	18,133
9	36,6	842,693	30842,56	121,033	30,258	20,172
10	40,3	526,596	21221,82	83,279	20,820	13,880

$$\Sigma (W_i \cdot h_i) = 186797,70$$

7. Kontrol waktu getar dengan cara Rayleigh

Dengan melakukan analisis struktur, dapat dihitung besarnya simpangan (deformasi lateral total yang terjadi) akibat beban gempa di atas untuk portal arah x maupun arah y. Kekakuan dan simpangan setiap tingkat dapat diperoleh dengan persamaan

$$K_i = \frac{12 EI}{H_i^3}$$

dengan :

K_i = kekakuan lantai ke-i

E = modulus elastisitas

I = momen inersia

H_i = tinggi lantai ke-i

Sedang untuk defleksi relatif tiap-tiap tingkat dihitung dengan rumus

$$\delta_i = \frac{V_i}{K_i}$$

dengan :

V_i = gaya geser lantai ke-i

K_i = kekakuan lantai ke-i

Waktu getar yang sebenarnya untuk tiap arah dapat dihitung berdasarkan rumus T. Rayleigh :

$$T_x = 2\pi \sqrt{\frac{\sum(W_i \cdot d_{ix}^2)}{g \sum(F_{ix} \cdot d_{ix})}} \quad \text{untuk portal arah x}$$

$$T_y = 2\pi \sqrt{\frac{\sum(W_i \cdot d_{iy}^2)}{g \sum(F_{iy} \cdot d_{iy})}} \quad \text{untuk portal arah y}$$

dengan :

W_i = berat lantai ke-i

F_i = gaya gempa lantai ke-i

d_i = deformasi lateral total akibat F_i yang terjadi pada lantai ke-i

g = percepatan gravitasi

a. Arah sumbu x

$$f_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c}$$

$$= 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ Mpa} = 10,2 \text{ kg/cm}^2 = 102 \text{ ton/m}^2$$

$$E_c = 2625782 \text{ ton/m}^2$$

$$I = 1/12 \cdot 0,60 \cdot 0,60^3 = 0,0108 \text{ m}^4$$

$$K_1 = \frac{24 (12 EI)}{H_1^3}$$

$$= \frac{24 (12 \cdot 2625782 \cdot 0,0108)}{7^3} = 23811 \text{ t/m}$$

$$K_2 = \frac{24 (12 EI)}{H_2^3}$$

$$= \frac{24 (12 \cdot 2625782 \cdot 0,0108)}{3,7^3} = 161238 \text{ t/m}$$

$$K_2 = K_3 = K_4 = K_5 = K_6 = K_7 = K_8 = K_9 = K_{10}$$

Tabel 4.2 Simpangan lateral arah sumbu x

Tingkat (i)	F_i (ton)	Gaya geser (ton)	Kekakuan (t/m)	"Storey drift" δ_i (m)	Simpangan lateral d_i (m)
10	83,279	83,279	161238	0,000516	0,056076
9	121,033	204,312	161238	0,001267	0,055560
8	108,797	313,109	161238	0,001942	0,054293
7	96,562	409,671	161238	0,002541	0,052351
6	84,326	493,997	161238	0,003064	0,049810
5	72,090	565,087	161238	0,003505	0,046746
4	59,855	625,942	161238	0,003882	0,043241
3	47,619	673,561	161238	0,004177	0,039359
2	35,384	708,945	161238	0,004397	0,035182
1	24,082	733,027	23811	0,030785	0,030785

Tabel 4.3 Hitungan persamaan Rayleigh arah sumbu x

Tingkat (i)	W_i (ton)	Simpangan lateral d_i (m)	$W_i \cdot d_i^2$ (tm^2)	F_i (ton)	$F_i \cdot d_i$ (tm)
10	526,596	0,056076	1,656	83,279	4,670
9	842,693	0,055560	2,601	121,033	6,725
8	842,693	0,054293	2,484	108,797	5,907
7	842,693	0,052351	2,310	96,562	5,055
6	842,693	0,049810	2,091	84,326	4,200
5	842,693	0,046746	1,841	72,090	3,370
4	842,693	0,043241	1,576	59,855	2,588
3	842,693	0,039359	1,305	47,619	1,874
2	842,693	0,035182	1,043	35,384	1,245
1	876,908	0,030785	0,799	24,082	0,741

$$\Sigma (W_i \cdot d_i^2) = 17,706$$

$$\Sigma (F_i \cdot d_i) = 36,375$$

$$\text{Waktu getar struktur } T_x = 2\pi \sqrt{\frac{\Sigma(W_i \cdot d_i^2)}{g \Sigma(F_i \cdot d_i)}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{17,706}{9,81 \cdot 36,375}}$$

$$= 1,40 \text{ detik} > 0,95 \text{ detik} \dots \dots \text{ok}$$

b. Arah sumbu y

$$E_c = 2625782 \text{ t/m}^2$$

$$I = 1/12 \cdot 0,60 \cdot 0,60^3 = 0,0108 \text{ m}^4$$

$$K_1 = \frac{4(12EI)}{H_1^3} = \frac{4(12 \cdot 2625782 \cdot 0,0108)}{7^3} = 3969 \text{ t/m}$$

$$K_2 = \frac{4(12EI)}{H_2^3} = \frac{4(12 \cdot 2625782 \cdot 0,0108)}{3,7^3} = 26873 \text{ t/m}$$

$$K_2 = K_3 = K_4 = K_5 = K_6 = K_7 = K_8 = K_9 = K_{10}$$

Tabel 4.4 Simpangan lateral arah sumbu y

Tingkat (i)	F_i (ton)	Gaya geser (ton)	Kekakuan (t/m)	"Storey drift" δ_i (m)	Simpangan lateral d_i (m)
10	13,880	13,880	26873	0,000517	0,056080
9	20,172	34,052	26873	0,001267	0,055563
8	18,133	52,185	26873	0,001942	0,054296
7	16,094	68,279	26873	0,002541	0,052354
6	14,054	82,333	26873	0,003064	0,049813
5	12,015	94,348	26873	0,003511	0,046749
4	9,976	104,324	26873	0,003882	0,043238
3	7,937	112,261	26873	0,004177	0,039356
2	5,897	118,158	26873	0,004397	0,035179
1	4,014	122,172	3969	0,030782	0,030782

Tabel 4.5 Hitungan persamaan Rayleigh arah sumbu y

Tingkat (i)	W_i (ton)	Simpangan lateral d_i (m)	$W_i \cdot d_i^2$ (tm ²)	F_i (ton)	$F_i \cdot d_i$ (tm)
10	87,766	0,056080	0,276	13,880	0,778
9	140,449	0,055563	0,434	20,172	1,121
8	140,449	0,054296	0,414	18,133	0,985
7	140,449	0,052354	0,385	16,094	0,843
6	140,449	0,049813	0,349	14,054	0,700
5	140,449	0,046749	0,307	12,015	0,562
4	140,449	0,043238	0,263	9,976	0,431
3	140,449	0,039356	0,218	7,937	0,312
2	140,449	0,035179	0,174	5,897	0,207
1	146,151	0,030782	0,138	4,014	0,124

$$\Sigma (W_i \cdot d_i^2) = 2,958$$

$$\Sigma (F_i \cdot d_i) = 6,063$$



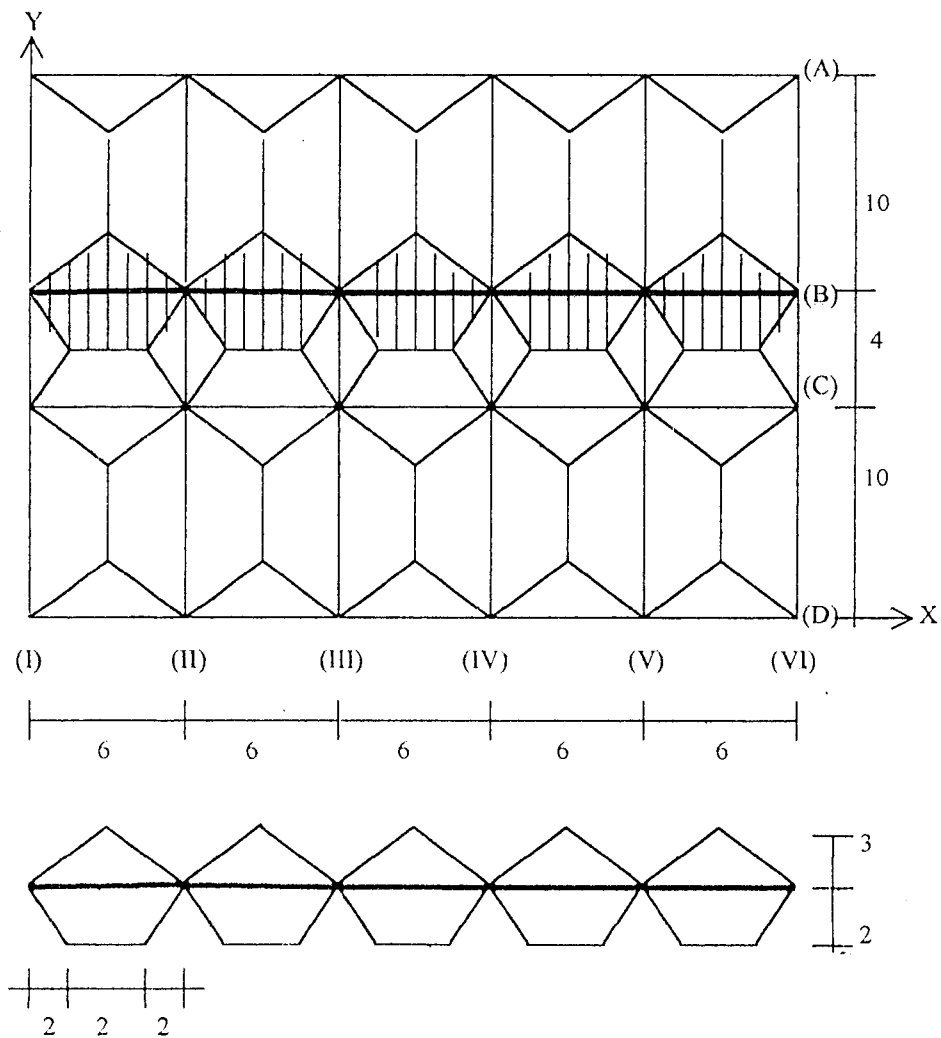
Waktu getar struktur

$$T_y = 2\pi \sqrt{\frac{\sum (W_i \cdot d_i^2)}{g \sum (F_i \cdot d_i)}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{2,958}{9,81 \cdot 6,063}} = 1,40 \text{ detik} > 0,95 \text{ detik} \dots \dots \text{ok}$$

4.2.2 Perhitungan Beban Akibat Gaya Gravitasi

1. Beban merata ekuivalen untuk portal arah x (portal B)



Gambar 4.4 Distribusi beban plat metode amplop arah sumbu x

Persamaan beban merata ekuivalen untuk distribusi beban plat berbentuk segitiga adalah,

$$q_{eq} = 1/3 \cdot q_{pl} \cdot lx$$

Sedang untuk bentuk trapesium adalah,

$$q_{eq} = 1/6 \cdot lx [3 - (lx/ly)^2] q_{pl}$$

dengan q_{eq} = beban merata ekuivalen

q_{pl} = beban merata plat

lx = bentang yang lebih pendek dari panel plat yang ditinjau

ly = bentang yang lebih panjang dari panel plat yang ditinjau

a. Lantai 10 (atap)

1. Beban merata plat/m² akibat beban mati

$$\text{- plat atap} = 0,12 \cdot 2,4 = 0,312 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- plafon} = 0,011 + 0,007 = 0,018 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- air hujan} = 0,02 \cdot 1,0 = 0,020 \text{ t/m}^2$$

$$q_{pl} = 0,350 \text{ t/m}^2$$

Beban merata ekuivalen bentuk segitiga

$$q_{eq} = 1/3 \cdot q_{pl} \cdot lx$$

$$= 1/3 \cdot 0,350 \cdot 6 = 0,700 \text{ t/m}^2$$

Beban merata ekuivalen bentuk trapesium

$$q_{eq} = 1/6 \cdot lx [3 - (lx/ly)^2] q_{pl}$$

$$= 1/6 \cdot 4 [3 - (4/6)^2] 0,350 = 0,596 \text{ t/m}^2$$

Berat sendiri balok

$$q_{bl} = 0,30 \cdot 0,48 \cdot 2,4 = 0,347 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } q_{\text{eq}} \text{ total} &= 0,700 + 0,596 + 0,347 \\ &= 1,643 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban merata plat/m² akibat beban hidup

$$q_h \text{ atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

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

$$q_{\text{pl}} = 0,6 \cdot 0,10 = 0,06 \text{ t/m}^2$$

Beban merata ekuivalen bentuk segitiga

$$q_{\text{eq}} = 1/3 \cdot 0,06 \cdot 6 = 0,120 \text{ t/m}^2$$

Beban merata ekuivalen bentuk trapesium

$$q_{\text{eq}} = 1/6 \cdot 4 \cdot [3 - (4/6)^2] \cdot 0,06 = 0,102 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } q_{\text{eq}} \text{ total} &= 0,120 + 0,102 \\ &= 0,222 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

b. Lantai 9 - lantai 1

1. Beban merata plat/m² akibat beban mati

$$\text{- plat lantai} = 0,13 \cdot 2,4 = 0,312 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- plafon} = 0,011 + 0,007 = 0,018 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- pasir} = 0,05 \cdot 1,6 = 0,080 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- spesi} = 0,02 \cdot 2,1 = 0,042 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- tegel} = 0,02 \cdot 2,4 = 0,048 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\text{pl}} = \underline{\underline{0,500 \text{ t/m}^2}}$$

Beban merata bentuk segitiga

$$q_{\text{eq}} = 1/3 \cdot 0,500 \cdot 6 = 1,00 \text{ t/m}^2$$

Beban merata trapesium

$$q_{eq} = 1/6 \cdot 4 [3 - (4/6)^2] 0,500 = 0,852 \text{ t/m'}$$

Berat sendiri balok

$$q_{bl} = 0,30 \cdot 0,47 \cdot 2,4 = 0,338 \text{ t/m'}$$

Berat dinding

$$q_{din} = 3,1 \cdot 0,250 = 0,775 \text{ t/m'}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } q_{eq} \text{ total} &= 1,00 + 0,852 + 0,338 + 0,775 \\ &= 2,965 \text{ t/m'} \end{aligned}$$

2. Beban merata plat/m' akibat beban hidup

$$q_h \text{ lantai} = 250 \text{ t/m}^2$$

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

$$q_{pl} = 0,6 \cdot 0,25 = 0,15 \text{ t/m'}$$

Beban merata ekivalen bentuk segitiga

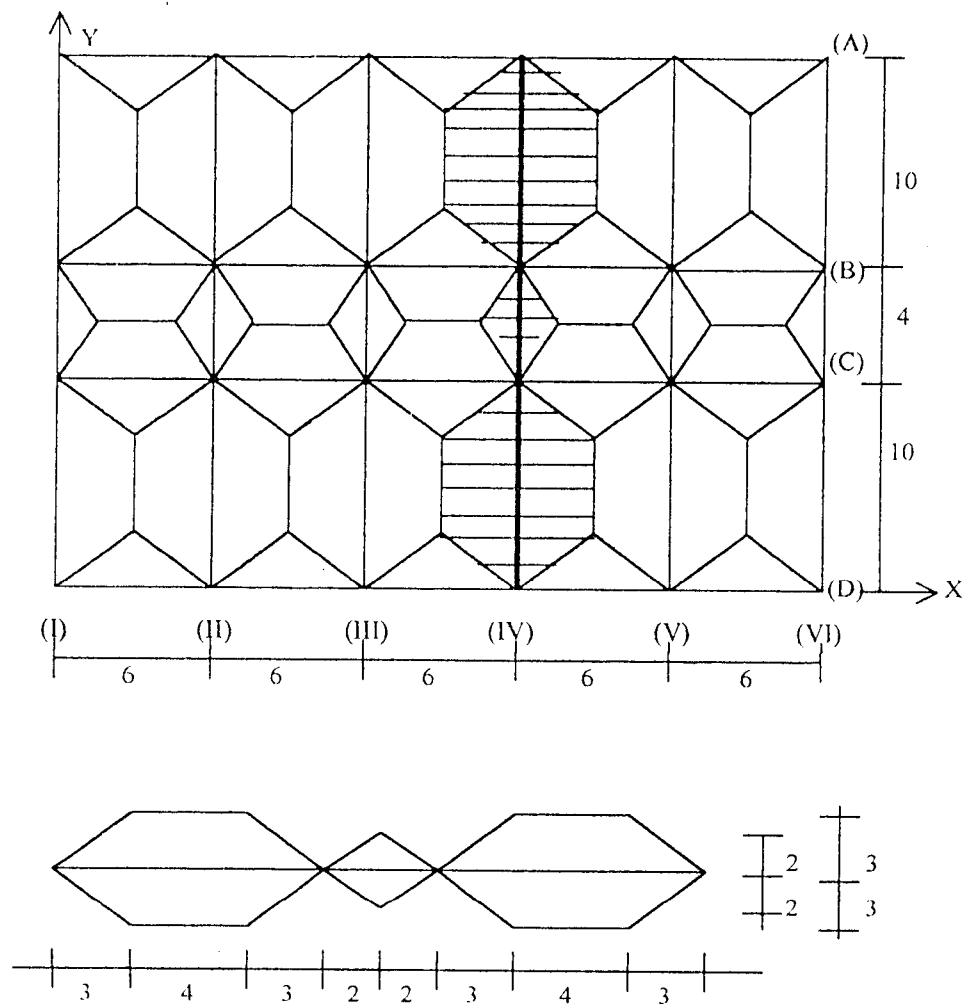
$$q_{eq} = 1/3 \cdot 6 \cdot 0,15 = 0,30 \text{ t/m'}$$

Beban merata ekivalen bentuk trapesium

$$q_{eq} = 1/6 \cdot 4 [3 - (4/6)^2] 0,15 = 0,23 \text{ t/m'}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } q_{eq} \text{ total} &= 0,30 + 0,23 \\ &= 0,530 \text{ t/m'} \end{aligned}$$

2. Beban merata ekivalen untuk portal arah y (portal IV)



Gambar 4.5 Distribusi beban plat metode amplop arah sumbu y

a. Lantai 10 (atap)

1. Beban merata plat/m' akibat beban mati

$$\text{- plat atap} = 0,12 \cdot 2,4 = 0,288 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- plafon} = 0,011 + 0,007 = 0,018 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- air hujan} = 0,02 \cdot 1,0 = 0,020 \text{ t/m}^2$$

$$q_{pl} = 0,326 \text{ t/m}^2$$

~ Balok AB = Balok CD

beban merata trapesium

$$q_{eq} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 6 \left[3 - \left(\frac{6}{10}\right)^2 \right] 0,326 = 1,721 \text{ t/m}^2$$

berat sendiri balok

$$q_{bl} = 0,35 \cdot 0,63 \cdot 2,4 = 0,529 \text{ t/m}^2$$

$$\text{maka } q_{eq} \text{ total} = 1,721 + 0,529$$

$$= 2,250 \text{ t/m}^2$$

~ Balok BC

beban merata segitiga

$$q_{eq} = 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,326 \cdot 4 = 0,869 \text{ t/m}^2$$

berat sendiri balok

$$q_{bl} = 0,30 \cdot 0,28 \cdot 2,4 = 0,202 \text{ t/m}^2$$

$$\text{maka } q_{eq} \text{ total} = 0,869 + 0,202$$

$$= 1,071 \text{ t/m}^2$$

2. Beban merata plat/m² akibat beban hidup

$$q_h \text{ atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

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

$$q_{pl} = 0,6 \cdot 0,10 = 0,06 \text{ t/m}^2$$

~ Balok AB = balok CD

beban merata trapesium

$$q_{eq} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 6 \left[3 - \left(\frac{6}{10}\right)^2 \right] 0,06 = 0,317 \text{ t/m}^2$$

~ Balok BC

beban merata segitiga

$$q_{eq} = 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,06 \cdot 4 = 0,160 \text{ t/m}^2$$

b. Lantai 9 – lantai 1

1. Beban merata plat/m² akibat beban mati

$$\text{- plat lantai} = 0,13 \cdot 2,4 = 0,312 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- plafon} = 0,011 + 0,007 = 0,018 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- pasir} = 0,05 \cdot 1,6 = 0,080 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- spesi} = 0,02 \cdot 2,1 = 0,042 \text{ t/m}^2$$

$$\text{- tegel} = 0,02 \cdot 2,4 = 0,048 \text{ t/m}^2$$

$$q_{pl} = 0,500 \text{ t/m}^2$$

~ Balok AB = balok CD

beban merata trapesium

$$q_{eq} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 6 \left[3 - \left(\frac{6}{10} \right)^2 \right] 0,500 = 2,64 \text{ t/m}^2$$

berat sendiri balok

$$q_{bt} = 0,35 \cdot 0,62 \cdot 2,4 = 0,521 \text{ t/m}^2$$

berat dinding

$$q_{din} = 2,95 \cdot 0,25 = 0,738 \text{ t/m}^2$$

$$\text{maka } q_{eq} \text{ total} = 2,264 + 0,521 + 0,738$$

$$3,523 \text{ t/m}^2$$

~ Balok BC

beban merata segitiga

$$q_{eq} = 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,500 \cdot 4 = 1,333 \text{ t/m}^2$$

berat sendiri balok

$$q_{bl} = 0,30 \cdot 0,27 \cdot 2,4 = 0,194 \text{ t/m}$$

berat dinding

$$q_{dm} = 3,3 \cdot 0,25 = 0,825 \text{ t/m}$$

$$\text{maka } q_{eq} \text{ total} = 1,333 + 0,194 + 0,825$$

$$= 2,352 \text{ t/m}$$

2. Beban merata plat/m' akibat beban hidup

$$q \text{ hidup lantai} = 250 \text{ kg/m}^2$$

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

$$q_{pl} = 0,6 \cdot 0,25 = 0,15 \text{ t/m}^2$$

~ Balok AB = balok CD

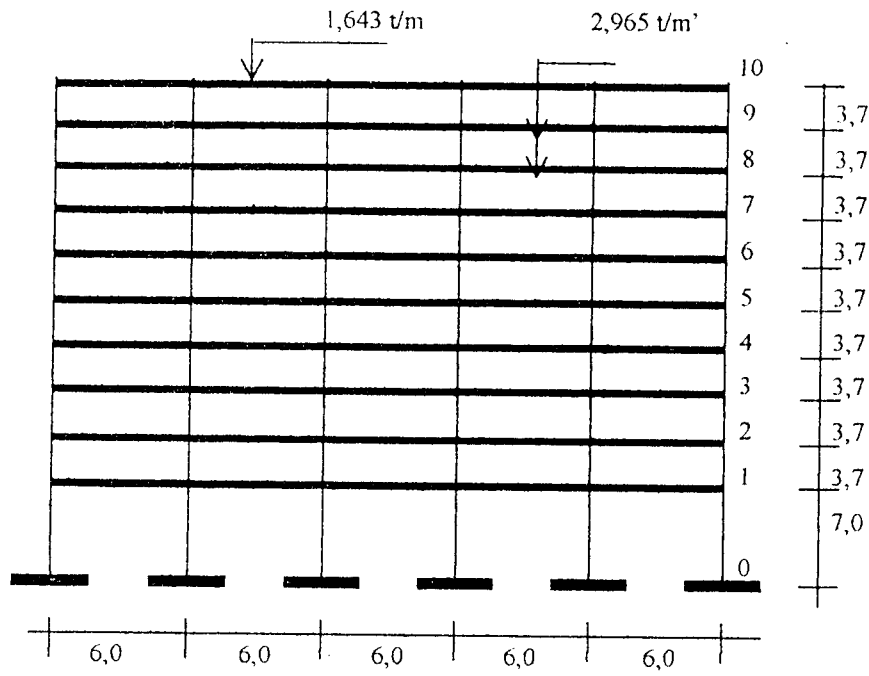
beban merata trapesium

$$q_{eq} = 2 \cdot 1/6 \cdot 6 [3 - (6/10)^2] 0,15 = 0,792 \text{ t/m}$$

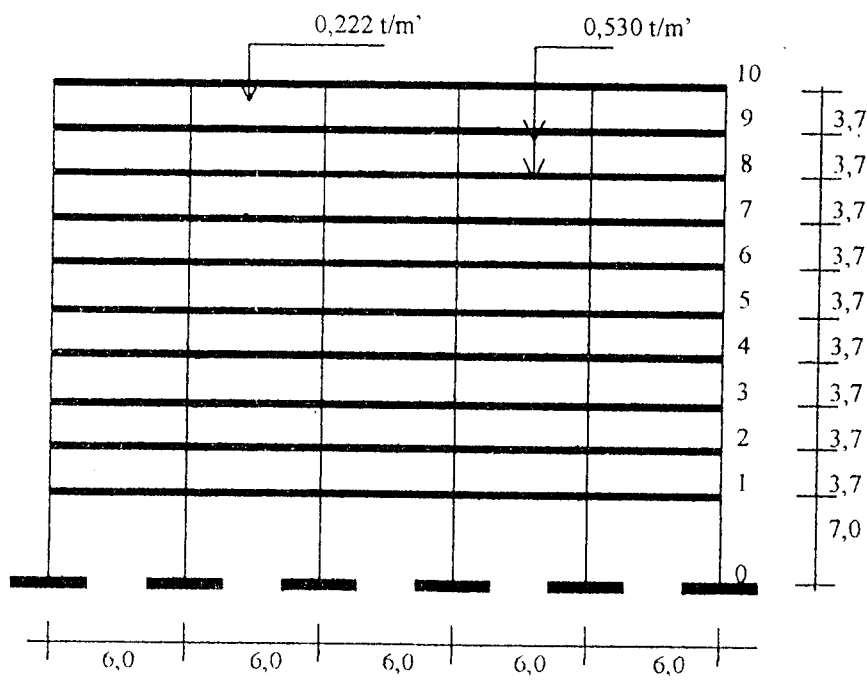
~ Balok BC

beban merata segitiga

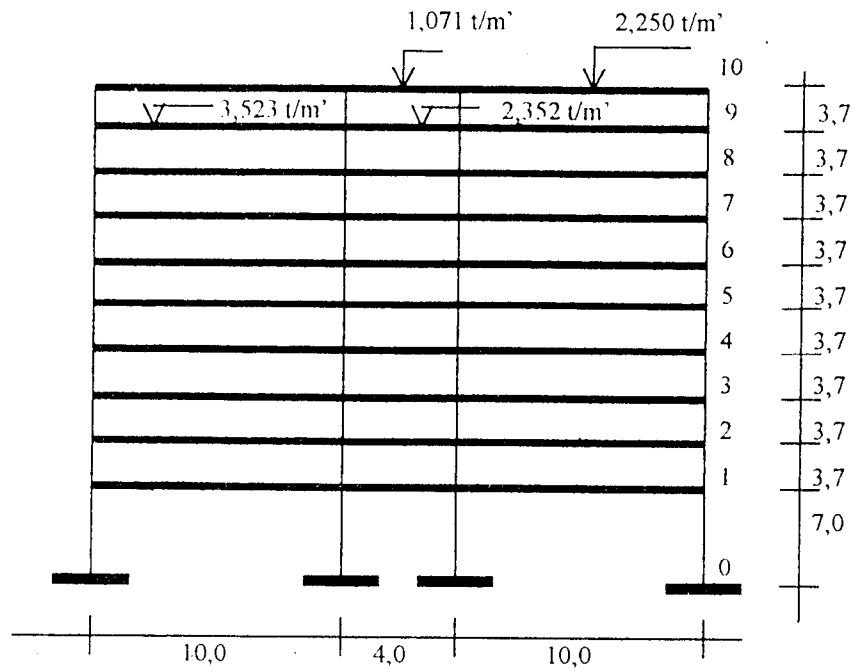
$$q_{eq} = 2 \cdot 1/3 \cdot 0,15 \cdot 4 = 0,400 \text{ t/m}$$



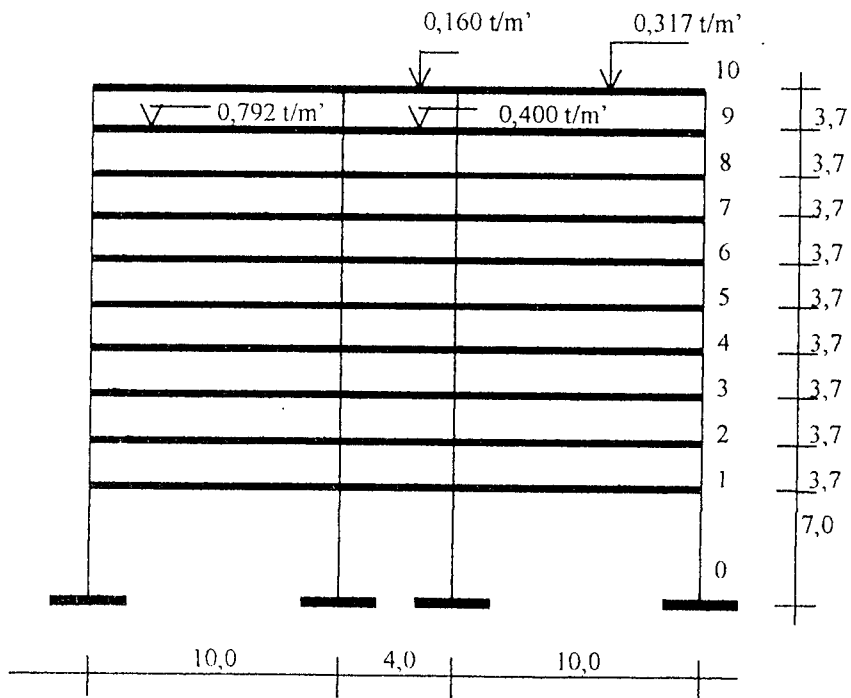
Gambar 4.6 Beban mati arah sumbu x (portal B)



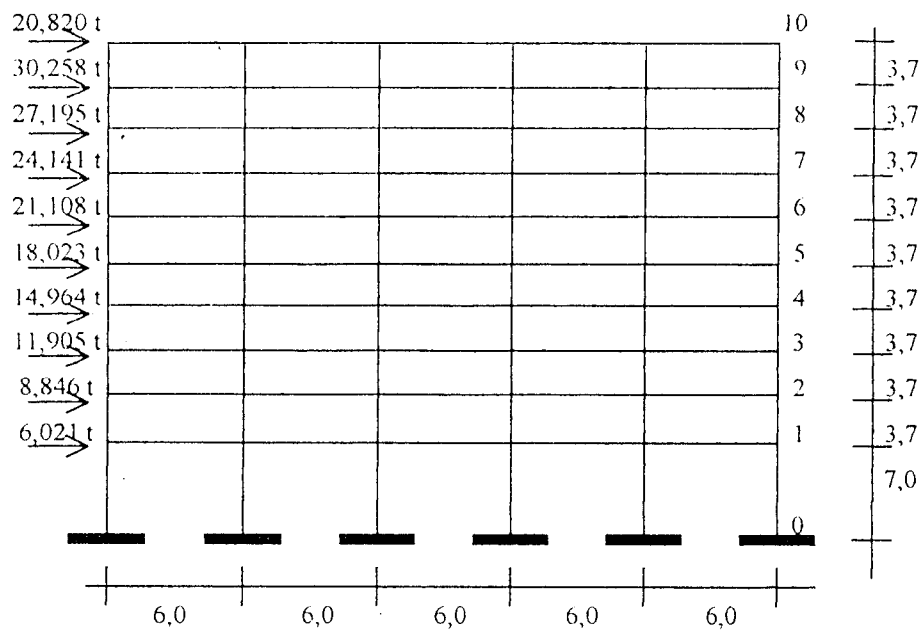
Gambar 4.7 Beban hidup arah sumbu x (portal B)



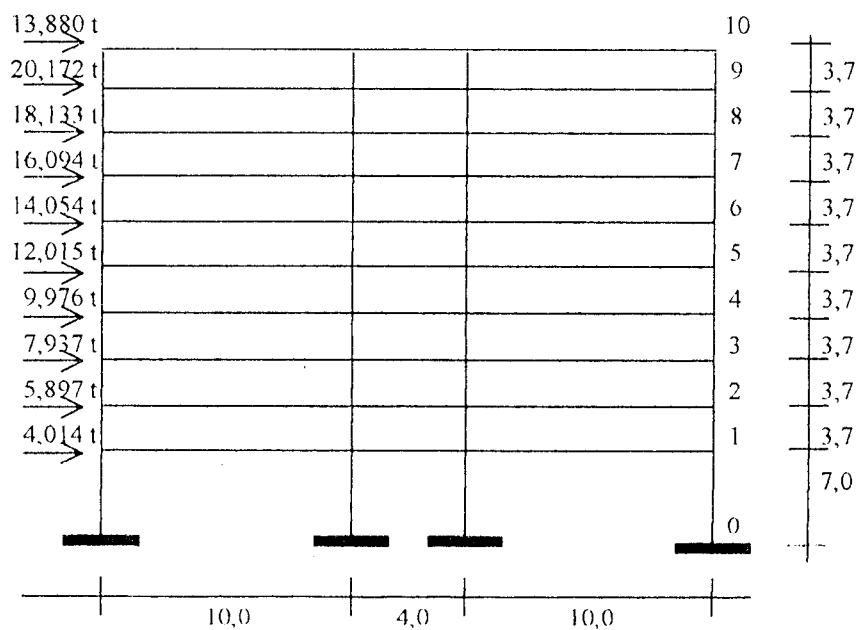
Gambar 4.8 Beban mati arah sumbu y (portal IV)



Gambar 4.9 Beban hidup arah sumbu y (portal IV)

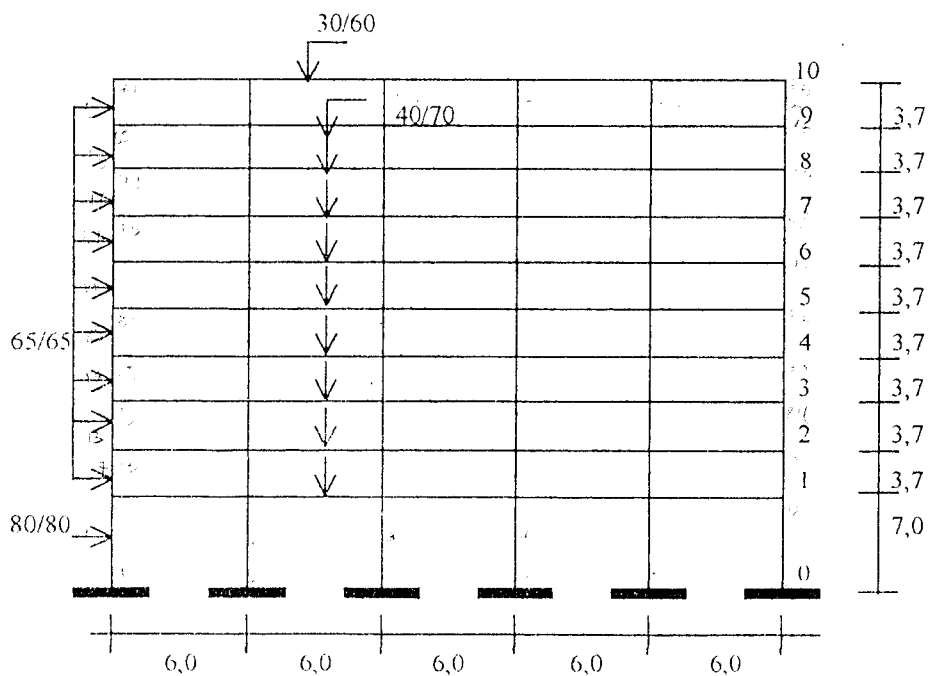


Gambar 4.10 Beban lateral arah sumbu x

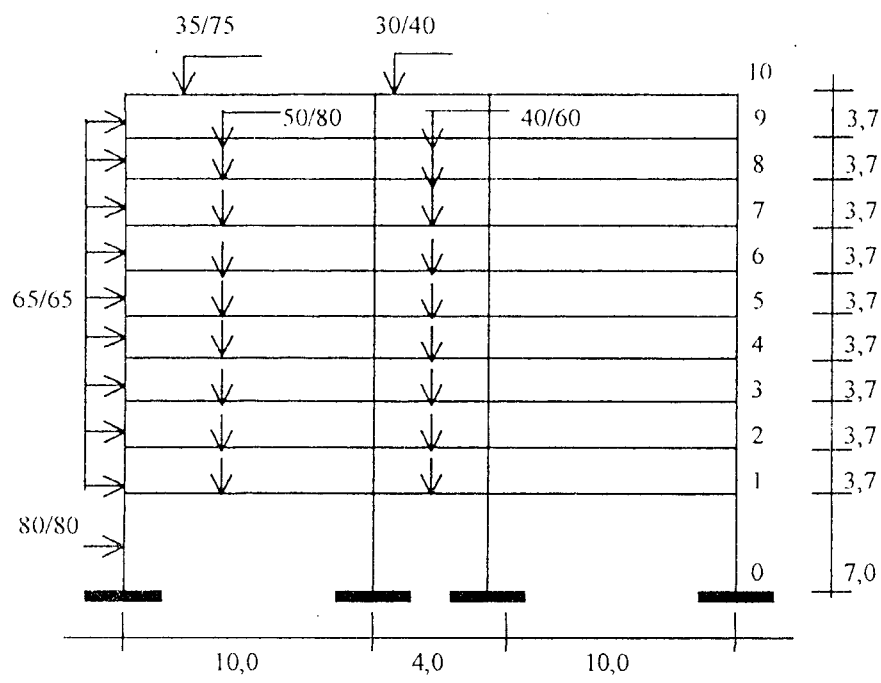


Gambar 4.11 Beban lateral arah sumbu y

Setelah pembebanan yang terdapat pada gambar 4.6 sampai 4.11 dihitung dengan menggunakan kombinasi pembebanan tertentu dengan bantuan program komputer SAP, gaya-gaya yang bekerja relatif besar, sehingga dengan asumsi dimensi yang terdapat pada gambar 4.1 dan 4.2 tidak cukup untuk menahan gaya yang bekerja, maka dimensi elemen portal diperbesar tanpa harus menghitung ulang besar beban yang bekerja setelah pembesaran dimensi batang termasuk perhitungan analisis struktur. Sebab penambahan berat tersebut diperkirakan kurang dari 5% dari berat total bangunan sebelum perubahan dimensi. Sementara itu, dengan pembesaran dimensi maka kekakuan elemen akan bertambah jauh lebih besar dibandingkan dengan kekakuan sebelum pembesaran. Perubahan dimensi elemen portal adalah sebagai berikut ini.



Gambar 4.12 Dimensi portal arah sumbu x yang direvisi



Gambar 4.13 Dimensi portal arah sumbu y yang direvisi

4.3 Analisis Efek P-Delta pada Perancangan Kolom

4.3.1 Iterasi Efek P-Delta

Langkah pertama yaitu dengan melakukan analisis linear struktur pada portal dengan dimensi yang telah direvisi dan dengan pembebanan seperti gambar di atas untuk masing-masing arah. Analisis linear yang dipakai adalah metode matrik kekakuan atau elemen hingga yaitu paket program komputer SAP. Adapun langkah selanjutnya dipakai metode dengan memodifikasi gaya-gaya dalam hasil analisis linear seperti yang telah diuraikan pada bab di muka. Kolom yang akan dianalisis adalah kolom luar (“exterior coloum”) dari masing-masing portal arah x maupun y dan hasil dari setiap langkah disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut ini.

Tabel 4.6 Hasil analisis efek P-Delta dengan iterasi arah sumbu x

Iterasi ke	Lantai ke-i	Gaya Lateral H_i (ton)	Defleksi Lateral Δ_i (m)	Gaya Aksial total Lantai ke-i ΣP_i (ton)	Pertambahan Gaya Lintang Lantai ke-i V_i' (ton)	Pertambahan Gaya Lateral Lantai ke-i H_i' (ton)	$H_i + H_i'$
0	10	20,820	0,095054	333,56	-	0,274	21,094
	9	30,258	0,092019	892,46	0,274	0,716	30,974
	8	27,199	0,087916	1451,35	0,990	1,302	28,501
	7	24,141	0,082074	2010,23	2,292	1,771	25,912
	6	21,108	0,074596	2569,12	4,063	2,116	23,224
	5	18,023	0,065697	3128,01	6,179	2,360	20,383
	4	14,964	0,055597	3686,90	8,539	2,508	17,472
	3	11,905	0,044511	4245,77	11,047	2,637	14,542
	2	8,846	0,032586	4804,67	13,684	3,304	12,150
	1	6,021	0,019504	5573,56	16,988	-1,458	4,563
	0	-	0	-	15,530	-	-
1	10		0,101398	333,56	-	0,279	21,099
	9		0,098304	892,46	0,279	0,735	30,993
	8		0,094101	1451,35	1,014	1,351	28,550
	7		0,088071	2010,23	2,365	1,865	26,006
	6		0,080286	2569,12	4,230	2,263	23,371
	5		0,070935	3128,01	6,493	2,562	20,585
	4		0,060224	3686,90	9,055	2,769	17,733
	3		0,048358	4245,77	11,824	2,967	14,872
	2		0,035468	4804,67	14,791	3,764	12,610
	1		0,021179	5573,56	18,555	-1,692	4,329
	0		0	-	16,863	-	-

Iterasi ke	Lantai ke-i	Gaya Lateral H_i (ton)	Defleksi Lateral Δ_i (m)	Gaya Aksial total Lantai ke-i ΣP_i (ton)	Pertambahan Gaya Lintang Lantai ke-i V_i' (ton)	Pertambahan Gaya Lateral Lantai ke-i H_i' (ton)	$H_i + H_i'$
2	10		0,101873	333,56	-	0,279	21,099
	9		0,098777	892,46	0,279	0,736	30,994
	8		0,094570	1451,35	1,015	1,353	28,552
	7		0,088533	2010,23	2,368	1,869	26,010
	6		0,080735	2569,12	4,237	2,273	23,381
	5		0,071360	3128,01	6,510	2,577	20,600
	4		0,060611	3686,90	9,087	2,792	17,756
	3		0,048690	4245,77	11,879	3,002	14,907
	2		0,035722	4804,67	14,881	3,816	12,662
	1		0,021324	5573,56	18,697	-1,718	4,303
	0		0	-	16,979	-	-
3	10		0,101911	333,56	-	0,279	21,099
	9		0,098815	892,46	0,279	0,736	30,994
	8		0,094608	1451,35	1,015	1,353	28,552
	7		0,088570	2010,23	2,368	1,869	26,010
	6		0,080771	2569,12	4,237	2,273	23,381
	5		0,071395	3128,01	6,510	2,579	20,602
	4		0,060644	3686,90	9,089	2,794	17,758
	3		0,048719	4245,77	11,883	3,006	14,911
	2		0,035744	4804,67	14,889	3,821	12,667
	1		0,021336	5573,56	18,710	-1,722	4,299
	0		0	-	16,988	-	-

Iterasi ke	Lantai ke-i	Gaya Lateral H_i (ton)	Defleksi Lateral Δ_i (m)	Gaya Aksial total Lantai ke-i ΣP_i (ton)	Pertambahan Gaya Lintang Lantai ke-i V_i' (ton)	Pertambahan Gaya Lateral Lantai ke-i H_i' (ton)	$H_i + H_i'$
4	10		0,101913	333,56	-	0,279	21,099
	9		0,098818	892,46	0,279	0,736	30,994
	8		0,094611	1451,35	1,015	1,353	28,552
	7		0,088573	2010,23	2,368	1,869	26,010
	6		0,080774	2569,12	4,237	2,273	23,381
	5		0,071398	3128,01	6,510	2,580	20,603
	4		0,060646	3686,90	9,090	2,793	17,757
	3		0,048721	4245,77	11,883	3,006	14,911
	2		0,035746	4804,67	14,889	3,822	12,668
	1		0,021337	5573,56	18,711	-1,722	4,299
	0		0	-	16,989	-	-
5	10		0,101914	333,56	-	0,279	21,099
	9		0,098818	892,46	0,279	0,736	30,994
	8		0,094611	1451,35	1,015	1,353	28,552
	7		0,088574	2010,23	2,368	1,870	26,011
	6		0,080774	2569,12	4,238	2,272	23,380
	5		0,071398	3128,01	6,510	2,579	20,602
	4		0,060647	3686,90	9,089	2,795	17,759
	3		0,048721	4245,77	11,884	3,005	14,910
	2		0,035746	4804,67	14,889	3,821	12,667
	1		0,021338	5573,56	18,710	-1,720	4,297
	0		0	-	16,990	-	-

Tabel 4.7 Hasil analisis efek P-Delta dengan iterasi arah sumbu y

Iterasi ke	Lantai ke-i	Gaya Lateral H_i (ton)	Defleksi Lateral Δ_i (m)	Gaya Aksial total Lantai ke-i ΣP_i (ton)	Pertambahan Gaya Lintang Lantai ke-i V_i' (ton)	Pertambahan Gaya Lateral Lantai ke-i H_i' (ton)	$H_i + H_i'$
0	10	13,880	0,097581	282,85	-	0,245	14,125
	9	20,172	0,094374	771,72	0,245	0,632	20,804
	8	18,133	0,090170	1260,57	0,877	1,182	19,315
	7	16,094	0,084127	1749,44	2,059	1,590	17,684
	6	14,054	0,076410	2238,31	3,649	1,900	15,954
	5	12,015	0,067237	2727,15	5,549	2,117	14,132
	4	9,976	0,056837	3216,02	7,666	2,248	12,224
	3	7,937	0,045431	3704,88	9,914	2,352	10,289
	2	5,897	0,033181	4193,73	12,266	3,003	8,900
	1	4,014	0,019710	4822,60	15,269	-1,690	2,324
	0	-	0	-	13,579	-	-
1	10		0,106573	282,85	-	0,252	14,132
	9		0,103281	771,72	0,252	0,656	20,828
	8		0,098929	1260,57	0,908	1,243	19,376
	7		0,092614	1749,44	2,151	1,628	17,722
	6		0,084622	2238,31	3,779	2,250	16,304
	5		0,074656	2727,15	6,029	2,266	14,281
	4		0,063402	3216,02	8,295	2,565	12,541
	3		0,050908	3704,88	10,860	2,759	10,696
	2		0,037307	4193,73	13,619	3,593	9,490
	1		0,022121	4822,60	17,212	-1,972	2,042
	0		0	-	15,240	-	-

Iterasi ke	Lantai ke-i	Gaya Lateral H_i (ton)	Defleksi Lateral Δ_i (m)	Gaya Aksial total Lantai ke-i ΣP_i (ton)	Pertambahan Gaya Lintang Lantai ke-i V_i' (ton)	Pertambahan Gaya Lateral Lantai ke-i H_i' (ton)	$H_i + H_i'$
2	10		0,107200	282,85	-	0,252	14,132
	9		0,103904	771,72	0,252	0,657	20,829
	8		0,099544	1260,57	0,909	1,251	19,384
	7		0,093216	1749,44	2,160	1,705	17,799
	6		0,085041	2238,31	3,865	2,098	16,152
	5		0,075184	2727,15	5,963	2,385	14,400
	4		0,063858	3216,02	8,348	2,601	12,577
	3		0,051261	3704,88	10,949	2,800	10,737
	2		0,037530	4193,73	13,749	3,582	9,479
	1		0,022239	4822,60	17,331	-2,010	2,004
	0		0	-	15,321	-	-
3	10		0,107260	282,85	-	0,252	14,132
	9		0,103964	771,72	0,252	0,658	20,830
	8		0,099603	1260,57	0,910	1,247	19,380
	7		0,093273	1749,44	2,157	1,711	17,805
	6		0,085092	2238,31	3,868	2,093	16,147
	5		0,075238	2727,15	5,961	2,391	14,406
	4		0,063907	3216,02	8,352	2,605	12,581
	3		0,051301	3704,88	10,957	2,805	10,742
	2		0,037557	4193,73	13,762	3,584	9,481
	1		0,022253	4822,60	17,346	-2,015	1,999
	0		0	-	15,331	-	-

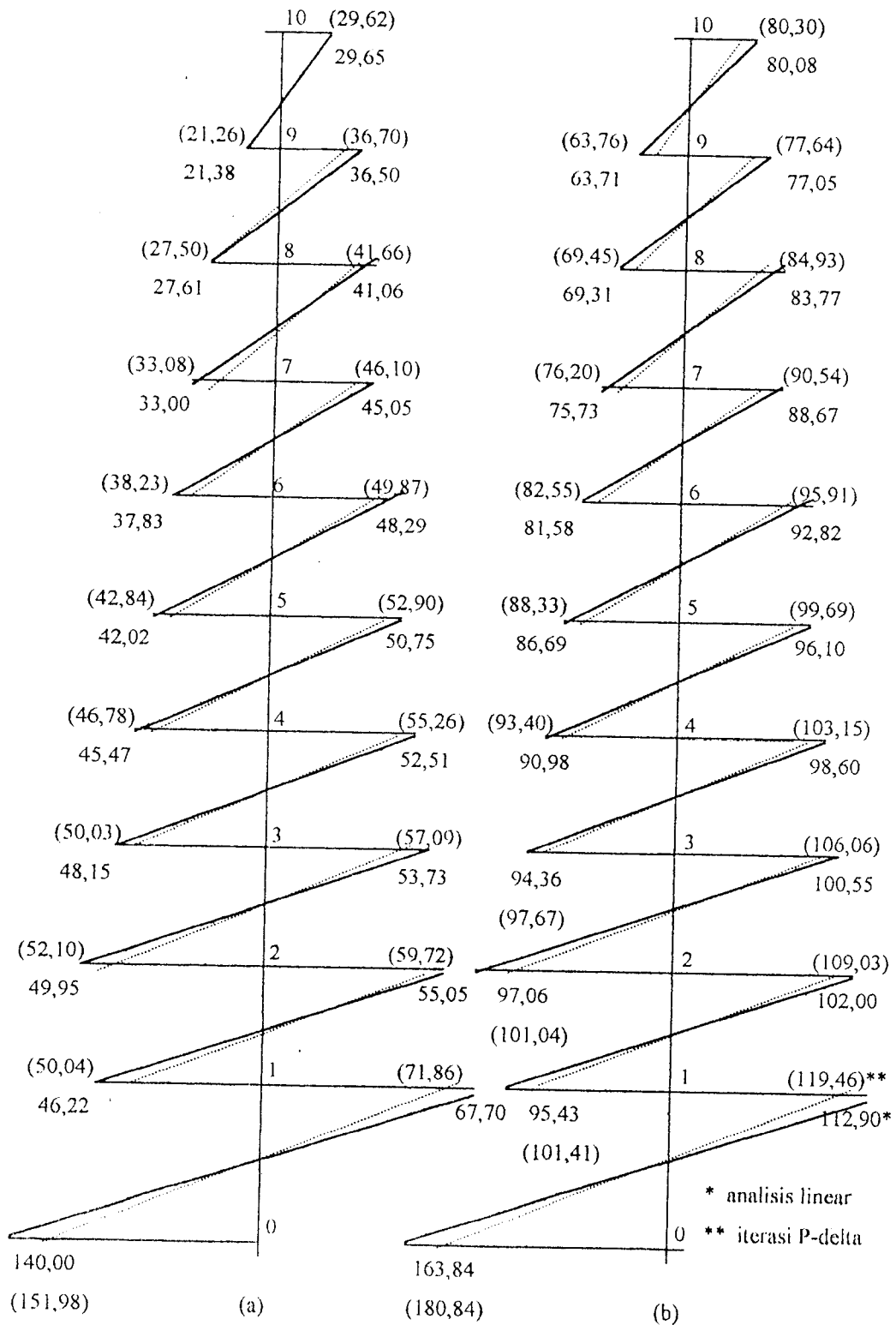
Iterasi ke	Lantai ke-i	Gaya Lateral H_i (ton)	Defleksi Lateral Δ_i (m)	Gaya Aksial total Lantai ke-i ΣP_i (ton)	Pertambahan Gaya Lintang Lantai ke-i V_i' (ton)	Pertambahan Gaya Lateral Lantai ke-i H_i' (ton)	$H_i + H_i'$
4	10		0,107266	282,85	-	0,252	14,132
	9		0,103970	771,72	0,252	0,658	20,830
	8		0,099609	1260,57	0,910	1,247	19,380
	7		0,093279	1749,44	2,157	1,711	17,805
	6		0,085098	2238,31	3,868	2,093	16,147
	5		0,075244	2727,15	5,961	2,391	14,406
	4		0,063912	3216,02	8,352	2,605	12,581
	3		0,051306	3704,88	10,957	2,807	10,744
	2		0,037560	4193,73	13,764	3,583	9,480
	1		0,022255	4822,60	17,347	-2,014	1,999
	0		0	-	15,332	-	-
5	10		0,107267	282,85	-	0,252	14,132
	9		0,103970	771,72	0,252	0,658	20,830
	8		0,099610	1260,57	0,910	1,247	19,380
	7		0,093280	1749,44	2,157	1,711	17,805
	6		0,085099	2238,31	3,868	2,094	16,148
	5		0,075244	2727,15	5,962	2,390	14,405
	4		0,063913	3216,02	8,352	2,606	12,582
	3		0,051306	3704,88	10,958	2,806	10,743
	2		0,037560	4193,73	13,764	3,583	9,480
	1		0,022255	4822,60	17,347	-2,014	1,999
	0		0	-	15,332	-	-

Tabel 4.8 Gaya lateral dan defleksi lateral arah sumbu x

Lantai ke-i	Gaya lateral awal H_i (ton)	Defleksi lateral awal Δ_i (m)	Gaya lateral akhir H_i^* (ton)	Defleksi lateral akhir Δ_i^* (m)
10	20,820	0,095054	21,099	0,101914
9	30,258	0,092019	30,994	0,098818
8	27,199	0,087916	28,552	0,094611
7	24,141	0,082074	26,011	0,088574
6	21,108	0,074596	23,380	0,080774
5	18,023	0,065697	20,602	0,071398
4	14,964	0,055597	17,759	0,060647
3	11,905	0,044511	14,910	0,048721
2	8,846	0,032586	12,667	0,035746
1	6,021	0,019504	4,297	0,021338
0	-	0	-	0

Tabel 4.9 Gaya lateral dan defleksi lateral arah sumbu y

Lantai ke-i	Gaya lateral awal H_i (ton)	Defleksi lateral awal Δ_i (m)	Gaya lateral akhir H_i^* (ton)	Defleksi lateral akhir Δ_i^* (m)
10	13,880	0,097581	14,132	0,107267
9	20,172	0,094374	20,830	0,103970
8	18,133	0,090170	19,380	0,099610
7	16,094	0,084127	17,805	0,093280
6	14,054	0,076410	16,148	0,085099
5	12,015	0,067237	14,405	0,075244
4	9,976	0,056837	12,582	0,063913
3	7,937	0,045431	10,743	0,051306
2	5,897	0,033181	9,480	0,037560
1	4,014	0,019710	1,999	0,022255
0	-	0	-	0



Gambar 4.14 Momen hasil analisis efek P-delta (a) arah sumbu x (b) arah sumbu (y)

Gambar 4.14 merupakan momen lentur pada ujung-ujung kolom dan balok, baik hasil analisis linear maupun hasil analisis efek P-delta dengan iterasi. Dari gambar tersebut dapat dihitung faktor pembesaran momen (“momen magnification faktor”) untuk kolom di setiap lantai, yang didefinisikan sebagai rasio antara momen lentur yang diperoleh dari analisis iterasi efek P-delta dengan momen lentur yang diperoleh dari analisis linear, yaitu sebagai berikut ini.

Tabel 4.10 Faktor pembesaran momen dengan iterasi

Tingkat ke-i	Faktor pembesaran momen	
	Portal sumbu x	Portal sumbu y
10	1,000	1,003
9	1,005	1,008
8	1,015	1,014
7	1,023	1,021
6	1,033	1,033
5	1,042	1,037
4	1,052	1,046
3	1,063	1,055
2	1,085	1,069
1	1,086	1,104

4.3.2 Metode Faktor Amplifikasi

Seperti telah diuraikan pada bab terdahulu, metode ini merupakan metode yang sederhana dan umum dipakai. Dengan cara ini dapat diketahui defleksi dan momen akhir hanya dengan mengalikan faktor pembesaran yang sesuai baik untuk defleksi dan momen hasil analisis linear.

Faktor pembesaran yang terjadi untuk masing-masing tingkat akan diuraikan sebagai berikut ini.

~ **Arah sumbu x**

$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{30} = 25743 \text{ Mpa} = 2625786 \text{ t/m}^2$$

$$I_{c1} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,65 \cdot 0,65^3 = 0,014876 \text{ m}^4$$

$$I_{c2} = 1/12 \cdot 0,80 \cdot 0,80^3 = 0,034133 \text{ m}^4$$

$$\frac{I_{c1}}{h} = \frac{0,014876}{3,7} = 0,0040205 \text{ m}^3$$

$$\frac{I_{c2}}{h} = \frac{0,034133}{7} = 0,0048761 \text{ m}^3$$

$$I_{g1} = 1/12 \cdot 0,30 \cdot 0,60^3 = 0,00540 \text{ m}^4$$

$$I_{g2} = 1/12 \cdot 0,40 \cdot 0,70^3 = 0,01143 \text{ m}^4$$

$$\frac{I_{g1}}{L} = \frac{0,00540}{6} = 0,000900 \text{ m}^3$$

$$\frac{I_{g2}}{L} = \frac{0,01143}{6} = 0,001905 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban tekuk kritis } P_{icr} = \frac{12 E}{h_i (1/C_i + 1/G_i)}$$

$$C_i = \Sigma (I_{c_i} / h_i), \quad G_i = \Sigma (I_{g_i} / L_i)$$

$$\text{Faktor pembesaran/amplifikasi } F_i = \frac{1}{1 - (P_i / P_{icr})}$$

$$\text{Defleksi akhir } \Delta^* = F \cdot \Delta = \frac{1}{1 - (P_i / P_{icr})} \cdot \Delta$$

$$\text{Momen akhir } M^* = \frac{1}{1 - (P_i / P_{icr})} \cdot M$$

Lantai 10

$$C_{10} = \Sigma (I c_1 / h) = 6 (0,0040205) = 0,024123 \text{ m}^3$$

$$G_{10} = \Sigma (I g_1 / L) = 5 (0,000900) = 0,00450 \text{ m}^3$$

$$P_{10 \text{ cr}} = \frac{12 E}{h (1/C_1 + 1/G_1)} = \frac{12 \cdot 2625786}{3,7 (1/0,024123 + 1/0,00450)}$$

$$= 32297,398 \text{ ton}$$

$$P_{10} = 333,56 \text{ ton}$$

$$F = \frac{1}{1 - (P_{10} / P_{10 \text{ cr}})} = \frac{1}{1 - (333,56 / 32297,398)} = 1,010$$

$$\Delta^* = F \cdot \Delta = 1,010 \cdot 0,095054 = 0,096005 \text{ m}$$

$$M^+ = F \cdot M^+ = 1,010 \cdot 21,38 = 21,59 \text{ tm}$$

$$M^- = F \cdot M^- = 1,010 \cdot 29,65 = 29,95 \text{ tm}$$

Untuk tingkat lainnya akan diuraikan dalam bentuk tabel di bawah ini.

Tabel 4.11 Hasil metode faktor amplifikasi arah sumbu x

Tingkat ke-i	Beban tekuk kritis P_{cr} (ton)	Beban aksial total ΣP (ton)	Faktor amplifikasi F	Defleksi akhir Δ^* (m)	Momen akhir M^*	
					M^+ (tm)	M^- (tm)
10	32297,398	333,56	1,010	0,095909	21,59	29,95
9	58153,505	892,46	1,016	0,093491	28,05	37,08
8	58153,505	1451,35	1,026	0,090212	33,86	42,74
7	58153,505	2010,23	1,036	0,085029	39,19	46,67
6	58153,505	2569,12	1,046	0,078027	43,95	50,51
5	58153,505	3128,01	1,057	0,069412	48,06	53,64
4	58153,505	3688,90	1,068	0,059484	51,42	56,08
3	58153,505	4245,77	1,079	0,048027	53,90	57,97
2	58153,505	4804,67	1,090	0,035421	50,38	60,00
1	32344,725	5573,56	1,208	0,021376	169,12	81,78

~ Arah sumbu y

$$E = 25743 \text{ Mpa}$$

$$= 2625786 \text{ t/m}^2$$

$$I_{c1} = 1/12 \cdot 0,65 \cdot 0,65^3$$

$$= 0,014876 \text{ m}^4$$

$$I_{c2} = 1/12 \cdot 0,80 \cdot 0,80^3$$

$$= 0,034133 \text{ m}^4$$

$$\frac{I_{c1}}{h} = \frac{0,014876}{3,7} = 0,00402 \text{ m}^3$$

$$\frac{I_{c2}}{h} = \frac{0,034133}{7} = 0,00487 \text{ m}^3$$

$$I_{g1} = 1/12 \cdot 0,30 \cdot 0,40^3 = 0,00160 \text{ m}^4$$

$$I_{g2} = 1/12 \cdot 0,35 \cdot 0,75^3 = 0,01230 \text{ m}^4$$

$$I_{g3} = 1/12 \cdot 0,40 \cdot 0,60^3 = 0,00720 \text{ m}^4$$

$$I_{g4} = 1/12 \cdot 0,50 \cdot 0,80^3 = 0,02133 \text{ m}^4$$

$$\frac{I_{g1}}{L} = \frac{0,00160}{4} = 0,00040 \text{ m}^3$$

$$\frac{I_{g2}}{L} = \frac{0,01230}{10} = 0,00123 \text{ m}^3$$

$$\frac{I_{g3}}{L} = \frac{0,00720}{4} = 0,00180 \text{ m}^3$$

$$\frac{I_{g4}}{L} = \frac{0,02133}{10} = 0,002133 \text{ m}^3$$

Perhitungan untuk masing-masing tingkat disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.12 Hasil metode faktor amplifikasi arah sumbu y

Tingkat ke-i	Beban tekuk kritis P_{cr} (ton)	Beban aksial total ΣP (ton)	Faktor amplifikasi F	Defleksi akhir Δ^* (m)	Momen akhir M^*	
					M^+ (tm)	M^- (tm)
10	20678,12	282,85	1,014	0,098947	64,60	81,42
9	37508,70	771,72	1,021	0,096356	70,76	78,67
8	37508,70	1260,57	1,035	0,093326	78,38	86,70
7	37508,70	1749,44	1,050	0,088333	85,66	93,10
6	37508,70	2238,31	1,063	0,081224	92,15	98,67
5	37508,70	2727,15	1,078	0,071944	98,08	103,69
4	37508,70	3216,02	1,095	0,062237	103,32	107,97
3	37508,70	3704,88	1,109	0,050283	107,64	111,51
2	37508,70	4193,73	1,126	0,037362	107,45	114,86
1	26480,58	4822,60	1,222	0,024086	200,21	137,96

BAB V

PEMBAHASAN

Analisis struktur yang biasa dipakai dalam praktek untuk menetapkan distribusi momen lentur, gaya lintang, maupun gaya normal yang terjadi di dalam struktur akibat beban luar adalah analisis linear (“linear analysis”/“first order analysis”). Pada analisis tersebut, hubungan antara tegangan dan regangan dari bahan dianggap linear dan pengaruh dari deformasi terhadap persamaan keseimbangan struktur diabaikan. Analisis tersebut menghasilkan hubungan antara beban dan lendutan bersifat linear dan “overestimate” baik kekakuan (“stiffnes”) maupun kekuatan (“strength”) struktur yang dianalisis.

Analisis yang lebih akurat dapat dilakukan dengan cara persamaan keseimbangan struktur diformulasikan berdasarkan konfigurasi struktur yang sudah terdeformasi (“deformed configuration”) yang nilainya belum diketahui. Dengan kata lain momen sekunder (efek P-delta) yang dihasilkan oleh gaya aksial yang bekerja pada kolom yang telah mengalami goyangan ke samping telah diperhitungkan pengaruhnya dalam analisis, yaitu analisis nonlinear (“nonlinear analysis”/“second order analysis”).

Dalam penulisan tugas akhir ini, dicoba untuk melakukan analisis P-delta dengan metode yang telah disederhanakan dan dapat dipakai dalam batas-batas

tertentu untuk menggantikan analisis nonlinear (analisis orde kedua) yang cukup rumit dan mahal. Adapun metode yang dipakai adalah metode faktor amplifikasi yang umum dipakai dan metode iterasi dengan memodifikasi gaya-gaya dalam hasil analisis linear.

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan dengan menggunakan metode-metode di atas terhadap konfigurasi, dimensi dan beban-beban yang bekerja pada struktur portal yang ditinjau dengan langkah dan teknik perhitungan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, dapat diketahui hasil akhir dari metode tersebut. Adapun hasil akhir tersebut adalah defleksi dan momen akhir serta faktor pembesaran yang terjadi pada elemen kolom pada struktur portal yang ditinjau dengan telah memperhitungkan efek P-delta, yang ditunjukkan pada tabel-tabel berikut ini.

Tabel 5.1 Komparasi defleksi lateral akhir arah sumbu x

Lantai ke-i	Defleksi lateral akhir Δ^* (m)	
	Iterasi efek P-delta	Metode faktor amplifikasi
10	0,101525	0,095589
9	0,098465	0,093155
8	0,094267	0,089816
7	0,088239	0,084599
6	0,080456	0,077723
5	0,071104	0,069115
4	0,060386	0,059051
3	0,048505	0,047771
2	0,035586	0,035300
1	0,021254	0,021352

Tabel 5.2 Komparasi momen akhir arah sumbu x

Lantai ke-i	Momen akhir M*			
	Iterasi efek P-delta		Metode faktor amplifikasi	
	M+ (tm)	M-(tm)	M+(tm)	M-(tm)
10	19,57	27,83	19,67	27,79
9	25,63	34,72	26,02	35,01
8	31,23	39,77	31,80	40,06
7	36,40	44,23	37,14	44,58
6	41,04	48,02	41,95	48,49
5	45,03	51,08	46,08	51,62
4	48,33	53,49	49,34	54,07
3	50,47	55,38	51,99	56,04
2	48,47	58,08	48,63	58,16
1	150,69	70,34	152,45	72,66

Tabel 5.3 Komparasi faktor pembesaran momen arah sumbu x

Lantai ke-i	Faktor pembesaran	
	Iterasi efek P-delta	Metode faktor amplifikasi
10	1,000	1,009
9	1,006	1,015
8	1,015	1,024
7	1,023	1,033
6	1,032	1,044
5	1,042	1,054
4	1,051	1,064
3	1,061	1,075
2	1,082	1,085
1	1,082	1,096

Tabel 5.4 Komparasi defleksi lateral arah sumbu y

Lantai ke-i	Defleksi lateral akhir Δ^* (m)	
	Iterasi P-delta	Metode faktor amplifikasi
10	0,106658	0,098130
9	0,103407	0,094876
8	0,099056	0,091234
7	0,092742	0,083957
6	0,084587	0,078251
5	0,074771	0,069202
4	0,063494	0,058842
3	0,050958	0,047265
2	0,037302	0,034722
1	0,022122	0,020817

Tabel 5.5 Komparasi momen akhir arah sumbu y

Lantai ke-i	Momen akhir M^*			
	Iterasi P-delta		Metode faktor amplifikasi	
	M+(tm)	M-(tm)	M+(tm)	M-(tm)
10	59,19	75,35	55,34	75,18
9	64,72	72,82	50,40	66,41
8	71,48	80,17	65,91	74,67
7	77,82	85,74	72,69	79,91
6	83,58	90,68	78,42	84,73
5	88,63	94,84	83,20	88,50
4	92,88	98,26	87,17	91,58
3	96,22	101,15	90,53	94,01
2	96,46	104,13	88,96	96,16
1	161,65	114,75	167,51	108,58

Tabel 5.6 Komparasi faktor pembesaran arah sumbu y

Lantai ke-i	Faktor pembesaran	
	Iterasi P-delta	Metode faktor amplifikasi
10	1,003	1,009
9	1,008	1,008
8	1,014	1,014
7	1,021	1,019
6	1,029	1,026
5	1,037	1,031
4	1,045	1,037
3	1,054	1,042
2	1,068	1,048
1	1,099	1,056

Dari tabel 5.1–5.6 di atas dapat diketahui bahwa setelah melakukan analisis efek P-delta terhadap struktur yang ditinjau baik arah sumbu x dan sumbu y diperoleh defleksi dan momen akhir yang terjadi. Nilai defleksi dan momen akhir tersebut ternyata lebih besar dari defleksi dan momen awal, sehingga perlu kontrol terhadap defleksi dan momen yang terjadi.

Kontrol terhadap momen perlu dilakukan karena stabilitas dan keamanan struktur sangat dipengaruhi oleh momen yang bekerja. Pada perhitungan di atas, pembesaran momen akhir (momen akibat P-delta) yang terjadi pada struktur kolom yang dianalisis untuk setiap tingkat pada masing-masing arah rata-rata kurang dari 5% dari besar momen awal (momen analisis linear), sehingga dengan penambahan

tersebut, struktur cenderung masih mampu menahan momen akhir sehingga masih dalam keadaan aman.

Sedang kontrol terhadap defleksi akhir perlu dilakukan sebagai syarat kenyamanan penghuni gedung. Berdasarkan Peraturan Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung 1987, disebutkan bahwa untuk menghindari kepanikan penghuni dan juga untuk mengurangi pengaruh momen sekunder (efek P-delta pada kolom), ditetapkan lendutan setiap tingkat tidak boleh lebih besar dari nilai terkecil dari dua nilai berikut ini, yaitu : 0,005 tinggi tingkat yang ditinjau, atau 2 cm.

Dari stuktur yang dianalisis, tinggi tingkat yaitu 3,7 m (untuk lantai 1-10) dan 7 m (untuk lantai 0-1), sehingga defleksi yang diijinkan adalah

$$\sim \text{untuk lantai 1-10} = 0,005 \times 3,7 = 0,0185 \text{ m} = 1,85 \text{ cm}$$

$$\sim \text{untuk lantai 0-1} = 0,005 \times 7 = 0,035 \text{ m} = 3,5 \text{ cm (dipakai 2 cm)}$$

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, defleksi akhir yang terjadi untuk lantai 1-10 masih memenuhi persyaratan defleksi maksimum yang boleh terjadi. Sedangkan untuk lantai 0-1 (kolom paling bawah) terjadi defleksi akhir yang melebihi persyaratan di atas, sehingga harus dicek kembali (tidak nyaman). Hal ini dapat terjadi karena secara umum tingkat dasar suatu struktur portal didesain menjadi ruangan yang lebih leluasa dengan tidak memasang dinding-dinding. Sebaliknya pada lantai atas seringkali dipasang dinding-dinding dari pasangan batu-bata yang kaku dan masif, dan juga perbedaan tinggi lantai dasar dengan lantai di atasnya cukup besar. Keadaan inilah yang disebut "soft storey".

Pada keadaan ini akan terjadi tingkat yang lemah sebagai akibat dari cacatnya perencanaan konfigurasi bangunan yang berhubungan dengan kekakuan struktur, sehingga kemungkinan pada tingkat itulah yang akan rusak atau runtuh pada saat portal menerima beban lateral yang cukup besar. Maka diperlukan perencanaan yang lebih cermat, yaitu dengan memperhatikan konsep “strong coloum weak beam” untuk perencanaan struktur berlantai banyak. Pada keadaan ini kolom dibuat relatif lebih kuat dibanding balok, sehingga akan terjadi keruntuhan pada balok (“beam sway mechanism”), hal ini sesuai karena jika terjadi keruntuhan kolom, maka merupakan keruntuhan ultimit seluruh struktur yang hal tersebut harus dihindari. Selain itu disebutkan bahwa salah satu keuntungan konsep tersebut di atas adalah bahaya akibat ketidakstabilan struktur akibat efek P-delta menjadi kecil, sehingga konsep di atas harus diperhatikan dalam perencanaan struktur.

Dari uraian di atas, jelas bahwa dalam perencanaan struktur bangunan tingkat tinggi yang harus diperhatikan adalah adanya efek P-delta, sehingga perlu dimasukkan dalam perhitungan, dan juga masalah konfigurasi struktur serta konsep goyangan yang benar pada struktur agar diperoleh struktur yang benar-benar aman.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan perhitungan efek P-delta pada perencanaan kolom, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Gaya-gaya dalam dan defleksi yang terjadi pada struktur akibat beban luar yang biasa dipakai dalam praktek adalah hasil dari analisis linear (“first order analysis”) dan belum memperhitungkan adanya tambahan momen sekunder (efek P-delta). Karena efek P-delta sebenarnya ada, maka harus diperhatikan dan perlu dimasukkan dalam perencanaan struktur kolom bangunan tingkat tinggi, karena pada bangunan tersebut akan mengalami pengaruh interaksi dari beban gravitasi dan beban horisontal yang bekerja bersamaan.
2. Metode yang dipakai dalam perhitungan efek P-delta seperti yang telah diuraikan, merupakan salah satu metode dalam analisis efek P-delta dan dalam batas-batas tertentu dapat untuk menggantikan analisis nonlinear (“second order analysis”) yang saat ini masih dirasa cukup rumit mahal untuk dilakukan.
3. Dari perhitungan pada portal yang dianalisis dengan telah mempertimbangkan efek P-delta, maka akan terjadi defleksi dan momen akhir yang terjadi pada struktur. Nilai dari hasil tersebut lebih besar dari defleksi dan momen awal, sehingga perlu

dicek/kontrol terhadap hasil akhir tersebut. Untuk struktur portal yang dianalisis dapat dikatakan masih dalam keadaan stabil dan aman, sehingga efek P-delta tidak terlalu berpengaruh pada struktur dengan konfigurasi, dimensi dan beban tersebut di atas.

4. Untuk memperkecil ketidakstabilan struktur akibat efek P-delta, yang perlu diperhatikan adalah konsep goyangan struktur yang benar dan konfigurasi bangunan agar dicapai struktur yang benar-benar aman.

6.2 Saran-saran

Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut di atas, dapat diberikan saran-saran sebagai berikut ini.

1. Analisis yang dilakukan pada penulisan tugas akhir ini masih terbatas pada metode statis ekuivalen sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan metode analisis dinamis.
2. Model struktur yang digunakan dalam analisis ini adalah portal beton yang simetris pada semua sisi dengan beban gravitasi yang bekerja terbagi merata, sehingga studi lebih lanjut dapat dikembangkan dengan menggunakan model struktur yang tidak simetris (asimetris) dengan kombinasi pembebanan yang menggunakan beban terbagi rata dan beban titik.
3. Pada analisis ini beban angin tidak diperhitungkan sebagai beban lateral, sehingga studi lebih lanjut dapat dimasukkan beban angin sebagai beban lateral selain beban gempa yang telah digunakan.

4. Model struktur yang dianalisis adalah struktur tanpa tahanan terhadap goyangan ke samping (“unbraced frame”), sehingga dapat dikembangkan dengan analisis pada portal dengan tahanan ke samping (“braced frame”), antara lain dengan dinding geser pada struktur tersebut.
5. Analisis terhadap struktur yang telah mempertimbangkan efek P-delta ini hanya didasarkan pada defleksi dan momen akhir yang terjadi, sehingga untuk studi lebih lanjut dapat dikembangkan mengenai masalah penulangannya.

DAFTAR PUSTAKA

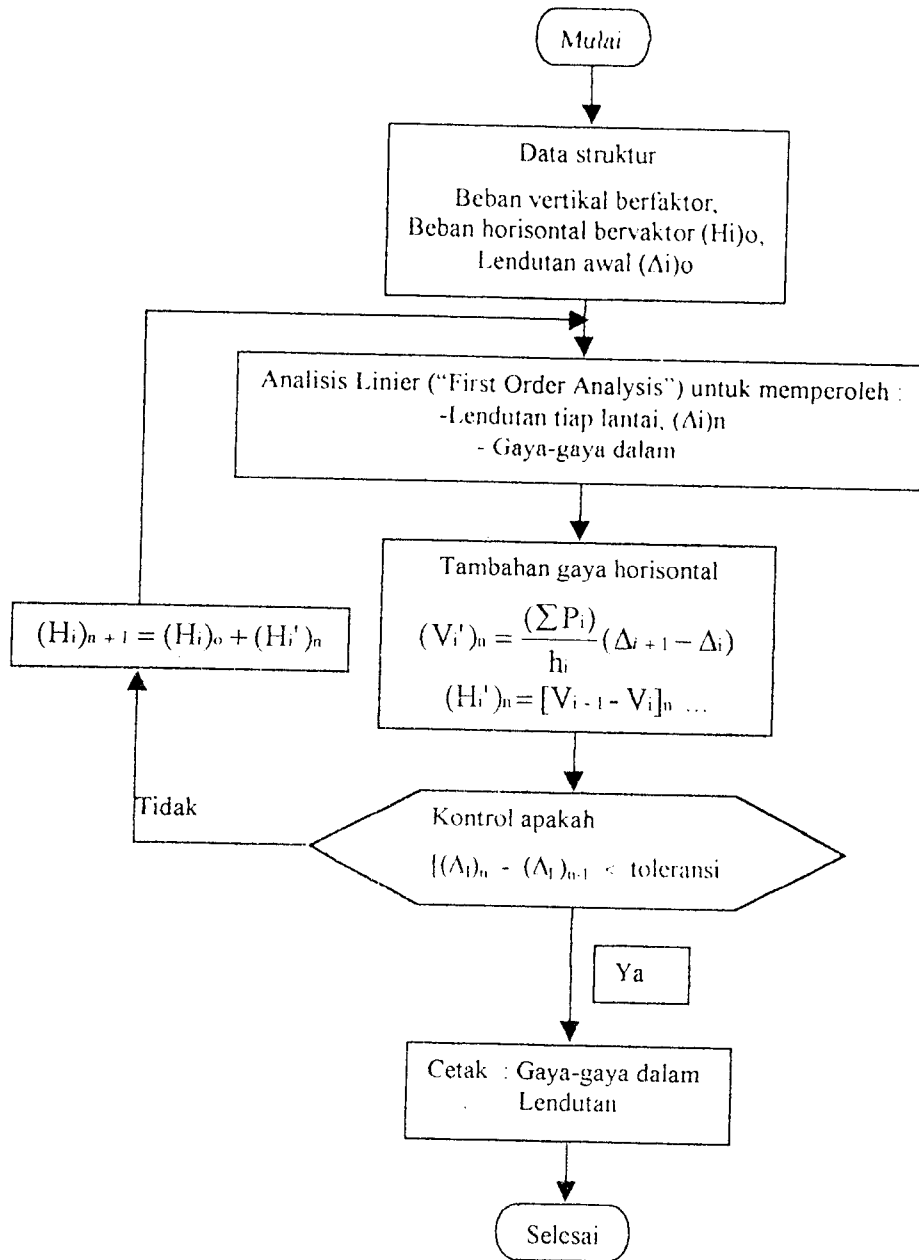
- Duan L. Y and Cooper T. R, 1995, **DISPLACEMENT DUCTILITY CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE COLOUMS**, Journal Concrete International, ASCE, Nov, 61-65
- Dipohusodo, Istimawan, 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Muto, Kiyoshi, 1993, **ANALISIS PERANCANGAN GEDUNG TAHAN GEMPA**, Erlangga, Jakarta.
- Nawi, Edward, G, 1990, **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, Eresco, Bandung.
- Paulay, T and Priestly, M, J, N, 1992, **SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND MASONRY BUILDING**, John Willey, New York.
- Scarlat, A, S, 1996, **APROXIMATE METODS IN STRUCTURAL SEISMIC DESIGN**, E&FN Spon.
- Smith, I,S and Coull, A, 1991, **TALL BUILDING STRUCTURES**, John Willey, New York.
- Suhendro, Bambang, 1991, **ANALISIS EFEK P-DELTA PADA PERANCANGAN KOLOM**, Makalah Seminar.
- Tjokrodimulyo, Kardiyono, 1993, **BUKU AJAR TEKNIK GEMPA**, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Vis, W, C and Kusuma, Gideon, 1994, **DASAR-DASAR PERENCANAAN GEDUNG BERTULANG**, Edisi ke-4, Erlangga, Jakarta.
- Widodo, 1996, **DIKTAT KULIAH TEKNIK GEMPA**, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1991, **STANDAR SK SNI T-15-1991-03: TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR UNTUK RUMAH DAN GEDUNG**, Yayasan LPMB, Bandung.

Departemen Pekerjaan Umum, 1987, **PEDOMAN PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK RUMAH DAN GEDUNG**, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, 1983, **PERATURAN PEMBEBANAN INDONESIA UNTUK GEDUG**, DPU, Ditjen Cipta Karya, DPMB, Bandung

LAMPIRAN

Bagan Alir Analisis Efek P-Delta yang disederhanakan



\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$
\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$ \$\$\$\$\$\$\$\$\$\$

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION 5.20

Copyright (C) 1978-1990
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM
SYSTEM

L-2 : BEBAN VERTIKAL DAN BEBAN LATERAL

JOINTS

1	X=0	Y=0	Z=0	
6	X=30			G=1,6,1
7	X=0		Z=7	
12	X=30			
61	X=0		Z=40.3	
66	X=30			Q=7,12,61,66,1,6

:

RESTRAINTS

1	6	1	R=1,1,1,1,1,1
7	66	1	R=0,1,0,1,0,1

:

FRAME

C CONTROL INFORMATION DATA

NM=4 NL=2 NSEC=5 Z=-1

C MATERIAL SECTION PROPERTIES DATA

1	SH=R	T=0.60,0.30	E=2.625E6	W=0.60*0.35*24
2	SH=R	T=0.70,0.40	E=2.625E6	W=0.70*0.40*24
3	SH=R	T=0.65,0.65	E=2.625E6	W=0.65*0.65*24
4	SH=R	T=0.80,0.80	E=2.625E6	W=0.80*0.80*24

C BEAM SPAN LOADING DATA

1	WG=0,0,-2.327
2	WG=0,0,-4.406

C ELEMENT LOCATION DATA

C COULOMN

1	1	7	M=4	G=5,1,1,1	LP=2,0
7	7	13	M=3	G=5,1,1,1	
13	13	19	M=3	G=5,1,1,1	
19	19	25	M=3	G=5,1,1,1	
25	25	31	M=3	G=5,1,1,1	
31	31	37	M=3	G=5,1,1,1	
37	37	43	M=3	G=5,1,1,1	
43	43	49	M=3	G=5,1,1,1	
49	49	55	M=3	G=5,1,1,1	
55	55	61	M=3	G=5,1,1,1	

C BALOK

61	7	8	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	LP=2,0
66	13	14	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	
71	19	20	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	
76	25	26	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	
81	31	32	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	
86	37	38	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	
91	43	44	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	
96	49	50	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	
101	55	56	M=2	NSL=2	G=4,1,1,1	
106	61	62	M=1	NSL=1	G=4,1,1,1	

:

LOAD

7	F=6.021,0,0,0,0,0	1,0
13	F=8.846,0,0,0,0,0	
19	F=11.905,0,0,0,0,0	
25	F=14.964,0,0,0,0,0	
31	F=18.023,0,0,0,0,0	
37	F=21.108,0,0,0,0,0	
43	F=24.144,0,0,0,0,0	
49	F=27.199,0,0,0,0,0	
55	F=30.258,0,0,0,0,0	
61	F=20.820,0,0,0,0,0	

:

COMBO

- 1 C=1,0
- 2 C=1,1
- 3 C=1,-1

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD COMBINATION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
1	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000
3	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	.000000
5	.000000	.000000	.000000
6	.000000	.000000	.000000
7	-.000117	-.003097	.000301
8	-.000071	-.004201	.000015
9	-.000024	-.004313	.000002
10	.000024	-.004313	-.000002
11	.000071	-.004201	-.000015
12	.000117	-.003097	-.000301
13	-.000036	-.005222	.000323
14	-.000027	-.007101	.000053
15	-.000009	-.007303	.000006
16	.000009	-.007303	-.000006
17	.000027	-.007101	-.000053
18	.000036	-.005222	-.000323
19	-.000020	-.007107	.000334
20	-.000015	-.009657	.000069
21	-.000005	-.009944	.000005
22	.000005	-.009944	-.000005
23	.000015	-.009657	-.000069
24	.000020	-.007107	-.000334
25	-.000018	-.008749	.000353
26	-.000013	-.011871	.000087
27	-.000005	-.012238	.000007
28	.000005	-.012238	-.000007
29	.000013	-.011871	-.000087
30	.000018	-.008749	-.000353
31	-.000015	-.010144	.000369
32	-.000011	-.013747	.000103
33	-.000004	-.014185	.000008
34	.000004	-.014185	-.000008
35	.000011	-.013747	-.000103
36	.000015	-.010144	-.000369
37	-.000012	-.011291	.000383
38	-.000009	-.015286	.000117
39	-.000003	-.015784	.000009
40	.000003	-.015784	-.000009
41	.000009	-.015286	-.000117
42	.000012	-.011291	-.000383
43	-.000010	-.012188	.000392
44	-.000007	-.016490	.000127
45	-.000003	-.017036	.000010
46	.000003	-.017036	-.000010
47	.000007	-.016490	-.000127
48	.000010	-.012188	-.000392
49	-.000014	-.012834	.000398
50	-.000010	-.017360	.000132
51	-.000004	-.017941	.000011

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD COMBINATION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
52	.000004	-.017941	-.000011
53	.000010	-.017360	-.000132
54	.000014	-.012834	-.000398
55	.000015	-.013228	.000434
56	.000016	-.017897	.000172
57	.000007	-.018499	.000020
58	-.000007	-.018499	-.000020
59	-.000016	-.017897	-.000172
60	-.000015	-.013228	-.000434
61	.000470	-.013370	.000643
62	.000306	-.018102	.000182
63	.000102	-.018709	.000032
64	-.000102	-.018709	-.000032
65	-.000306	-.018102	-.000182
66	-.000470	-.013370	-.000643

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD COMBINATION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
1	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000
3	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	.000000
5	.000000	.000000	.000000
6	.000000	.000000	.000000
7	.019504	-.002518	.003426
8	.019564	-.004191	.002439
9	.019606	-.004313	.002507
10	.019629	-.004315	.002500
11	.019635	-.004213	.002461
12	.019617	-.003673	.002807
13	.032586	-.004266	.003053
14	.032526	-.007076	.002278
15	.032494	-.007303	.002224
16	.032476	-.007305	.002210
17	.032471	-.007129	.002165
18	.032476	-.006174	.002393
19	.044511	-.005848	.002896
20	.044430	-.009613	.002149
21	.044373	-.009945	.002075
22	.044335	-.009947	.002062
23	.044314	-.009704	.002005
24	.044308	-.008359	.002213
25	.055597	-.007255	.002727
26	.055493	-.011808	.002016
27	.055419	-.012240	.001914
28	.055367	-.012242	.001899
29	.055337	-.011939	.001834
30	.055327	-.010234	.002006
31	.065697	-.008476	.002509
32	.065570	-.013663	.001843
33	.065477	-.014186	.001719
34	.065411	-.014189	.001701
35	.065372	-.013836	.001629
36	.065359	-.011802	.001756
37	.074596	-.009503	.002238
38	.074446	-.015183	.001626
39	.074334	-.015786	.001484
40	.074254	-.015788	.001463
41	.074206	-.015395	.001386
42	.074190	-.013068	.001459
43	.082074	-.010325	.001915
44	.081901	-.016371	.001366
45	.081769	-.017038	.001209
46	.081676	-.017041	.001187
47	.081620	-.016616	.001106
48	.081600	-.014039	.001117
49	.087916	-.010931	.001545
50	.087722	-.017227	.001068
51	.087576	-.017944	.000901

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD COMBINATION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
52	.087472	-.017946	.000877
53	.087410	-.017499	.000796
54	.087388	-.014725	.000734
55	.092019	-.011309	.001196
56	.091804	-.017756	.000797
57	.091624	-.018502	.000593
58	.091488	-.018504	.000552
59	.091402	-.018045	.000448
60	.091374	-.015135	.000316
61	.095054	-.011447	.001222
62	.094635	-.017957	.000667
63	.094230	-.018712	.000462
64	.093894	-.018714	.000397
65	.093629	-.018252	.000297
66	.093454	-.015280	-.000073

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD COMBINATION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
1	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000
3	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	.000000
5	.000000	.000000	.000000
6	.000000	.000000	.000000
7	-.019737	-.003676	-.002824
8	-.019706	-.004211	-.002469
9	-.019653	-.004313	-.002503
10	-.019582	-.004312	-.002505
11	-.019492	-.004190	-.002491
12	-.019384	-.002521	-.003408
13	-.032657	-.006179	-.002406
14	-.032580	-.007126	-.002172
15	-.032513	-.007302	-.002212
16	-.032457	-.007300	-.002221
17	-.032417	-.007073	-.002271
18	-.032404	-.004271	-.003040
19	-.044550	-.008367	-.002227
20	-.044460	-.009700	-.002012
21	-.044384	-.009943	-.002064
22	-.044325	-.009941	-.002072
23	-.044284	-.009610	-.002142
24	-.044268	-.005856	-.002881
25	-.055632	-.010243	-.002020
26	-.055520	-.011935	-.001841
27	-.055428	-.012237	-.001901
28	-.055358	-.012235	-.001912
29	-.055310	-.011804	-.002009
30	-.055291	-.007263	-.002713
31	-.065727	-.011812	-.001770
32	-.065593	-.013831	-.001636
33	-.065484	-.014183	-.001703
34	-.065403	-.014181	-.001717
35	-.065350	-.013659	-.001836
36	-.065329	-.008486	-.002495
37	-.074620	-.013079	-.001473
38	-.074464	-.015390	-.001393
39	-.074340	-.015782	-.001465
40	-.074247	-.015780	-.001481
41	-.074188	-.015178	-.001619
42	-.074166	-.009514	-.002224
43	-.082093	-.014051	-.001131
44	-.081915	-.016610	-.001113
45	-.081774	-.017034	-.001189
46	-.081671	-.017032	-.001207
47	-.001605	-.016365	-.001354
48	-.001581	-.010337	-.001900
49	-.087943	-.014737	-.000749
50	-.087743	-.017494	-.000803
51	-.087583	-.017939	-.000880

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD COMBINATION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
52	-.087465	-.017937	-.000899
53	-.087389	-.017222	-.001061
54	-.087361	-.010943	-.001530
55	-.091989	-.015147	-.000328
56	-.091771	-.018039	-.000454
57	-.091611	-.018497	-.000554
58	-.091501	-.018495	-.000592
59	-.091435	-.017750	-.000791
60	-.091403	-.011321	-.001184
61	-.094113	-.015293	.000063
62	-.094024	-.018247	-.000302
63	-.094026	-.018707	-.000398
64	-.094098	-.018705	-.000460
65	-.094240	-.017951	-.000662
66	-.094395	-.011460	-.001212

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	TORQ
1 -----								
1	-743.26		.0	3.52	-8.48			
			1.8	3.52	-2.31			
			3.5	3.52	3.85			
			5.3	3.52	10.01			
			7.0	3.52	16.18			
2	-604.23		.0	-22.63	123.05			
			1.8	-22.63	83.45			
			3.5	-22.63	43.85			
			5.3	-22.63	4.25			
			7.0	-22.63	-35.35			
3	-882.29		.0	29.67	-140.00			
			1.8	29.67	-88.08			
			3.5	29.67	-36.15			
			5.3	29.67	15.77			
			7.0	29.67	67.70			
2 -----								
1	-1008.30		.0	.38	-1.12			
			1.8	.38	-.46			
			3.5	.38	.20			
			5.3	.38	.85			
			7.0	.38	1.51			
2	-1005.87		.0	-32.58	146.01			
			1.8	-32.58	89.00			
			3.5	-32.58	31.99			
			5.3	-32.58	-25.02			
			7.0	-32.58	-82.03			
3	-1010.74		.0	33.33	-148.25			
			1.8	33.33	-89.93			
			3.5	33.33	-31.60			
			5.3	33.33	26.73			
			7.0	33.33	85.05			
3 -----								
1	-1035.21		.0	.09	-.30			
			1.8	.09	-.14			
			3.5	.09	.03			
			5.3	.09	.19			
			7.0	.09	.36			
2	-1035.23		.0	-32.62	146.26			
			1.8	-32.62	89.18			
			3.5	-32.62	32.09			
			5.3	-32.62	-24.99			
			7.0	-32.62	-82.07			
3	-1035.20							

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
		.0	32.81	-146.86			
		1.8	32.81	-89.45			
		3.5	32.81	-32.04			
		5.3	32.81	25.37			
		7.0	32.81	82.79			
4 -----							
1	-1035.21						
		.0	-.09	.30			
		1.8	-.09	.14			
		3.5	-.09	-.03			
		5.3	-.09	-.19			
		7.0	-.09	-.36			
2	-1035.60						
		.0	-32.76	146.68			
		1.8	-32.76	89.34			
		3.5	-32.76	32.00			
		5.3	-32.76	-25.34			
		7.0	-32.76	-82.67			
3	-1034.83						
		.0	32.58	-146.08			
		1.8	32.58	-89.07			
		3.5	32.58	-32.06			
		5.3	32.58	24.95			
		7.0	32.58	81.96			
5 -----							
1	-1008.30						
		.0	-.38	1.12			
		1.8	-.38	.46			
		3.5	-.38	-.20			
		5.3	-.38	-.85			
		7.0	-.38	-1.51			
2	-1011.10						
		.0	-33.20	147.70			
		1.8	-33.20	89.60			
		3.5	-33.20	31.49			
		5.3	-33.20	-26.61			
		7.0	-33.20	-84.71			
3	-1005.51						
		.0	32.45	-145.46			
		1.8	32.45	-88.67			
		3.5	32.45	-31.89			
		5.3	32.45	24.90			
		7.0	32.45	81.68			
6 -----							
1	-743.26						
		.0	-3.52	8.48			
		1.8	-3.52	2.31			
		3.5	-3.52	-3.85			
		5.3	-3.52	-10.01			
		7.0	-3.52	-16.18			
2	-881.53						
		.0	-29.50	139.17			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
3	-604.99	1.8	-29.50	87.55			
		3.5	-29.50	35.93			
		5.3	-29.50	-15.70			
		7.0	-29.50	-67.32			
		.0	22.46	-122.22			
		1.8	22.46	-82.92			
		3.5	22.46	-43.62			
7	-637.12	3.5	22.46	-4.33			
		5.3	22.46	34.97			
		7.0	22.46				
		1.0	9.06	-16.52			
		1.9	9.06	-8.14			
		2.8	9.06	.24			
		3.7	9.06	8.62			
2	-524.09	3.7	9.06	17.00			
		.0	-9.25	13.18			
		.9	-9.25	4.62			
		1.9	-9.25	-3.94			
		2.8	-9.25	-12.49			
		3.7	-9.25	-21.05			
		3.0	27.37	-46.22			
3	-750.14	.9	27.37	-20.91			
		1.9	27.37	4.41			
		2.8	27.37	29.73			
		3.7	27.37	55.05			
		1.0	.69	-.88			
		1.9	.69	-.24			
		2.8	.69	.40			
8	-869.18	3.7	.69	1.04			
		3.7	.69	1.68			
		.0	-34.80	62.04			
		.9	-34.80	29.85			
		1.9	-34.80	-2.34			
		2.8	-34.80	-34.53			
		3.7	-34.80	-66.72			
2	-864.67	.0	36.19	-63.81			
		.9	36.19	-30.34			
		1.9	36.19	3.13			
		2.8	36.19	36.61			
		3.7	36.19	70.08			
		1.0	.00	.03			
		1.9	.00	.03			
9	-896.03						

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SD X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ	
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT		
10	2	-896.15	1.9	.00	.04				
			2.8	.00	.04				
			3.7	.00	.04				
			.0	-34.90	61.57				
			.9	-34.90	29.29				
			1.9	-34.90	-3.00				
	3	-895.92	2.8	-34.90	-35.28				
			3.7	-34.90	-67.56				
			.0	34.91	-61.51				
			.9	34.91	-29.22				
			1.9	34.91	3.07				
			2.8	34.91	35.36				
	11	1	-896.03	3.7	34.91	67.65			
				.0	-.00	-.03			
				.9	-.00	-.03			
1.9				-.00	-.04				
2.8				-.00	-.04				
3.7				-.00	-.04				
2		-896.27	.0	-34.88	61.47				
			.9	-34.88	29.20				
			1.9	-34.88	-3.06				
			2.8	-34.88	-35.33				
			3.7	-34.88	-67.59				
			.0	34.87	-61.52				
3		-895.80	.9	34.87	-29.27				
			1.9	34.87	2.99				
			2.8	34.87	35.25				
	3.7		34.87	67.50					
	.0		-.69	.88					
	.9		-.69	.24					
11	1	-869.18	1.9	-.69	-1.40				
			2.8	-.69	-1.04				
			3.7	-.69	-1.68				
			.0	-36.10	63.67				
			.9	-36.10	30.28				
			1.9	-36.10	-3.12				
	2	-873.99	2.8	-36.10	-36.51				
			3.7	-36.10	-69.90				
			.0	34.72	61.90				
			.9	34.72	-29.79				
			1.9	34.72	2.32				
			2.8	34.72	34.43				

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST END1 3.7	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
12 -----								
1	-637.12		.0	-9.06	16.52			
			.9	-9.06	8.14			
			1.9	-9.06	-.24			
			2.8	-9.06	-8.62			
			3.7	-9.06	-17.00			
2	-749.50		.0	-27.33	46.20			
			.9	-27.33	20.92			
			1.9	-27.33	-4.37			
			2.8	-27.33	-29.65			
			3.7	-27.33	-54.93			
3	-524.73		.0	9.21	-13.15			
			.9	9.21	-4.63			
			1.9	9.21	3.89			
			2.8	9.21	12.41			
			3.7	9.21	20.93			
13 -----								
1	-565.02		.0	10.13	-18.62			
			.9	10.13	-9.25			
			1.9	10.13	.12			
			2.8	10.13	9.49			
			3.7	10.13	18.86			
2	-474.28		.0	-7.76	12.70			
			.9	-7.76	5.52			
			1.9	-7.76	-1.66			
			2.8	-7.76	-8.84			
			3.7	-7.76	-16.02			
3	-655.76		.0	28.02	-49.95			
			.9	28.02	-24.03			
			1.9	28.02	1.89			
			2.8	28.02	27.81			
			3.7	28.02	53.73			
14 -----								
1	-766.07		.0	1.79	-3.16			
			.9	1.79	-1.50			
			1.9	1.79	.16			
			2.8	1.79	1.82			
			3.7	1.79	3.48			
2	-760.54		.0	31.35	56.67			
			.9	31.35	27.64			
			1.9	-31.35	-1.36			
			2.8	-31.35	-30.36			
			3.7	-31.35	-59.36			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ	
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT		
3	-771.59		.0	34.94	-62.95				
			.9	34.94	-30.63				
			1.9	34.94	1.69				
			2.8	34.94	34.01				
			3.7	34.94	66.33				

15	1	-791.80	.0	.14	-.26				
			.9	.14	-.13				
			1.9	.14	-.00				
			2.8	.14	.12				
			3.7	.14	.25				
	2	-791.91		.0	-33.15	59.75			
				.9	-33.15	29.09			
				1.9	-33.15	-1.57			
				2.8	-33.15	-32.23			
				3.7	-33.15	-62.89			
	3	-791.69		.0	33.42	-60.26			
				.9	33.42	-29.35			
				1.9	33.42	1.57			
				2.8	33.42	32.48			
				3.7	33.42	63.39			

16	1	-791.80	.0	-.14	.26				
			.9	-.14	.13				
			1.9	-.14	.00				
			2.8	-.14	-.12				
			3.7	-.14	-.25				
	2	-792.00		.0	-33.39	60.20			
				.9	-33.39	29.32			
				1.9	-33.39	-1.57			
				2.8	-33.39	-32.45			
				3.7	-33.39	-63.33			
	3	-791.60		.0	33.11	-59.69			
				.9	33.11	-29.06			
				1.9	33.11	1.57			
				2.8	33.11	32.20			
				3.7	33.11	62.83			

17	1	-766.07	.0	-1.79	3.16				
			.9	1.79	1.50				
	2	-771.84		1.9	1.79	.16			
				2.8	-1.79	-1.82			
				3.7	-1.79	-3.48			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DISI FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ	
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT		
3	-760.29	.0	-34.84	62.76			
		.9	-34.84	30.53			
		1.9	-34.84	-1.69			
		2.8	-34.84	-33.92			
		3.7	-34.84	-66.15			
			.0	31.25	-56.45		
			.9	31.25	-27.54		
			1.9	31.25	1.36		
			2.8	31.25	30.27		
			3.7	31.25	59.18		

18							
1	-565.02	.0	-10.13	18.62			
		.9	-10.13	9.25			
		1.9	-10.13	-.12			
		2.8	-10.13	-9.49			
		3.7	-10.13	-18.86			
			.0	-27.94	49.78		
			.9	-27.94	23.94		
			1.9	-27.94	-1.90		
			2.8	-27.94	-27.74		
			3.7	-27.94	-53.58		
2	-655.20	.0	-27.94	49.78			
		.9	-27.94	23.94			
		1.9	-27.94	-1.90			
		2.8	-27.94	-27.74			
		3.7	-27.94	-53.58			
			.0	7.68	-12.54		
			.9	7.68	-5.43		
			1.9	7.68	1.67		
			2.8	7.68	8.77		
			3.7	7.68	15.87		

19							
1	-491.98	.0	10.72	-19.63			
		.9	10.72	-9.71			
		1.9	10.72	.20			
		2.8	10.72	10.11			
		3.7	10.72	20.03			
			.0	-5.77	8.89		
			.9	-5.77	3.56		
			1.9	-5.77	-1.78		
			2.8	-5.77	-7.12		
			3.7	-5.77	-12.46		
2	-421.57	.0	-5.77	8.89			
		.9	-5.77	3.56			
		1.9	-5.77	-1.78			
		2.8	-5.77	-7.12			
		3.7	-5.77	-12.46			
			.0	27.20	-48.15		
			.9	27.20	-22.98		
			1.9	27.20	2.18		
			2.8	27.20	27.75		
			3.7	27.20	52.51		

20							
1	-663.83	.0	2.42	-4.28			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
2	-657.82	.9	2.42	-2.04		
		1.9	2.42	.20		
		2.8	2.42	2.44		
		3.7	2.42	4.67		
		.0	-28.34	51.03		
3	-669.85	.9	-28.34	24.81		
		1.9	-28.34	-1.40		
		2.8	-28.34	-27.62		
		3.7	-28.34	-53.84		
		.0	33.18	-59.59		
21	1	-687.63	.9	33.18	-28.89	
			1.9	33.18	1.80	
			2.8	33.18	32.49	
			3.7	33.18	63.18	
			.0	.18	-.33	
2	-687.75	.9	.18	-.16		
		1.8	.18	.01		
		2.8	.18	.18		
		3.7	.18	.35		
		.0	-30.93	55.53		
3	-687.52	.9	-30.93	26.92		
		1.8	-30.93	-1.69		
		2.8	-30.93	-30.31		
		3.7	-30.93	-58.92		
		.0	31.30	-56.19		
22	1	-687.63	.9	31.30	-27.23	
			1.8	31.30	1.72	
			2.8	31.30	30.67	
			3.7	31.30	59.62	
			.0	-.18	.33	
2	-687.78	.9	-.18	.16		
		1.9	-.18	-.01		
		2.8	-.18	-.18		
		3.7	-.18	-.35		
		.0	-31.26	56.12		
3	-687.48	.9	-31.26	27.20		
		1.9	-31.26	-1.72		
		2.8	-31.26	-30.64		
		1.7	-31.26	-59.56		
		.0	30.90	-55.47		
		.9	30.90	-26.89		
		1.9	30.90	1.69		

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
			2.8	30.90	30.27			
			3.7	30.90	58.86			

23								
	1	-663.83						
			.0	-2.42	4.28			
			.9	-2.42	2.04			
			1.9	-2.42	-.20			
			2.8	-2.42	-2.44			
			3.7	-2.42	-4.67			
	2	-670.06						
			.0	-33.08	59.40			
			.9	-33.08	28.80			
			1.9	-33.08	-1.80			
			2.8	-33.08	-32.40			
			3.7	-33.08	-63.00			
	3	-657.61						
			.0	28.24	-50.84			
			.9	28.24	-24.72			
			1.9	28.24	1.40			
			2.8	28.24	27.53			
			3.7	28.24	53.65			

24								
	1	-491.98						
			.0	-10.72	19.63			
			.9	-10.72	9.71			
			1.9	-10.72	-.20			
			2.8	-10.72	-10.11			
			3.7	-10.72	-20.03			
	2	-561.92						
			.0	-27.13	48.00			
			.9	-27.13	22.91			
			1.9	-27.13	-2.18			
			2.8	-27.13	-27.28			
			3.7	-27.13	-52.37			
	3	-422.04						
			.0	5.69	-8.75			
			.9	5.69	-3.48			
			1.9	5.69	1.78			
			2.8	5.69	7.05			
			3.7	5.69	12.31			

25								
	1	-418.20						
			.0	11.26	-20.66			
			.9	11.26	-10.24			
			1.9	11.26	.17			
			2.8	11.26	10.58			
			3.7	11.26	21.00			
	2	166.15						
			.0	-3.49	4.15			
			.9	-3.49	.93			
			1.9	-3.49	-2.30			
			2.8	-3.49	-5.52			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELEM ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
			3.7	-3.49		-8.75		
3	-470.26		.0	26.01		-45.47		
			.9	26.01		-21.42		
			1.9	26.01		2.64		
			2.8	26.01		26.69		
			3.7	26.01		50.75		
26	-----							
1	-562.30		.0	2.96		-5.30		
			.9	2.96		-2.57		
			1.9	2.96		.17		
			2.8	2.96		2.91		
			3.7	2.96		5.65		
2	-556.24		.0	-24.80		44.05		
			.9	-24.80		21.11		
			1.9	-24.80		-1.83		
			2.8	-24.80		-24.76		
			3.7	-24.80		-47.70		
3	-568.37		.0	30.72		-54.66		
			.9	30.72		-26.24		
			1.9	30.72		2.17		
			2.8	30.72		30.58		
			3.7	30.72		59.00		
27	-----							
1	-583.49		.0	.22		-.40		
			.9	.22		-.19		
			1.9	.22		.01		
			2.8	.22		.22		
			3.7	.22		.42		
2	-583.60		.0	-28.16		50.03		
			.9	-28.16		23.98		
			1.9	-28.16		-2.06		
			2.8	-28.16		-28.11		
			3.7	-28.16		-54.15		
3	-583.39		.0	28.60		-50.82		
			.9	28.60		-24.36		
			1.9	28.60		2.09		
			2.8	28.60		28.54		
			3.7	28.60		55.00		
28	-----							
1	-583.49		.0	-.22		.40		
			.9	-.22		.19		
			1.9	-.22		-.01		
			2.8	-.22		-.22		
			3.7	-.22		-.42		

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
29	2	-583.61	.0	-28.56	50.75			
			.9	-28.56	24.33			
			1.9	-28.56	-2.09			
			2.8	-28.56	-28.51			
			3.7	-28.56	-54.93			
	3	-583.38	.0	28.12	-49.96			
			.9	28.12	-23.95			
			1.9	28.12	2.06			
			2.8	28.12	28.07			
			3.7	28.12	54.09			
30	1	-562.30	.0	-2.96	5.30			
			.9	-2.96	2.57			
			1.9	-2.96	-.17			
			2.8	-2.96	-2.91			
			3.7	-2.96	-5.65			
	2	-568.54	.0	-30.62	54.47			
			.9	-30.62	26.15			
			1.9	-30.62	-2.17			
			2.8	-30.62	-30.49			
			3.7	-30.62	-58.82			
	3	-556.07	.0	24.70	-43.87			
			.9	24.70	-21.02			
			1.9	24.70	1.83			
			2.8	24.70	24.67			
			3.7	24.70	47.52			
31	1	-418.20	.0	-11.26	20.66			
			.9	-11.26	10.24			
			1.9	-11.26	-.17			
			2.8	-11.26	-10.58			
			3.7	-11.26	-21.00			
	2	-469.87	.0	-25.93	45.33			
			.9	-25.93	21.34			
			1.9	-25.93	-2.64			
			2.8	-25.93	-26.63			
			3.7	-25.93	-50.61			
	3	-366.54	.0	3.41	-4.01			
			.9	3.41	-.86			
			1.9	3.41	2.30			
			2.8	3.41	5.46			
			3.7	3.41	8.61			
31	1	-343.81						

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
2	-307.84	.0	11.71	-21.53			
		.9	11.71	-10.70			
		1.9	11.71	.14			
		2.8	11.71	10.97			
		3.7	11.71	21.81			
3	-379.79	.0	- .99	-1.04			
		.9	- .99	-1.95			
		1.9	- .99	-2.86			
		2.8	- .99	-3.77			
		3.7	- .99	-4.68			
32	-----	.0	24.41	-42.02			
		.9	24.41	-19.44			
		1.9	24.41	3.13			
		2.8	24.41	25.71			
		3.7	24.41	48.29			
1	-461.36	.0	3.42	-6.18			
		.9	3.42	-3.02			
		1.9	3.42	.14			
		2.8	3.42	3.30			
		3.7	3.42	6.46			
2	-455.63	.0	-20.75	36.10			
		.9	-20.75	16.91			
		1.9	-20.75	-2.29			
		2.8	-20.75	-21.48			
		3.7	-20.75	-40.68			
3	-467.09	.0	27.58	-48.47			
		.9	27.58	-22.95			
		1.9	27.58	2.57			
		2.8	27.58	28.08			
		3.7	27.58	53.60			
33	-----	.0	.26	-.47			
		.9	.26	-.23			
		1.9	.26	.01			
		2.8	.26	.25			
		3.7	.26	.49			
2	-479.48	.0	-24.74	43.29			
		.9	-24.74	20.41			
		1.9	-24.74	-2.48			
		2.8	-24.74	25.37			
		3.7	-24.74	40.26			
3	-479.30	.0	25.26	-44.23			
		.9	25.26	-20.86			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SU X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
			1.9	25.26	2.51			
			2.8	25.26	25.87			
			3.7	25.26	49.24			

34								
1	-479.39		.0	-.26	.47			
			.9	-.26	.23			
			1.9	-.26	-.01			
			2.8	-.26	-.25			
			3.7	-.26	-.49			
2	-479.47		.0	-25.23	44.17			
			.9	-25.23	20.83			
			1.9	-25.23	-2.51			
			2.8	-25.23	-25.84			
			3.7	-25.23	-49.18			
3	-479.30		.0	24.71	-43.23			
			.9	24.71	-20.37			
			1.9	24.71	2.48			
			2.8	24.71	25.34			
			3.7	24.71	48.19			

35								
1	-461.36		.0	-3.42	6.18			
			.9	-3.42	3.02			
			1.9	-3.42	-.14			
			2.8	-3.42	-3.30			
			3.7	-3.42	-6.46			
2	-467.22		.0	-27.49	48.29			
			.9	-27.49	22.86			
			1.9	-27.49	-2.57			
			2.8	-27.49	-27.99			
			3.7	-27.49	-53.42			
3	-455.50		.0	20.65	-35.92			
			.9	20.65	-16.82			
			1.9	20.65	2.29			
			2.8	20.65	21.39			
			3.7	20.65	40.50			

36								
1	-343.81		.0	-11.71	21.53			
			.9	-11.71	10.70			
			1.9	-11.71	-.14			
			2.8	-11.71	-10.97			
			1.7	11.71	21.81			
2	-379.40		.0	-24.33	41.88			
			.9	-24.33	19.37			
			1.9	-24.33	-3.13			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
			2.8	-24.33	-25.64			
			3.7	-24.33	-48.15			
3	-308.15		.0	.91	1.18			
			.9	.91	2.02			
			1.9	.91	2.86			
			2.8	.91	3.70			
			3.7	.91	4.54			
37 -----								
1	-268.92		.0	12.07	-22.23			
			.9	12.07	-11.07			
			1.8	12.07	.10			
			2.8	12.07	11.26			
			3.7	12.07	22.43			
2	-246.40		.0	1.74	-6.63			
			.9	1.74	-5.02			
			1.8	1.74	-3.41			
			2.8	1.74	-1.81			
			3.7	1.74	-.20			
3	-291.45		.0	22.40	-37.83			
			.9	22.40	-17.11			
			1.8	22.40	3.61			
			2.8	22.40	24.33			
			3.7	22.40	45.05			
38 -----								
1	-360.89		.0	3.78	-6.89			
			.9	3.78	-3.39			
			1.9	3.78	.11			
			2.8	3.78	3.61			
			3.7	3.78	7.11			
2	-355.85		.0	-16.19	27.21			
			.9	-16.19	12.24			
			1.9	-16.19	-2.74			
			2.8	-16.19	-17.72			
			3.7	-16.19	-32.70			
3	-365.92		.0	23.76	-41.00			
			.9	23.76	-19.03			
			1.9	23.76	2.95			
			2.8	23.76	24.93			
			3.7	23.76	46.91			
39 -----								
1	175.00		.0	.29	-.53			
			.9	.29	-.26			
			1.9	.29	.01			
			2.8	.29	.28			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
	3.7	.29	.54			
2	-375.38					
	.0	-20.71	35.42			
	.9	-20.71	16.26			
	1.9	-20.71	-2.90			
	2.8	-20.71	-22.06			
	3.7	-20.71	-41.21			
3	-375.23					
	.0	21.29	-36.48			
	.9	21.29	-16.78			
	1.9	21.29	2.91			
	2.8	21.29	22.61			
	3.7	21.29	42.30			
40						
1	-375.30					
	.0	-.29	.53			
	.9	-.29	.26			
	1.9	-.29	-.01			
	2.8	-.29	-.28			
	3.7	-.29	-.54			
2	-375.36					
	.0	-21.26	36.41			
	.9	-21.26	16.75			
	1.9	-21.26	-2.91			
	2.8	-21.26	-22.58			
	3.7	-21.26	-42.24			
3	-375.25					
	.0	20.68	-35.35			
	.9	20.68	-16.23			
	1.9	20.68	2.90			
	2.8	20.68	22.02			
	3.7	20.68	41.15			
41						
1	-360.89					
	.0	-3.78	6.89			
	.9	-3.78	3.39			
	1.9	-3.78	-.11			
	2.8	-3.78	-3.61			
	3.7	-3.78	-7.11			
2	-366.02					
	.0	-23.67	40.83			
	.9	-23.67	18.94			
	1.9	-23.67	-2.95			
	2.8	-23.67	-24.85			
	3.7	-23.67	-46.74			
3	-355.76					
	.0	16.10	-27.04			
	.9	16.10	12.15			
	1.9	16.10	2.74			
	2.8	16.10	17.63			
	3.7	16.10	32.53			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
42 -----								
1	-268.92		.0	-12.07	22.23			
			.9	-12.07	11.07			
			1.8	-12.07	-.10			
			2.8	-12.07	-11.26			
			3.7	-12.07	-22.43			
2	-291.22		.0	-22.33	37.70			
			.9	-22.33	17.04			
			1.8	-22.33	-3.61			
			2.8	-22.33	-24.27			
			3.7	-22.33	-44.92			
3	-246.63		.0	-1.81	6.76			
			.9	-1.81	5.09			
			1.8	-1.81	3.41			
			2.8	-1.81	1.74			
			3.7	-1.81	.07			
43 -----								
1	-193.63		.0	12.36	-22.81			
			.9	12.36	-11.37			
			1.8	12.36	.06			
			2.8	12.36	11.50			
			3.7	12.36	22.93			
2	-181.58		.0	4.71	-12.61			
			.9	4.71	-8.26			
			1.8	4.71	-3.90			
			2.8	4.71	.45			
			3.7	4.71	4.80			
3	-205.69		.0	20.02	-33.00			
			.9	20.02	-14.48			
			1.8	20.02	4.03			
			2.8	20.02	22.55			
			3.7	20.02	41.06			
44 -----								
1	-260.79		.0	4.07	-7.47			
			.9	4.07	-3.71			
			1.9	4.07	.06			
			2.8	4.07	3.83			
			3.7	4.07	7.59			
2	-256.80		.0	-11.13	17.43			
			.9	-11.13	7.14			
			1.9	-11.13	1.15			
			2.8	-11.13	-13.44			
			3.7	-11.13	-23.74			
3	-264.78							

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
		.0	19.27	-32.38			
		.9	19.27	-14.55			
		1.9	19.27	3.27			
		2.8	19.27	21.09			
		3.7	19.27	38.92			

45	1	-271.25					
		.0	.33	-.60			
		.9	.33	-.29			
		1.9	.33	.01			
		2.8	.33	.31			
		3.7	.33	.61			
	2	-271.31					
		.0	-16.06	26.46			
		.9	-16.06	11.60			
		1.9	-16.06	-3.25			
		2.8	-16.06	-18.11			
		3.7	-16.06	-32.96			
	3	-271.19					
		.0	16.71	-27.65			
		.9	16.71	-12.19			
		1.9	16.71	3.27			
		2.8	16.71	18.73			
		3.7	16.71	34.19			

46	1	-271.25					
		.0	-.33	.60			
		.9	-.33	.29			
		1.9	-.33	-.01			
		2.8	-.33	-.31			
		3.7	-.33	-.61			
	2	-271.28					
		.0	-16.68	27.59			
		.9	-16.68	12.16			
		1.9	-16.68	-3.27			
		2.8	-16.68	-18.70			
		3.7	-16.68	-34.13			
	3	-271.22					
		.0	16.02	-26.39			
		.9	16.02	-11.57			
		1.9	16.02	3.25			
		2.8	16.02	18.08			
		3.7	16.02	32.90			

47	1	-260.79					
		.0	-4.07	7.47			
		.9	-4.07	3.71			
		1.9	-4.07	-.06			
		2.8	-4.07	-3.03			
		3.7	-4.07	-7.59			
	2	-264.84					
		.0	-19.17	32.20			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
	.9	-19.17	14.46			
	1.9	-19.17	-3.27			
	2.8	-19.17	-21.01			
	3.7	-19.17	-38.74			
3	-256.73					
	.0	11.03	-17.26			
	.9	11.03	-7.05			
	1.9	11.03	3.15			
	2.8	11.03	13.36			
	3.7	11.03	23.56			
48						
1	-193.63					
	.0	-12.36	22.81			
	.9	-12.36	11.37			
	1.8	-12.36	-.06			
	2.8	-12.36	-11.50			
	3.7	-12.36	-22.93			
2	-205.54					
	.0	-19.94	32.86			
	.9	-19.94	14.41			
	1.8	-19.94	-4.03			
	2.8	-19.94	-22.48			
	3.7	-19.94	-40.93			
3	-181.73					
	.0	-4.78	12.75			
	.9	-4.78	8.33			
	1.8	-4.78	3.91			
	2.8	-4.78	-.51			
	3.7	-4.78	-4.94			
49						
1	-118.04					
	.0	12.75	-23.20			
	.9	12.75	-11.41			
	1.9	12.75	.38			
	2.8	12.75	12.18			
	3.7	12.75	23.97			
2	-113.14					
	.0	8.17	-18.79			
	.9	8.17	-11.24			
	1.9	8.17	-3.68			
	2.8	8.17	3.88			
	3.7	8.17	11.44			
3	-122.94					
	.0	17.33	-27.61			
	.9	17.33	-11.58			
	1.9	17.33	4.44			
	2.8	17.33	20.47			
	3.7	17.33	36.50			
50						
1	-160.97					
	.0	4.52	-7.94			
	.9	4.52	-3.76			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
		1.8	4.52	.41			
		2.8	4.52	4.59			
		3.7	4.52	8.77			
2	-158.36	.0	-5.33	7.00			
		.9	-5.33	2.08			
		1.8	-5.33	-2.85			
		2.8	-5.33	-7.78			
		3.7	-5.33	-12.71			
3	-163.58	.0	14.36	-22.89			
		.9	14.36	-9.61			
		1.8	14.36	3.68			
		2.8	14.36	16.97			
		3.7	14.36	30.25			
51 -----							
1	-167.22	.0	.39	-.62			
		.9	.39	-.26			
		1.9	.39	.10			
		2.8	.39	.46			
		3.7	.39	.82			
2	-167.27	.0	-10.84	16.80			
		.9	-10.84	6.78			
		1.9	-10.84	-3.24			
		2.8	-10.84	-13.27			
		3.7	-10.84	-23.29			
3	-167.17	.0	11.61	-18.05			
		.9	11.61	-7.30			
		1.9	11.61	3.44			
		2.8	11.61	14.18			
		3.7	11.61	24.93			
52 -----							
1	-167.22	.0	-.39	.62			
		.9	-.39	.26			
		1.8	-.39	-.10			
		2.8	-.39	-.46			
		3.7	-.39	-.82			
2	-167.22	.0	-11.58	17.98			
		.9	-11.58	7.27			
		1.8	-11.58	-3.44			
		2.8	-11.58	-14.15			
		3.7	-11.58	-24.85			
3	167.27	.0	10.80	-16.74			
		.9	10.80	-6.75			
		1.8	10.80	3.24			
		2.8	10.80	13.23			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI 3.7	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
53 -----								
1	-160.97							
		.0		-4.52	7.94			
		.9		-4.52	3.76			
		1.8		-4.52	-.41			
		2.8		-4.52	-4.59			
		3.7		-4.52	-8.77			
2	-163.61							
		.0		-14.27	22.72			
		.9		-14.27	9.53			
		1.8		-14.27	-3.67			
		2.8		-14.27	-16.87			
		3.7		-14.27	-30.06			
3	-158.33							
		.0		5.23	-6.84			
		.9		5.23	-2.00			
		1.8		5.23	2.84			
		2.8		5.23	7.68			
		3.7		5.23	12.51			
54 -----								
1	-118.04							
		.0		-12.75	23.20			
		.9		-12.75	11.41			
		1.9		-12.75	-.38			
		2.8		-12.75	-12.18			
		3.7		-12.75	-23.97			
2	-122.86							
		.0		-17.24	27.48			
		.9		-17.24	11.53			
		1.9		-17.24	-4.42			
		2.8		-17.24	-20.36			
		3.7		-17.24	-36.31			
3	-113.22							
		.0		-8.26	18.93			
		.9		-8.26	11.29			
		1.9		-8.26	3.65			
		2.8		-8.26	-3.99			
		3.7		-8.26	-11.62			
55 -----								
1	-42.58							
		.0		12.96	-21.78			
		.9		12.96	-9.79			
		1.9		12.96	2.20			
		2.8		12.96	14.19			
		3.7		12.96	26.18			
2	-41.50							
		.0		12.14	-22.18			
		.9		12.14	10.96			
		1.9		12.14	.27			
		2.8		12.14	11.50			
		3.7		12.14	22.72			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
3	-43.66	.0	13.79	-21.38			
		.9	13.79	-8.63			
		1.9	13.79	4.13			
		2.8	13.79	16.89			
		3.7	13.79	29.65			

56							
1	-61.21	.0	3.09	-5.60			
		.9	3.09	-2.74			
		1.9	3.09	.11			
		2.8	3.09	2.97			
		3.7	3.09	5.82			
2	-60.31	.0	-1.03	.53			
		.9	-1.03	-.42			
		1.9	-1.03	-1.37			
		2.8	-1.03	-2.32			
		3.7	-1.03	-3.27			
3	-62.11	.0	7.20	-11.72			
		.9	7.20	-5.06			
		1.9	7.20	1.60			
		2.8	7.20	8.26			
		3.7	7.20	14.92			

57							
1	-62.99	.0	.00	.12			
		.9	.00	.13			
		1.8	.00	.13			
		2.8	.00	.13			
		3.7	.00	.13			
2	-63.01	.0	-5.51	8.81			
		.9	-5.51	3.71			
		1.8	-5.51	-1.39			
		2.8	-5.51	-6.49			
		3.7	-5.51	-11.59			
3	-62.97	.0	5.52	-8.56			
		.9	5.52	-3.46			
		1.8	5.52	1.64			
		2.8	5.52	6.74			
		3.7	5.52	11.84			

58							
1	-62.99	.0	.00	-.12			
		.9	.00	-.13			
		1.9	.00	-.13			
		2.8	.00	-.13			
		3.7	.00	-.13			
2	-62.98						

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SB X) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ	
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT		
3	.0	-5.50	8.53				
	.9	-5.50	3.45				
	1.9	-5.50	-1.64				
	2.8	-5.50	-6.72				
	3.7	-5.50	-11.80				
	-62.99						
59	.0	5.49	-8.78				
	.9	5.49	-3.70				
	1.9	5.49	1.39				
	2.8	5.49	6.47				
	3.7	5.49	11.55				
60	1	-61.21					
		.0	-3.09	5.60			
		.9	-3.09	2.74			
		1.9	-3.09	-.11			
		2.8	-3.09	-2.97			
	3.7	-3.09	-5.82				
	2	-62.12					
		.0	-7.15	11.64			
		.9	-7.15	5.02			
		1.9	-7.15	-1.59			
		2.8	-7.15	-8.21			
	3.7	-7.15	-14.82				
	3	-60.30					
		.0	.98	-.45			
		.9	.98	.46			
1.9		.98	1.36				
2.8		.98	2.27				
3.7	.98	3.18					
61	1	-42.58					
		.0	-12.96	21.78			
		.9	-12.96	9.79			
		1.9	-12.96	-2.20			
		2.8	-12.96	-14.19			
	3.7	-12.96	-26.18				
	2	-43.64					
		.0	-13.77	21.37			
		.9	-13.77	8.63			
		1.9	-13.77	-4.10			
		2.8	-13.77	-16.84			
	3.7	-13.77	-29.58				
	3	-41.52					
		.0	-12.16	22.20			
		.9	-12.16	10.95			
1.9		-12.16	-.30				
2.8		-12.16	-11.54				
3.7	-12.16	-22.79					
1	5.54						
.0	-33.63	32.70					

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SUMBU Y) UNIT TM
SYSTEM

L=2 : BEBAN VERTIKAL DAN BEBAN LATERAL

JOINTS

1	X=0	Y=0	Z=0	
2	X=10			
3	X=14			
4	X=24			
5	X=0		Z=7	
6	X=10			
41	X=0		Z=40.3	
42	X=10			Q=5, 6, 41, 42, 1, 4
7	X=14		Z=7	
8	X=24			
43	X=14		Z=40.3	
44	X=24			Q=7, 8, 43, 44, 1, 4

:

RESTRAINTS

1	4	1	R=1, 1, 1, 1, 1, 1
5	44	1	R=0, 1, 0, 1, 0, 1

:

FRAME

C CONTROL INFORMATION DATA

NM=6 NL=4 NSEC=5 Z=-1

C MATERIAL SECTION PROPERTIES DATA

1	SH=R	T=0.40, 0.30	E=2.625E6	W=0.40*0.30*24
2	SH=R	T=0.60, 0.40	E=2.625E6	W=0.60*0.40*24
3	SH=R	T=0.75, 0.35	E=2.625E6	W=0.75*0.35*24
4	SH=R	T=0.80, 0.50	E=2.625E6	W=0.80*0.50*24
5	SH=R	T=0.65, 0.65	E=2.625E6	W=0.65*0.65*24
6	SH=R	T=0.80, 0.80	E=2.625E6	W=0.80*0.80*24

C BEAM SPAN LOADING DATA

1	WG=0, 0, -1.541
2	WG=0, 0, -3.207
3	WG=0, 0, -3.462
4	WG=0, 0, -5.495

C ELEMENT LOCATION DATA

C COULOMN

1	1	5	M=6	G=3, 1, 1, 1	LP=2, 0
5	5	9	M=5	G=3, 1, 1, 1	
9	9	13	M=5	G=3, 1, 1, 1	
13	13	17	M=5	G=3, 1, 1, 1	
17	17	21	M=5	G=3, 1, 1, 1	
21	21	25	M=5	G=3, 1, 1, 1	
25	25	29	M=5	G=3, 1, 1, 1	
29	29	33	M=5	G=3, 1, 1, 1	
33	33	37	M=5	G=3, 1, 1, 1	
37	37	41	M=5	G=3, 1, 1, 1	

C BALOK

41	5	6	M=4	NSI=4	G=8,3,4,4	LF=2,0
42	6	7	M=2	NSI=3	G=8,3,4,4	
43	7	8	M=4	NSI=4	G=8,3,4,4	
68	41	42	M=3	NSI=2		
69	42	43	M=1	NSI=1		
70	43	44	M=3	NSI=2		

:

LOAD

5	F=4.014,0,0,0,0,0	L=2
9	F=5.897,0,0,0,0,0	
13	F=7.937,0,0,0,0,0	
17	F=9.976,0,0,0,0,0	
21	F=12.015,0,0,0,0,0	
25	F=14.054,0,0,0,0,0	
29	F=16.094,0,0,0,0,0	
33	F=18.133,0,0,0,0,0	
37	F=20.172,0,0,0,0,0	
41	F=13.880,0,0,0,0,0	

:

COMBO

- 1 C=1,0
- 2 C=1,1
- 3 C=1,-1

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD COMBINATION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
1	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000
3	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	.000000
5	-.000190	-.004683	.001078
6	-.000007	-.005364	-.000897
7	.000007	-.005364	.000897
8	.000190	-.004683	-.001078
9	-.000010	-.007939	.001020
10	-.000006	-.009104	-.000809
11	.000006	-.009104	.000809
12	.000010	-.007939	-.001020
13	-.000002	-.010818	.001015
14	-.000001	-.012405	-.000812
15	.000001	-.012405	.000812
16	.000002	-.010818	-.001015
17	-.000004	-.013319	.001025
18	-.000001	-.015269	-.000804
19	.000001	-.015269	.000804
20	.000004	-.013319	-.001025
21	-.000003	-.015441	.001032
22	-.000001	-.017696	-.000797
23	.000001	-.017696	.000797
24	.000003	-.015441	-.001032
25	-.000002	-.017183	.001037
26	-.000001	-.019687	-.000793
27	.000001	-.019687	.000793
28	.000002	-.017183	-.001037
29	-.000002	-.018546	.001041
30	-.000000	-.021242	-.000787
31	.000000	-.021242	.000787
32	.000002	-.018546	-.001041
33	-.000003	-.019529	.001046
34	-.000003	-.022362	-.000797
35	.000003	-.022362	.000797
36	.000003	-.019529	-.001046
37	-.000022	-.020131	.001027
38	.000009	-.023047	-.000708
39	-.000009	-.023047	.000708
40	.000022	-.020131	-.001027
41	.000558	-.020353	.001581
42	.000038	-.023297	-.001184
43	-.000038	-.023297	.001184
44	-.000558	-.020353	-.001581

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD COMBINATION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
1	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000
3	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	.000000
5	.019710	-.004238	.004146
6	.019908	-.005116	.001611
7	.019908	-.005613	.003404
8	.020041	-.005127	.001983
9	.033181	-.007198	.003720
10	.033133	-.008701	.001462
11	.033126	-.009507	.003080
12	.033126	-.008678	.001673
13	.045431	-.009835	.003544
14	.045370	-.011886	.001320
15	.045347	-.012926	.002944
16	.045335	-.011798	.001507
17	.056837	-.012145	.003362
18	.056761	-.014665	.001178
19	.056732	-.015874	.002784
20	.056717	-.014490	.001307
21	.067237	-.014121	.003133
22	.067146	-.017036	.000994
23	.067110	-.018358	.002588
24	.067091	-.016757	.001064
25	.076410	-.015760	.002854
26	.076303	-.018995	.000766
27	.076260	-.020382	.002350
28	.076236	-.018603	.000774
29	.084127	-.017054	.002525
30	.084004	-.020535	.000498
31	.083953	-.021953	.002070
32	.083926	-.020034	.000438
33	.090170	-.017997	.002155
34	.090030	-.021653	.000178
35	.089980	-.023076	.001772
36	.089946	-.021056	.000057
37	.094374	-.018581	.001751
38	.094251	-.022341	-.000050
39	.094168	-.023757	.001362
40	.094161	-.021677	-.000310
41	.097581	-.018798	.002083
42	.096904	-.022595	-.000677
43	.096740	-.024003	.001685
44	.096177	-.021905	-.001086

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SUMBU Y) UNIT TM

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

LOAD COMBINATION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
1	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000
3	.000000	.000000	.000000
4	.000000	.000000	.000000
5	-.020091	-.005128	-.001990
6	-.019921	-.005612	-.003405
7	-.019895	-.005115	-.001610
8	-.019660	-.004238	-.004139
9	-.033201	-.008680	-.001679
10	-.033144	-.009506	-.003081
11	-.033114	-.008700	-.001461
12	-.033106	-.007200	-.003714
13	-.045436	-.011800	-.001513
14	-.045372	-.012924	-.002945
15	-.045345	-.011884	-.001319
16	-.045331	-.009837	-.003538
17	-.056844	-.014493	-.001313
18	-.056764	-.015872	-.002785
19	-.056730	-.014663	-.001177
20	-.056710	-.012147	-.003356
21	-.067243	-.016760	-.001070
22	-.067149	-.018355	-.002589
23	-.067108	-.017034	-.000993
24	-.067085	-.014124	-.003127
25	-.076414	-.018606	-.000780
26	-.076304	-.020379	-.002351
27	-.076258	-.018991	-.000765
28	-.076231	-.015763	-.002848
29	-.084130	-.020037	-.000444
30	-.084004	-.021949	-.002072
31	-.083953	-.020532	-.000497
32	-.083922	-.017058	-.002519
33	-.090176	-.021060	-.000063
34	-.090037	-.023072	-.001773
35	-.089973	-.021649	-.000177
36	-.089940	-.018001	-.002149
37	-.094418	-.021681	.000304
38	-.094233	-.023753	-.001365
39	-.094187	-.022338	.000053
40	-.094117	-.018585	-.001745
41	-.096465	-.021909	.001079
42	-.096827	-.023999	-.001690
43	-.096817	-.022591	.000682
44	-.097293	-.018802	-.002076

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT	AXIAL TORQ
1								
1	-1123.87		.0	11.94	-27.99			
			1.8	11.94	-7.09			
			3.5	11.94	13.80			
			5.3	11.94	34.69			
			7.0	11.94	55.59			
2	-1017.03		.0	-15.66	107.87			
			1.8	-15.66	80.47			
			3.5	-15.66	53.07			
			5.3	-15.66	25.68			
			7.0	-15.66	-1.72			
3	-1230.71		.0	39.53	-163.84			
			1.8	39.53	-94.66			
			3.5	39.53	-25.47			
			5.3	39.53	43.71			
			7.0	39.53	112.90			
2								
1	-1287.44		.0	-9.43	21.54			
			1.8	-9.43	5.03			
			3.5	-9.43	-11.48			
			5.3	-9.43	-27.99			
			7.0	-9.43	-44.49			
2	-1227.88		.0	-42.97	171.04			
			1.8	-42.97	95.83			
			3.5	-42.97	20.63			
			5.3	-42.97	-54.58			
			7.0	-42.97	-129.78			
3	-1346.99		.0	24.11	-127.96			
			1.8	24.11	-85.77			
			3.5	24.11	-43.58			
			5.3	24.11	-1.39			
			7.0	24.11	40.79			
3								
1	-1287.44		.0	9.43	-21.54			
			1.8	9.43	-5.03			
			3.5	9.43	11.48			
			5.3	9.43	27.99			
			7.0	9.43	44.49			
2	-1347.19		.0	-24.08	127.85			
			1.8	-24.08	85.71			
			3.5	-24.08	43.57			
			5.3	-24.08	1.42			
			7.0	-24.08	-40.72			
3	-1227.68							

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SUMBU Y) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
			.0	42.95	-170.93			
			1.8	42.95	-95.77			
			3.5	42.95	-20.61			
			5.3	42.95	54.55			
			7.0	42.95	129.71			

4								
	1	-1123.87	.0	-11.94	27.99			
			1.8	-11.94	7.09			
			3.5	-11.94	-13.80			
			5.3	-11.94	-34.69			
			7.0	-11.94	-55.59			
	2	-1230.50	.0	-39.46	163.49			
			1.8	-39.46	94.43			
			3.5	-39.46	25.38			
			5.3	-39.46	-43.68			
			7.0	-39.46	-112.73			
	3	-1017.23	.0	15.58	-107.51			
			1.8	15.58	-80.25			
			3.5	15.58	-52.98			
			5.3	15.58	-25.71			
			7.0	15.58	1.56			

5								
	1	-976.02	.0	31.24	-58.40			
			.9	31.24	-29.51			
			1.9	31.24	-.61			
			2.8	31.24	28.29			
			3.7	31.24	57.18			
	2	-887.42	.0	9.12	-21.38			
			.9	9.12	-12.94			
			1.9	9.12	-4.50			
			2.8	9.12	3.93			
			3.7	9.12	12.37			
	3	-1064.62	.0	53.36	-95.43			
			.9	53.36	-46.07			
			1.9	53.36	3.29			
			2.8	53.36	52.64			
			3.7	53.36	102.00			

6								
	1	-1120.85	.0	-26.64	50.21			
			.9	-26.64	25.57			
			1.9	-26.64	.92			
			2.8	-26.64	-23.72			
			3.7	-26.64	-48.36			
	2	-1074.62	.0	-63.62	116.12			

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
3 -1167.07	.9	-63.62	57.27			
	1.9	-63.62	-1.57			
	2.8	-63.62	-60.42			
	3.7	-63.62	-119.27			
	.0	10.33	-15.70			
7 -----	.9	10.33	-6.14			
	1.9	10.33	3.42			
	2.8	10.33	12.98			
	3.7	10.33	22.54			
	1 -1120.85					
2 -1167.25	.0	26.64	-50.21			
	.9	26.64	-25.57			
	1.9	26.64	-.92			
	2.8	26.64	23.72			
	3.7	26.64	48.36			
3 -1074.45	.0	-10.32	15.67			
	.9	-10.32	6.13			
	1.9	-10.32	-3.42			
	2.8	-10.32	-12.96			
	3.7	-10.32	-22.50			
8 -----	.0	63.60	-116.09			
	.9	63.60	-57.26			
	1.9	63.60	1.57			
	2.8	63.60	60.40			
	3.7	63.60	119.23			
1 -976.02	.0	-31.24	58.40			
	.9	-31.24	29.51			
	1.9	-31.24	.61			
	2.8	-31.24	-28.29			
	3.7	-31.24	-57.18			
2 -1064.44	.0	-53.34	95.42			
	.9	-53.34	46.08			
	1.9	-53.34	-3.27			
	2.8	-53.34	-52.61			
	3.7	-53.34	-101.95			
3 -887.60	.0	-9.13	21.38			
	.9	-9.13	12.93			
	1.9	-9.13	4.48			
	2.8	-9.13	-3.96			
	3.7	-9.13	17.41			
9 -----	.0	31.71	-58.72			
	.9	31.71	-29.39			

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
2 -790.51	1.9	31.71	-0.06			
	2.8	31.71	29.28			
	3.7	31.71	58.61			
	.0	10.01	-20.38			
	.9	10.01	-11.12			
	1.9	10.01	-1.86			
	2.8	10.01	7.41			
	3.7	10.01	16.67			
	3 -935.40	.0	53.41	-97.06		
	.9	53.41	-47.66			
	1.9	53.41	1.74			
	2.8	53.41	51.15			
	3.7	53.41	100.55			

10	1 -989.48	.0	-25.36	46.88		
		.9	-25.36	23.42		
		1.9	-25.36	-.03		
		2.8	-25.36	-23.49		
		3.7	-25.36	-46.94		
	2 -954.52	.0	-59.82	109.17		
		.9	-59.82	53.84		
		1.9	-59.82	-1.50		
		2.8	-59.82	-56.83		
		3.7	-59.82	-112.17		
	3 -1024.45	.0	9.11	-15.42		
		.9	9.11	-6.99		
		1.9	9.11	1.43		
		2.8	9.11	9.86		
		3.7	9.11	18.28		

11	1 -989.48	.0	25.36	-46.88		
		.9	25.36	-23.42		
		1.9	25.36	.03		
		2.8	25.36	23.49		
		3.7	25.36	46.94		
	2 -1024.61	.0	-9.09	15.37		
		.9	-9.09	6.97		
		1.9	-9.09	-1.43		
		2.8	-9.09	-9.84		
		3.7	-9.09	-18.24		
	3 954.36	.0	59.80	109.17		
		.9	59.80	-53.81		
		1.9	59.80	1.50		
		2.8	59.80	56.81		

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
12			3.7	59.80	112.12			

1	-862.96		.0	-31.71	58.72			
			.9	-31.71	29.39			
			1.9	-31.71	.06			
			2.8	-31.71	-29.28			
			3.7	-31.71	-58.61			
2	-935.24		.0	-53.37	96.98			
			.9	-53.37	47.62			
			1.9	-53.37	-1.75			
			2.8	-53.37	-51.12			
			3.7	-53.37	-100.48			
3	-790.67		.0	-10.05	20.46			
			.9	-10.05	11.16			
			1.9	-10.05	1.86			
			2.8	-10.05	-7.44			
			3.7	-10.05	-16.74			
13								

1	-749.59		.0	31.86	-58.83			
			.9	31.86	-29.37			
			1.9	31.86	.10			
			2.8	31.86	29.57			
			3.7	31.86	59.03			
2	-692.19		.0	11.56	-23.31			
			.9	11.56	-12.61			
			1.9	11.56	-1.92			
			2.8	11.56	8.77			
			3.7	11.56	19.47			
3	-806.98		.0	52.15	-94.36			
			.9	52.15	-46.12			
			1.9	52.15	2.12			
			2.8	52.15	50.36			
			3.7	52.15	98.60			
14								

1	-858.42		.0	-25.22	46.76			
			.9	-25.22	23.42			
			1.9	-25.22	.09			
			2.8	-25.22	-23.24			
			3.7	-25.22	-46.57			
2	-833.21		.0	57.12	104.17			
			.9	-57.12	51.33			
			1.9	-57.12	-1.50			
			2.8	-57.12	-54.34			
			3.7	-57.12	-107.17			

TUGAS AKHIR PORTAL 2 DIMENSI (ARAH SUMBU Y) UNIT TM

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
3	-883.64					
	.0	6.67	-10.66			
	.9	6.67	-4.48			
	1.9	6.67	1.69			
	2.8	6.67	7.86			
	3.7	6.67	14.03			

15						
1	-858.42					
	.0	25.22	-46.76			
	.9	25.22	-23.42			
	1.9	25.22	-.09			
	2.8	25.22	23.24			
	3.7	25.22	46.57			
2	-883.78					
	.0	-6.65	10.61			
	.9	-6.65	4.46			
	1.9	-6.65	-1.69			
	2.8	-6.65	-7.84			
	3.7	-6.65	-13.99			
3	-833.07					
	.0	57.10	-104.12			
	.9	57.10	-51.31			
	1.9	57.10	1.50			
	2.8	57.10	54.32			
	3.7	57.10	107.13			

16						
1	-749.59					
	.0	-31.86	58.83			
	.9	-31.86	29.37			
	1.9	-31.86	-.10			
	2.8	-31.86	-29.57			
	3.7	-31.86	-59.03			
2	-806.84					
	.0	-52.12	94.30			
	.9	-52.12	46.09			
	1.9	-52.12	-2.12			
	2.8	-52.12	-50.33			
	3.7	-52.12	-98.54			
3	-692.33					
	.0	-11.60	23.37			
	.9	-11.60	12.64			
	1.9	-11.60	1.92			
	2.8	-11.60	-8.81			
	3.7	-11.60	-19.53			

17						
1	-636.04					
	.0	32.09	-59.30			
	.9	32.09	29.61			
	1.9	32.09	.07			
	2.8	32.09	29.76			
	3.7	32.09	59.45			
2	-592.49					

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
		.0	13.62	-27.62			
		.9	13.62	-15.02			
		1.9	13.62	-2.42			
		2.8	13.62	10.18			
		3.7	13.62	22.79			
3	-679.58	.0	50.56	-90.98			
		.9	50.56	-44.21			
		1.9	50.56	2.56			
		2.8	50.56	49.33			
		3.7	50.56	96.10			

18							
1	-727.54	.0	-25.00	46.31			
		.9	-25.00	23.19			
		1.9	-25.00	.07			
		2.8	-25.00	-23.05			
		3.7	-25.00	-46.18			
2	-710.71	.0	-53.73	97.45			
		.9	-53.73	47.75			
		1.9	-53.73	-1.94			
		2.8	-53.73	-51.64			
		3.7	-53.73	-101.34			
3	-744.37	.0	3.74	-4.84			
		.9	3.74	-1.38			
		1.9	3.74	2.08			
		2.8	3.74	5.53			
		3.7	3.74	8.99			

19							
1	-727.54	.0	25.00	-46.31			
		.9	25.00	-23.19			
		1.9	25.00	-.07			
		2.8	25.00	23.05			
		3.7	25.00	46.18			
2	-744.49	.0	-3.71	4.79			
		.9	-3.71	1.36			
		1.9	-3.71	-2.08			
		2.8	-3.71	-5.51			
		3.7	-3.71	-8.95			
3	-710.59	.0	53.71	-97.41			
		.9	53.71	-47.73			
		1.9	53.71	1.94			
		2.8	53.71	51.62			
		3.7	53.71	101.30			

20							
1	-636.04	.0	-32.09	59.30			

F R A M E E L E M E N T F O R C E S

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
	.9	-32.09	29.61			
	1.9	-32.09	-.07			
	2.8	-32.09	-29.76			
	3.7	-32.09	-59.45			
2	-679.46					
	.0	-50.53	90.92			
	.9	-50.53	44.18			
	1.9	-50.53	-2.56			
	2.8	-50.53	-49.30			
	3.7	-50.53	-96.04			
3	-592.61					
	.0	-13.66	27.68			
	.9	-13.66	15.05			
	1.9	-13.66	2.42			
	2.8	-13.66	-10.22			
	3.7	-13.66	-22.85			
21						
1	-522.33					
	.0	32.29	-59.68			
	.9	32.29	-29.81			
	1.9	32.29	.06			
	2.8	32.29	29.93			
	3.7	32.29	59.80			
2	-491.17					
	.0	16.06	-32.66			
	.9	16.06	-17.80			
	1.9	16.06	-2.94			
	2.8	16.06	11.91			
	3.7	16.06	26.77			
3	-553.49					
	.0	48.52	-86.69			
	.9	48.52	-41.82			
	1.9	48.52	3.06			
	2.8	48.52	47.94			
	3.7	48.52	92.82			
22						
1	-596.82					
	.0	-24.82	45.97			
	.9	-24.82	23.01			
	1.9	-24.82	.05			
	2.8	-24.82	-22.91			
	3.7	-24.82	-45.87			
2	-586.95					
	.0	-49.79	89.70			
	.9	-49.79	43.65			
	1.9	-49.79	-2.40			
	2.8	-49.79	-48.46			
	1.7	-49.79	94.51			
3	-606.70					
	.0	.15	2.24			
	.9	.15	2.37			
	1.9	.15	2.51			

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
				SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
			2.8	.15				2.64
			3.7	.15				2.77
23			-----					
	1	-596.82						
			.0	24.82				-45.97
			.9	24.82				-23.01
			1.9	24.82				-.05
			2.8	24.82				22.91
			3.7	24.82				45.87
	2	-606.80						
			.0	-.12				-2.28
			.9	-.12				-2.39
			1.9	-.12				-2.51
			2.8	-.12				-2.62
			3.7	-.12				-2.73
	3	-586.85						
			.0	49.77				-89.66
			.9	49.77				-43.63
			1.9	49.77				2.40
			2.8	49.77				48.44
			3.7	49.77				94.47
24			-----					
	1	-522.33						
			.0	-32.29				59.68
			.9	-32.29				29.81
			1.9	-32.29				-.06
			2.8	-32.29				-29.93
			3.7	-32.29				-59.80
	2	-553.39						
			.0	-48.48				86.63
			.9	-48.48				41.78
			1.9	-48.48				-3.06
			2.8	-48.48				-47.91
			3.7	-48.48				-92.76
	3	-491.27						
			.0	-16.10				32.72
			.9	-16.10				17.83
			1.9	-16.10				2.94
			2.8	-16.10				-11.95
			3.7	-16.10				-26.83
25			-----					
	1	-408.49						
			.0	32.43				-59.96
			.9	32.43				-29.96
			1.8	32.43				.04
			2.8	32.43				30.04
			3.7	32.43				60.04
	2	117.97						
			.0	18.85				18.15
			.9	18.85				-20.91
			1.8	18.85				-3.47
			2.8	18.85				13.97

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
3	-429.01	3.7	18.85	31.41			
		.0	46.01	-81.58			
		.9	46.01	-39.02			
		1.8	46.01	3.55			
		2.8	46.01	46.11			
		3.7	46.01	88.67			

26	1	-466.23					
		.0	-24.66	45.68			
		.9	-24.66	22.87			
		1.8	-24.66	.06			
		2.8	-24.66	-22.74			
		3.7	-24.66	-45.55			
	2	-461.76					
		.0	-45.24	80.87			
		.9	-45.24	39.02			
		1.8	-45.24	-2.83			
		2.8	-45.24	-44.68			
		3.7	-45.24	-86.53			
	3	-470.70					
		.0	-4.07	10.48			
		.9	-4.07	6.72			
		1.8	-4.07	2.95			
		2.8	-4.07	-.81			
		3.7	-4.07	-4.58			

27	1	-466.23					
		.0	24.66	-45.68			
		.9	24.66	-22.87			
		1.8	24.66	-.06			
		2.8	24.66	22.74			
		3.7	24.66	45.55			
	2	-470.78					
		.0	4.09	-10.52			
		.9	4.09	-6.73			
		1.8	4.09	-2.95			
		2.8	4.09	.83			
		3.7	4.09	4.61			
	3	-461.68					
		.0	45.22	-80.84			
		.9	45.22	-39.00			
		1.8	45.22	2.83			
		2.8	45.22	44.66			
		3.7	45.22	86.49			

28	1	-408.49					
		.0	-32.43	59.96			
		.9	-32.43	29.96			
		1.8	-32.43	-.04			
		2.8	-32.43	-30.04			
		3.7	-32.43	-60.04			

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ	
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT		
2	-428.93	.0	-45.98	81.52				
		.9	-45.98	38.99				
		1.8	-45.98	-3.54				
		2.8	-45.98	-46.08				
		3.7	-45.98	-88.61				
3	-388.05	.0	-18.89	38.41				
		.9	-18.89	20.94				
		1.8	-18.89	3.47				
		2.8	-18.89	-14.00				
		3.7	-18.89	-31.47				

29	1	-294.56	.0	32.58	-60.22			
			.9	32.58	-30.08			
			1.8	32.58	.06			
			2.8	32.58	30.19			
			3.7	32.58	60.33			
2	-282.64	.0	22.05	-44.71				
		.9	22.05	-24.31				
		1.8	22.05	-3.91				
		2.8	22.05	16.49				
		3.7	22.05	36.89				
3	-306.47	.0	43.11	-75.73				
		.9	43.11	-35.86				
		1.8	43.11	4.02				
		2.8	43.11	43.89				
		3.7	43.11	83.77				

30	1	-335.73	.0	-24.70	45.58			
			.9	-24.70	22.73			
			1.8	-24.70	-.11			
			2.8	-24.70	-22.96			
			3.7	-24.70	-45.80			
2	-334.97	.0	-40.29	71.16				
		.9	-40.29	33.89				
		1.8	-40.29	-3.38				
		2.8	-40.29	-40.65				
		3.7	-40.29	-77.92				
3	-336.49	.0	-9.11	20.00				
		.9	-9.11	11.58				
		1.8	-9.11	1.14				
		2.8	-9.11	-5.27				
		3.7	-9.11	-13.69				

31	1	-335.73						

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
2	-336.55	.0	24.70	-45.58		
		.9	24.70	-22.73		
		1.8	24.70	.11		
		2.8	24.70	22.96		
		3.7	24.70	45.80		
3	-334.91	.0	9.13	-20.04		
		.9	9.13	-11.60		
		1.8	9.13	-3.15		
		2.8	9.13	5.29		
		3.7	9.13	13.74		
32		.0	40.27	-71.12		
		.9	40.27	-33.87		
		1.8	40.27	3.38		
		2.8	40.27	40.62		
		3.7	40.27	77.87		
1	-294.56	.0	-32.58	60.22		
		.9	-32.58	30.08		
		1.8	-32.58	-.06		
		2.8	-32.58	-30.19		
		3.7	-32.58	-60.33		
2	-306.41	.0	-43.08	75.68		
		.9	-43.08	35.83		
		1.8	-43.08	-4.02		
		2.8	-43.08	-43.86		
		3.7	-43.08	-83.71		
3	-282.71	.0	-22.09	44.77		
		.9	-22.09	24.34		
		1.8	-22.09	3.91		
		2.8	-22.09	-16.52		
		3.7	-22.09	-36.95		
1	-180.52	.0	32.53	-60.38		
		.9	32.53	-30.29		
		1.9	32.53	-.20		
		2.8	32.53	29.90		
		3.7	32.53	59.99		
2	-174.93	.0	25.50	-51.44		
		.9	25.50	-27.85		
		1.9	25.50	-4.26		
		2.8	25.50	19.31		
		3.7	25.50	42.92		
3	-186.11	.0	39.56	-69.31		
		.9	39.56	-32.72		

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL DIST FORCE ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
	1.9	39.56	3.87			
	2.8	39.56	40.46			
	3.7	39.56	77.05			

34	1 -205.34					
	.0	-23.60	44.60			
	.9	-23.60	22.77			
	1.9	-23.60	.95			
	2.8	-23.60	-20.88			
	3.7	-23.60	-42.71			
	2 -206.46					
	.0	-33.61	59.77			
	.9	-33.61	28.68			
	1.9	-33.61	-2.41			
	2.8	-33.61	-33.50			
	3.7	-33.61	-64.59			
	3 -204.22					
	.0	-13.58	29.43			
	.9	-13.58	16.86			
	1.9	-13.58	4.30			
	2.8	-13.58	-8.26			
	3.7	-13.58	-20.82			

35	1 -205.34					
	.0	23.60	-44.60			
	.9	23.60	-22.77			
	1.9	23.60	-.95			
	2.8	23.60	20.88			
	3.7	23.60	42.71			
	2 -204.27					
	.0	13.58	-29.45			
	.9	13.58	-16.88			
	1.9	13.58	-4.32			
	2.8	13.58	8.24			
	3.7	13.58	20.81			
	3 -206.42					
	.0	33.61	-59.75			
	.9	33.61	-28.66			
	1.9	33.61	2.43			
	2.8	33.61	33.52			
	3.7	33.61	64.61			

36	1 -180.52					
	.0	-32.53	60.38			
	.9	-32.53	30.29			
	1.9	-32.53	.20			
	2.8	-32.53	-29.90			
	3.7	-32.53	-59.99			
	2 -106.06					
	.0	-39.53	69.25			
	.9	-39.53	32.69			
	1.9	-39.53	-3.88			

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE	AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	
3	-174.97	2.8	-39.53	-40.44		
		3.7	-39.53	-77.00		
		.0	-25.53	51.50		
		.9	-25.53	27.88		
		1.9	-25.53	4.27		
		2.8	-25.53	-19.35		
37	-66.66	3.7	-25.53	-42.97		
		.0	35.82	-60.43		
		.9	35.82	-27.29		
		1.9	35.82	5.84		
		2.8	35.82	38.98		
		3.7	35.82	72.12		
2	-65.06	.0	32.78	-57.15		
		.9	32.78	-26.82		
		1.9	32.78	3.50		
		2.8	32.78	33.83		
		3.7	32.78	64.15		
		.0	38.86	-63.71		
3	-68.25	.9	38.86	-27.76		
		1.9	38.86	8.19		
		2.8	38.86	44.13		
		3.7	38.86	80.08		
		.0	-29.77	50.05		
		38	-74.77	.9	-29.77	22.51
1.9	-29.77			-5.02		
2.8	-29.77			-32.56		
3.7	-29.77			-60.10		
.0	-33.73			55.79		
2	-75.90			.9	-33.73	24.59
		1.9	-33.73	-6.62		
		2.8	-33.73	-37.82		
		3.7	-33.73	-69.02		
		.0	-25.80	44.31		
		3	-73.64	.9	-25.80	20.44
1.9	-25.80			-3.43		
2.8	-25.80			-27.30		
3.7	-25.80			-51.17		
.0	29.77			-50.05		
39	74.77			.9	29.77	-22.51
		1.9	29.77	5.02		
		2.8	29.77	32.56		

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COMB	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE		1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT	SHEAR	MOMENT	
2	-73.66	3.7	29.77	60.10			
		.0	25.87	-44.46			
		.9	25.87	-20.53			
		1.9	25.87	3.41			
		2.8	25.87	27.34			
		3.7	25.87	51.27			
3	-75.88	.0	33.66	-55.64			
		.9	33.66	-24.50			
		1.9	33.66	6.64			
		2.8	33.66	37.78			
		3.7	33.66	68.92			
		40					
1	-66.66	.0	-35.82	60.43			
		.9	-35.82	27.29			
		1.9	-35.82	-5.84			
		2.8	-35.82	-38.98			
		3.7	-35.82	-72.12			
		2	-68.23	.0	-38.80	63.60	
.9	-38.80	27.71					
1.9	-38.80	-8.19					
2.8	-38.80	-44.08					
3.7	-38.80	-79.97					
3	-65.08	.0		-32.84	57.26		
.9		-32.84	26.88				
1.9		-32.84	-3.50				
2.8		-32.84	-33.88				
3.7		-32.84	-64.26				
41							
1	19.30	.0	-75.33	113.99			
		2.5	-37.59	-27.15			
		5.0	.15	-73.96			
		7.5	37.89	-26.41			
		10.0	75.62	115.48			
		2	20.76	.0	-57.09	19.65	
2.5	-19.35	-75.89					
5.0	18.39	-77.09					
7.5	56.13	16.05					
10.0	93.86	203.54					
3	17.84	.0		-93.57	208.32		
2.5		55.81	71.50				
5.0		-18.09	70.82				
7.5		19.65	-68.87				
10.0		57.38	27.41				