

14.867/H/02



TUGAS AKHIR
(TS - 1780)

**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN OUTRIGGER PADA STRUKTUR
BANGUNAN TINGGI UNTUK MENGURANGI SIMPANGAN
LATERAL DAN MOMEN STRUKTUR**

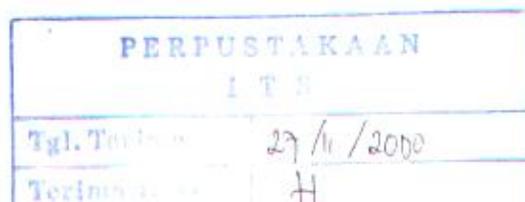


RSS
690
Sol
e-1
2000

Oleh :

HENDRIANTO SOETJIADI
NRP.43192100095

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**



TUGAS AKHIR
(TS - 1780)

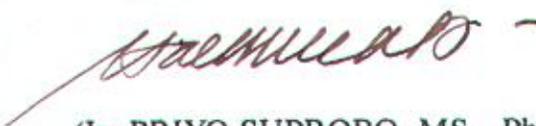
**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN OUTRIGGER PADA STRUKTUR
BANGUNAN TINGGI UNTUK MENGURANGI SIMPANGAN
LATERAL DAN MOMEN STRUKTUR**

Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II

(Ir. TAVIO, MS.)


(Ir. PRIYO SUPROBO, MS., PhD.)

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan YME, karena berkat rahmat dan karunia-Nya maka laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Laporan ini diajukan sebagai syarat kurikulum tingkat sarjana pada jurusan Teknik Sipil – FTSP – ITS Surabaya.

Di dalam penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi, antar teori yang diperoleh dibangku kuliah dengan praktek di lapangan dan perkembangan pada rekayasa teknik selalu terdapat hal-hal yang belum diajarkan dan dipelajari. Salah satu usaha untuk memperluas pengetahuan dan wawasan dapat dicapai dengan mengerjakan tugas akhir yang membahas sesuatu hal yang merupakan kasus khusus atau hal yang baru.

Laporan ini kami susun berdasarkan analisa simulasi struktur dan studi literatur yang kami lakukan selama setahun terakhir dari pertengahan tahun 1999 sampai pertengahan tahun 2000.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Tavio, MS dan Bapak Ir. Priyo Suprobo, MS. Phd selaku dosen pembimbing dan dosen pendamping yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan informasi serta waktu yang berharga dalam penyelesaian dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Pudjoaji yang banyak membantu dengan memberikan dorongan, masukan-masukan dan bantuan literatur yang kadang sulit dicari, sehingga penyelesaian laporan tugas akhir ini dapat dilakukan dengan sebaik mungkin dan tepat waktu.

3. Ir. Soewardoyo, Msc, selaku Ketua Bidang Studi Konstruksi jurusan Teknik Sipil – FTSP – ITS.
4. Teman – teman yang memberikan dorongan moril dan materiil.
5. Pihak-pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Akhirnya kami berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, 14 Juni 2000



Hendrianto Soetjiadi

Daftar Isi

	Halaman
Kata Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Notasi	vii
Daftar Lampiran	viii
Abstrak	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Studi	4
1.4 Lingkup Pembahasan Studi	5
1.5 Metodologi	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Struktur Outrigger secara umum	8
2.2 Keuntungan Pemakaian Outrigger	10
2.3 Cara Kerja Sistem Outrigger	11
2.4 Metoda Analisa	12
2.5 Sistem Dengan Dua atau Lebih Outrigger	15
2.6 Fleksibilitas Outrigger	17
2.7 Lokasi Optimal Outrigger	19
2.8 Kinerja Struktur Outrigger	22
BAB III PEMODELAN STRUKTUR	
3.1 Pendahuluan	26
3.2 Elemen Struktur	26
3.3 Bentuk dan Denah Struktur	27
3.4 Kelangsingan Struktur	30
3.5 Dimensi Struktur	30
3.6 Beban Struktur	31
3.6.1 Beban Gravitasi	31
3.6.2 Beban Gempa	32
3.6.3 Beban Ekuivalen	33
3.7 Perhitungan Dimensi Elemen Struktur	35
3.7.1 Dimensi Pelat	36
3.7.2 Dimensi Balok	36

3.7.3 Dimensi Dinding Geser	37
3.7.4 Dimensi Kolom	37
3.8 Input Program	39

BAB IV ANALISA STRUKTUR & PEMBAHASAN HASIL

4.1 Pendahuluan	40
4.2 Fleksibilitas Outrigger	41
4.3 Penentuan Fleksibilitas Outrigger	42
4.4 Studi Perletakan Struktur	43
4.4.1 Pendekatan Teori	44
4.4.2 Pendekatan Praktis Lapangan	45
4.5 Pra-Analisa Struktur	45
4.5.1 Letak Outrigger	46
4.5.2 Tinggi Struktur	47
4.5.3 Ukuran dan Potongan Struktur	47
4.5.4 Hasil Analisa dan Pembahasan	49
4.6 Pengaruh Fleksibilitas Outrigger terhadap Letak Optimal	53
4.6.1 Penjelasan Singkat	53
4.6.2 Metoda	54
4.6.3 Hasil Analisa dan Pembahasan	54
4.7 Pengaruh Jumlah Outrigger yang Terpasang	57
4.7.1 Penjelasan Singkat	57
4.7.2 Metoda	58
4.7.3 Hasil Analisa dan Pembahasan	58
4.8 Pengaruh Letak Outrigger terhadap Simpangan dan Momen	60
4.8.1 Penjelasan Singkat	60
4.8.2 Metoda	61
4.8.3 Hasil Analisa dan Pembahasan	61
4.9 Pengaruh Pemasangan Outrigger pada Lantai Optimal	66
4.9.1 Penjelasan Singkat	66
4.9.2 Metoda	68
4.9.3 Hasil Analisa dan Pembahasan	68
4.10 Perbandingan Simpangan Struktur	78
4.11 Perbandingan Hasil Analisa Antara Beban Merata dan Beban Segi Tiga	81
4.12 Kesimpulan Pemakaian Outrigger pada Model Struktur	82

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	90
5.2 Saran	93

Daftar Pustaka
Lampiran

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Outrigger dengan Central Core dan Offset Core	9
Gambar 2.2 Struktur Outrigger menyimpang dibawah beban lateral, resultan defleksi, resultan momen core	11
Gambar 2.3 Dimensi Struktur, Diagram momen beban luar, Momen Tahanan dan Resultan Outrigger	16
Gambar 2.4 Wide Column Action of Wall and Outrigger, Action of Equivalent Full Span Outrigger	18
Gambar 2.5 Lokasi Optimum Outrigger	20
Gambar 2.6 Efisiensi Reduksi Momen Core	23
Gambar 2.7 Efisiensi Reduksi Drift	25
Gambar 3.1 Denah Struktur	28
Gambar 3.2 Tampak Struktur Arah Sumbu X dan Y	29
Gambar 3.3 Grafik Koefisien Gempa Dasar	33
Gambar 3.4 Pembagian Beban Merata pada Struktur	34
Gambar 4.1 Denah Struktur	41
Gambar 4.2 Potongan Struktur	51
Gambar 4.3 Model Struktur 3D	51(a)
Gambar 4.4 Perbandingan Kelangsingan Struktur	51(b)
Gambar 4.5 Letak Optimal Outrigger pada Struktur	69(a)
Gambar 4.6 Macam Struktur	80
Gambar 4.7 Model Pembebanan Struktur	81
Gambar 4.8 Grafik Simpangan Struktur 30 Lantai	84
Gambar 4.9 Grafik Momen Base Core Struktur 30 Lantai	85
Gambar 4.10 Grafik Simpangan Struktur 40 Lantai	86
Gambar 4.11 Grafik Momen Base Core Struktur 40 Lantai	87
Gambar 4.12 Grafik Simpangan Struktur 50 Lantai	88
Gambar 4.13 Grafik Momen Base Core Struktur 50 Lantai	89

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Perhitungan Beban Merata	35
Tabel 3.2 Dimensi Balok	37
Tabel 3.3 Dimensi Dinding Geser	38
Tabel 3.4 Perkiraan Dimensi Kolom	38
Tabel 3.5 Dimensi Kolom	38
Tabel 4.1 Perhitungan Nilai Fleksibilitas Outrigger	43
Tabel 4.2 Dimensi Elemen Struktur	48
Tabel 4.3(a)– 4.5(a) Reduksi Simpangan dan Momen Core Arah X	49
Tabel 4.3(b)– 4.5(b) Reduksi Simpangan dan Momen Core Arah Y	52
Tabel 4.6 – 4.9 Pergeseran Outrigger untuk Letak Optimalnya	54
Tabel 4.10 – 4.11 Pergeseran Outrigger untuk Letak Optimalnya	56
Tabel 4.12 Letak Outrigger	57
Tabel 4.13 Output Pemasangan 1 sampai 4 Outrigger pada Struktur 40 lt.	58
Tabel 4.14 Output Pemasangan 1 sampai 4 Outrigger pada Struktur 50 lt.	59
Tabel 4.15 Pergeseran Outrigger di Struktur 30 lantai	63
Tabel 4.16 Pergeseran Outrigger di Struktur 40 lantai	64
Tabel 4.17 Pergeseran Outrigger di Struktur 50 lantai	65
Tabel 4.18 Output Sistem 1 Outrigger untuk Struktur 40 lantai	70
Tabel 4.19 Output Struktur Wall Frame 40 lantai	71
Tabel 4.20 Output Sistem 1 Outrigger untuk Struktur 30 lantai	72
Tabel 4.21 Output Struktur Wall Frame 30 lantai	73
Tabel 4.22 Output Sistem 1 Outrigger untuk Struktur 50 lantai	74
Tabel 4.23 Output Struktur Wall Frame 50 lantai	75
Tabel 4.24 Output Sistem 2 Outrigger pada Struktur 40 lantai	76
Tabel 4.25 Output Sistem 2 Outrigger pada Struktur 50 lantai	77
Tabel 4.26 Gaya Aksial Kolom pada Dasar Struktur	78
Tabel 4.27 Simpangan Struktur	79
Tabel 4.28 Perbandingan Letak Optimal Outrigger dari Puncak Struktur	82

DAFTAR NOTASI

Simbol Latin

E	: Modulus Elastisitas
I	: Momen Inertia
A	: Luas Penampang Kolom
d	: Panjang Efektif Outrigger
a	: Setengah Lebar Core
b	: Panjang Outrigger
H	: Tinggi Struktur
n	: Jumlah Outrigger dalam Struktur
w	: Beban Lateral
S	: Parameter Outrigger
$(EI)_0$: Kekakuan Outrigger sebenarnya
$(EI')_0$: Kekakuan Outrigger yang efektif
$(EA)_c$: Perkalian Modulus Elastisitas dan Luas Penampang Kolom
M_c	: Pengurangan momen maksimal
M_i	: Pengurangan momen yang terjadi
L	: Lebar Struktur
q	: Beban Gravitasi
f_c'	: Kuat tekan beton
f_y	: Kuat tarik baja

Simbol Yunani

ω	: Fleksibilitis Outrigger
α	: Rasio Kekakuan Core - Kolom
β	: Rasio Kekakuan Core - Outrigger

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Persamaan Kompatibilitas Struktur Outrigger
- Lampiran 2. Grafik Gaya geser Core dan Gaya geser Lantai Struktur
- Lampiran 3. Input Program ETABS (contoh : Struktur 40 Lantai)

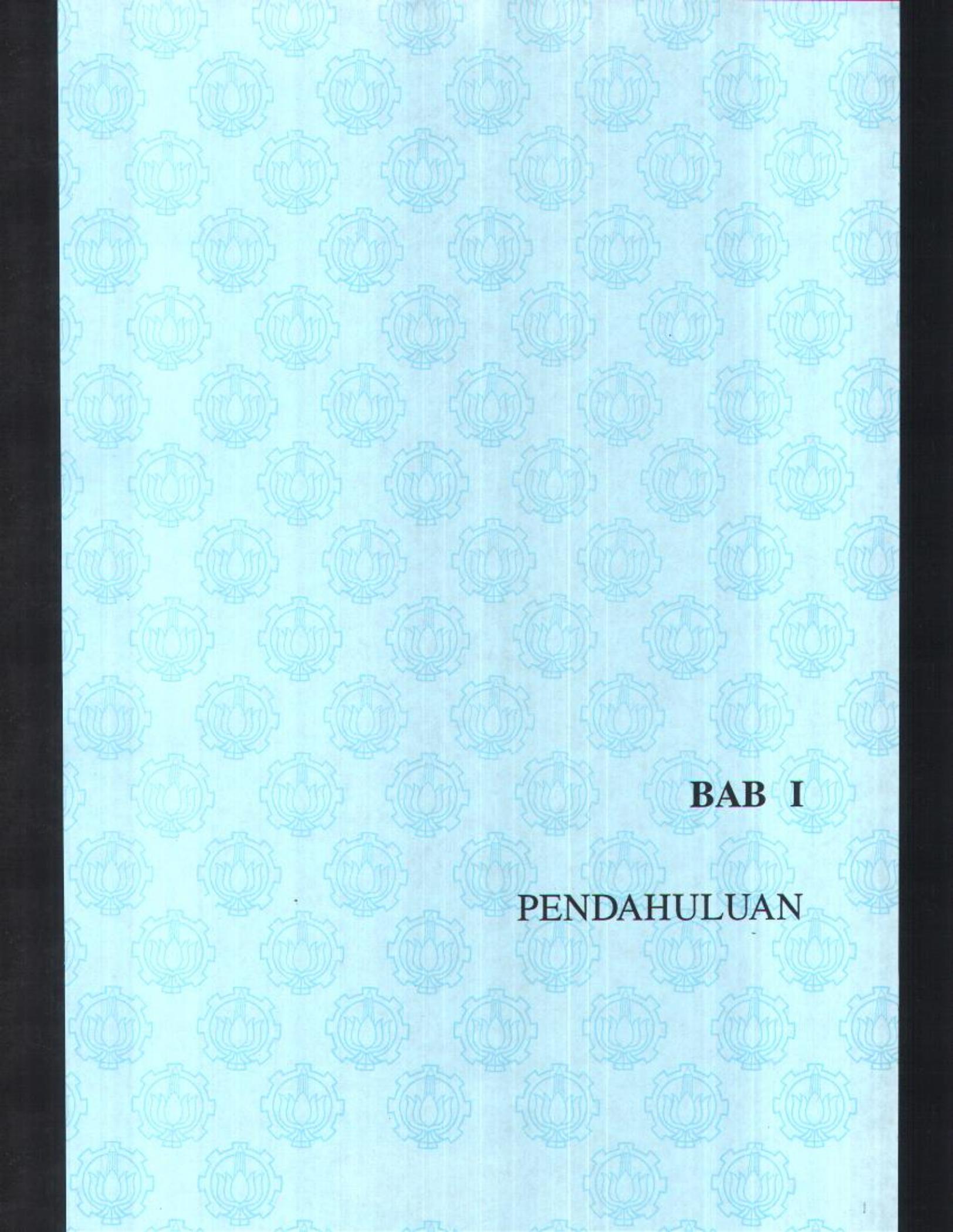
ABSTRAK TUGAS AKHIR

EFEKTIFITAS PENGGUNAAN OUTRIGGER PADA STRUKTUR BANGUNAN TINGGI UNTUK MENGURANGI SIMPANGAN LATERAL DAN MOMEN STRUKTUR

Nama : Hendrianto Soetjiadi
NRP : 3192 100 095

Dosen Pembimbing :
Ir. Tavio, MS.
Ir. Priyo Suprobo, Msc. PhD

Struktur yang diperkaku outrigger adalah salah satu bentuk sistem struktur yang dari hasil penelitian dan pemakaiannya pada struktur selama ini mampu meningkatkan kekakuan struktur sehingga dapat mengurangi simpangan struktur dan momen core pada dasar struktur bangunan tinggi yang dibebani beban angin merata. Pemahaman pemakaian sistem struktur ini untuk menahan beban dinamis seperti gempa masih memerlukan studi lebih lanjut. Tugas akhir ini melakukan studi terhadap struktur ber-outrigger yang dibebani gempa untuk dipelajari bagaimana simpangan struktur dan momen core pada dasar struktur yang terjadi. Dalam studi ini dipakai model struktur beton fiktif yang simetris untuk 30, 40 dan 50 lantai untuk penyederhanaan. Untuk perbandingan, maka struktur yang dianalisa ada dua macam yaitu sistem struktur wall frame dan sistem struktur yang menggunakan outrigger. Analisa dilakukan dengan mensimulasi variabel-variabel struktur yang berbeda-beda seperti ketinggian, kelangsingan, ukuran elemen struktur, ukuran outrigger, letak outrigger, jumlah outrigger dan kekakuan outrigger. Hasil analisa menunjukkan persamaan dalam karakteristik outrigger yang dipasang pada struktur yang dibebani gempa dan angin. Terjadi pengurangan simpangan dan momen core yang persentase pengurangannya lebih besar daripada struktur yang dibebani angin merata. Besar reduksi simpangan dan momen core yang didapatkan dalam analisa simulasi ini antara 20% – 30% yang berarti cukup besar. Dengan memperhatikan besarnya reduksi pada simpangan dan momen core serta pengaruhnya pada gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen-elemen struktur lainnya dan kelangsingan struktur maka secara keseluruhan pemasangan outrigger pada struktur dapat disimpulkan efektif.



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan high-rise modern sering menggunakan core ditengah struktur dan struktur hanya berupa core dan kolom pendukung eksterior. Sementara hal ini sangat efisien dalam fungsi, ternyata bentuk struktur seperti ini juga secara efektif mengurangi kemampuan elemen struktur untuk menahan gaya-gaya kritis yang timbul pada bangunan high rise. Terpisahnya core dan perimeter frame mengakibatkan berkurangnya tahanan struktur secara keseluruhan terhadap gaya-gaya tersebut. Pemakaian outrigger pada sistem diatas untuk menghubungkan dua komponen yaitu core dan kolom eksterior akan meningkatkan kemampuan sistem untuk menahan gaya-gaya secara dramatis.

Sampai dengan tinggi tertentu, sistem shear wall beton bertulang atau braced core baja telah menunjukkan keefektifannya sebagai sistem yang menahan beban lateral. Sistem ini sangat efektif dalam menahan gaya guling dan deformasi yang berhubungan dengan gaya geser karena ketahanannya yang bervariasi mendekati linier dengan tinggi bangunan. Bagaimanapun, tahanan yang sistem core sendiri sediakan untuk unsur guling drift menurun yang besarnya setara dengan kuadrat tinggi, sehingga sistem seperti core ini menjadi secara progresif kurang efisien dengan naiknya tinggi bangunan. Sebagai tambahan untuk terbatasnya kekakuan yang tersedia, sebuah sistem core sendiri dapat juga mengakibatkan gaya uplift (=gaya angkat) yang berlebihan pada sistem pondasi bangunan. Dengan ketidakmampuan sistem untuk mengambil manfaat dari ketinggian bangunan secara keseluruhan, mendisain untuk menghasilkan gaya uplift dapat menjadi masalah tersendiri.

Pada core beton bertulang, berlebihnya elemen wall yang menimbulkan gaya tarik dapat melawan efisiensi tahanan yang dihasilkan beton yang bersifat mampu menahan tekan. Pada core baja, banyaknya pekerjaan dan tingginya biaya untuk pembautan dan pengelasan akan menurunkan efisiensi baja dan menurunkan kemudahan pabriksi dan ereksi.

Pada sistem pondasi, gaya uplift dapat mendorong kebutuhan akan hal-hal sebagai berikut :

- Tambahan akan rock anchors yang mahal dan banyak pekerjaan.
- Pondasi Mat yang besar, luas dan tebal.
- Waktu yang lama dan mahal untuk rock sockets dari sistem caisson bersama dengan kebutuhan untuk membangun perkuatan sepanjang kedalaman caisson yang dibutuhkan.
- Pekerjaan untuk sambungan antara core dan pondasi yang mahal dan intensif.
- Hilangnya pilihan sistem pondasi yang lebih murah dari sistem diatas seperti sistem piles karena ketidakmampuan sistem ini menahan uplift.

Jawaban untuk problem diatas dan akan terbatasnya tahanan dari sistem core atau sistem tubular adalah pemasangan satu atau lebih outrigger pada struktur. Pemasangan outrigger pada struktur meningkatkan tahanan struktur sehingga mampu mengatasi gaya-gaya kritis yang timbul dan juga tidak menimbulkan gaya uplift.

Tugas akhir ini akan mempelajari sistem struktur yang memakai outrigger pada bangunan-bangunan tinggi, karena menurut buku rujukan pemakaian outrigger ini sangat efisien untuk bangunan tinggi atau high rise building.

1.2 Permasalahan

Sistem struktur yang memakai outrigger telah berkembang di Amerika dan Kanada sejak tahun '70-an. Di Indonesia sampai saat-ini belum pernah diketahui

apakah pemakaian outrigger pada struktur ini telah dipelajari dan diaplikasikan pada gedung-gedung pencakar langit karena kurangnya usaha-usaha untuk mempublikasikan hal tersebut. Sebagai pedoman untuk pengerjaan tugas akhir ini dipakai hasil-hasil studi yang telah dipublikasikan dalam bentuk jurnal dan buku dari kedua negara diatas. Beberapa masalah yang ada dalam usaha untuk mempelajari efektivitas pemakaian outrigger dalam struktur untuk meningkatkan kekakuan dan ketahanan struktur terhadap beban-beban yang bekerja pada umumnya dan beban lateral yaitu beban gempa pada khususnya adalah sbb :

1. Di Amerika dan Kanada pemakaian outrigger pada bangunan high rise adalah untuk menahan beban angin yang menjadi sangat kritis untuk bangunan tinggi dan seperti yang diketahui di kedua negara tersebut, beban angin adalah beban lateral yang lebih kritis di bandingkan dengan beban gempa dilihat dari besar dan frekuensi terjadinya. Hal ini sangat bertolak belakang dengan kondisi di Indonesia dimana beban lateral yang lebih kritis adalah beban gempa. Beban lateral untuk struktur yang akan dipakai dan dianalisa pada tugas akhir ini haruslah beban yang mewakili kondisi wilayah di Indonesia yaitu beban gempa. Sedangkan hasil studi yang ada semuanya membahas bagaimana efek pemakaian outrigger pada struktur yang tinggi yang dibebani beban lateral angin. Untuk itu akan dilihat bagaimana hasil analisa struktur yang memakai beban gempa dengan tetap berpedoman pada hasil yang telah didapatkan pada buku jurnal dan buku rujukan diatas.
2. Bentuk beban lateral dari angin dan gempa pada struktur adalah sangat berbeda dimana untuk beban angin adalah merata sepanjang tinggi struktur sedangkan untuk beban gempa adalah tidak merata. Untuk itu perbedaan asumsi dan hasil analisa antara struktur yang dibebani dengan beban angin dan gempa adalah sangat dimungkinkan

3. Untuk melakukan studi perilaku struktur yang memakai outrigger maka diperlukan contoh struktur yang memakai outrigger untuk dipelajari. Karena di Indonesia diketahui belum ada bangunan yang menggunakan elemen struktur tersebut dan kebanyakan bangunan ini ada di Amerika dan Kanada maka didapatkan kesulitan untuk mendapatkan contoh struktur tersebut untuk keperluan model karena contoh-contoh struktur tersebut pada buku jurnal dan buku rujukan kebanyakan tidak disertai denah dan atau ukuran yang lengkap. Untuk itu diambil struktur fiktif yang didesain mencontoh bentuk-bentuk struktur yang ada dalam jurnal dan buku rujukan.

1.3 Tujuan studi

Tujuan dilakukan studi terhadap struktur bangunan tinggi yang menggunakan outrigger adalah :

1. Untuk mengetahui bagaimana pemakaian outrigger sesuai teori yang dijelaskan pada buku referensi dan jurnal serta bagaimana pemakaian outrigger apabila disesuaikan dengan pelaksanaan di lapangan.
2. Untuk mengetahui bagaimana perbedaan respon antara struktur yang memakai outrigger yang dibebani dengan beban lateralnya adalah beban angin merata (seperti yang telah dilaporkan pada buku referensi dan jurnal) dan struktur yang dibebani gempa.
3. Untuk mengetahui pengaruh pemasangan outrigger pada struktur dalam meningkatkan kekakuan struktur ketika menerima beban gempa dan beban gravitasi. Sebagai alat untuk mengukur bahwa kekakuan struktur meningkat adalah dengan melihat simpangan struktur, momen pada core dan gaya-gaya geser yang bekerja pada elemen-elemen struktur.

4. Untuk mengetahui berapa reduksi simpangan struktur dan momen core yang terjadi dengan pemasangan outrigger pada struktur baik untuk sistem outrigger tunggal maupun multi outrigger.
5. Untuk mengetahui efektifitas dan efisiensi dari pemasangan outrigger dengan melihat besarnya reduksi simpangan struktur dan momen core pada struktur langsing serta besar gaya geser core dan lantai yang terjadi.

1.4 Lingkup pembahasan studi

Penekanan analisa dan pengamatan adalah pada hasil dan faktor-faktor apa saja yang membantu pengurangan simpangan struktur dan momen base core yang terjadi karena hal terpenting dari tujuan peningkatan kekakuan dengan memasang outrigger adalah reduksi pada kedua besaran tersebut. Pembahasan gaya-gaya lain adalah sebagai pelengkap dan bersifat pendukung.

Dalam melakukan studi, diambil batasan-batasan untuk menyederhanakan tugas akhir ini namun tidak mengurangi tujuan dan kualitas dari studi ini. Adapun batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Analisa struktur 3 dimensi dengan beban dinamis
2. Bahan material elemen struktur adalah beton
3. Software aplikasi menggunakan ETABS 5.11
4. Jumlah outrigger dalam 1 struktur yang diamati maximum 4
5. Beban gempa dipakai Beban gempa wilayah 1 di Indonesia
6. Batasan drift dan simpangan didasarkan pada PPTGIUG 1983
7. Bentuk penampang outrigger dan balok persegi panjang
8. Panjang dan dimensi outrigger diambil tertentu
9. Bentuk penampang kolom adalah persegi
10. Bentuk Bangunan dan denah yang dianalisa adalah 1 macam
11. Output pembanding adalah output struktur wall frame

12. Parameter peripheral yaitu pemasangan belt tidak dilakukan
13. Beban gravitasi dan beban-beban lain yang bekerja pada struktur yang memakai outrigger dan struktur pembanding adalah sama
14. Perlakuan terhadap struktur-struktur yang diperbandingkan adalah sama
15. Analisa dilakukan untuk tinggi struktur 30, 40 dan 50 lantai
16. Outrigger dipasang di dua arah yaitu arah sumbu memanjang dan memendek dari struktur

1.5 Metodologi

Pada dasarnya tujuan utama dari studi ini adalah untuk mengamati hasil simpangan struktur dan momen base core yang didapatkan dari analisa komputer. Kegiatan ini untuk mengetahui pengurangan dari simpangan dan momen base core setelah diperbandingkan dengan struktur pembanding wall-frame.

Untuk mendapatkan hasil-hasil yang memadai maka dalam penelitian ini dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. **Pertama** dilakukan pemodelan struktur yang sederhana. Pada model struktur ini dilakukan perhitungan untuk beban gravitasi dan beban gempa. Kemudian dilakukan analisa dinamik untuk mendapatkan respon struktur untuk mengetahui asumsi analisa yang dapat digunakan.
2. **Kedua** dilakukan analisa struktur yang memakai satu outrigger pada tingkat tertentu dengan nilai fleksibilitas outrigger tertentu pula untuk didapatkan hasil simpangan dan momen base core untuk kemudian diperbandingkan dengan struktur wall frame sebagai struktur konvensional pembanding. Hasil ini dipakai indikator untuk analisa berikutnya.
3. **Ketiga** dari analisa pendahuluan diatas dilakukan analisa untuk mendapatkan letak optimal outrigger pada struktur. Hasil pengurangan simpangan struktur dan momen base core pada saat outrigger diletakkan di level optimalnya

diperbandingkan dengan struktur konvensional untuk mendapatkan nilai reduksi yang sebenarnya dari pemasangan satu outrigger.

4. **Keempat** dilakukan pemasangan outrigger lebih dari satu pada struktur untuk mengetahui bagaimana pengurangan atau reduksi yang terjadi dan efisiensi jumlah outrigger yang dipasang.
5. **Kelima** dilakukan pemasangan outrigger disepanjang tinggi struktur untuk mengetahui pengaruh terhadap reduksi simpangan struktur dan momen base core.
6. **Keenam** dilakukan analisa perbandingan terhadap gaya geser lantai dan gaya geser core yang terjadi pada struktur konvensional dan struktur ber-outrigger. Juga diamati bagaimana simpangan antar lantai dan momen core tiap lantai.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pengertian tentang masalah yang ditinjau, tugas akhir ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan untuk selanjutnya diarahkan pada perilaku sistem struktur yang ditinjau.

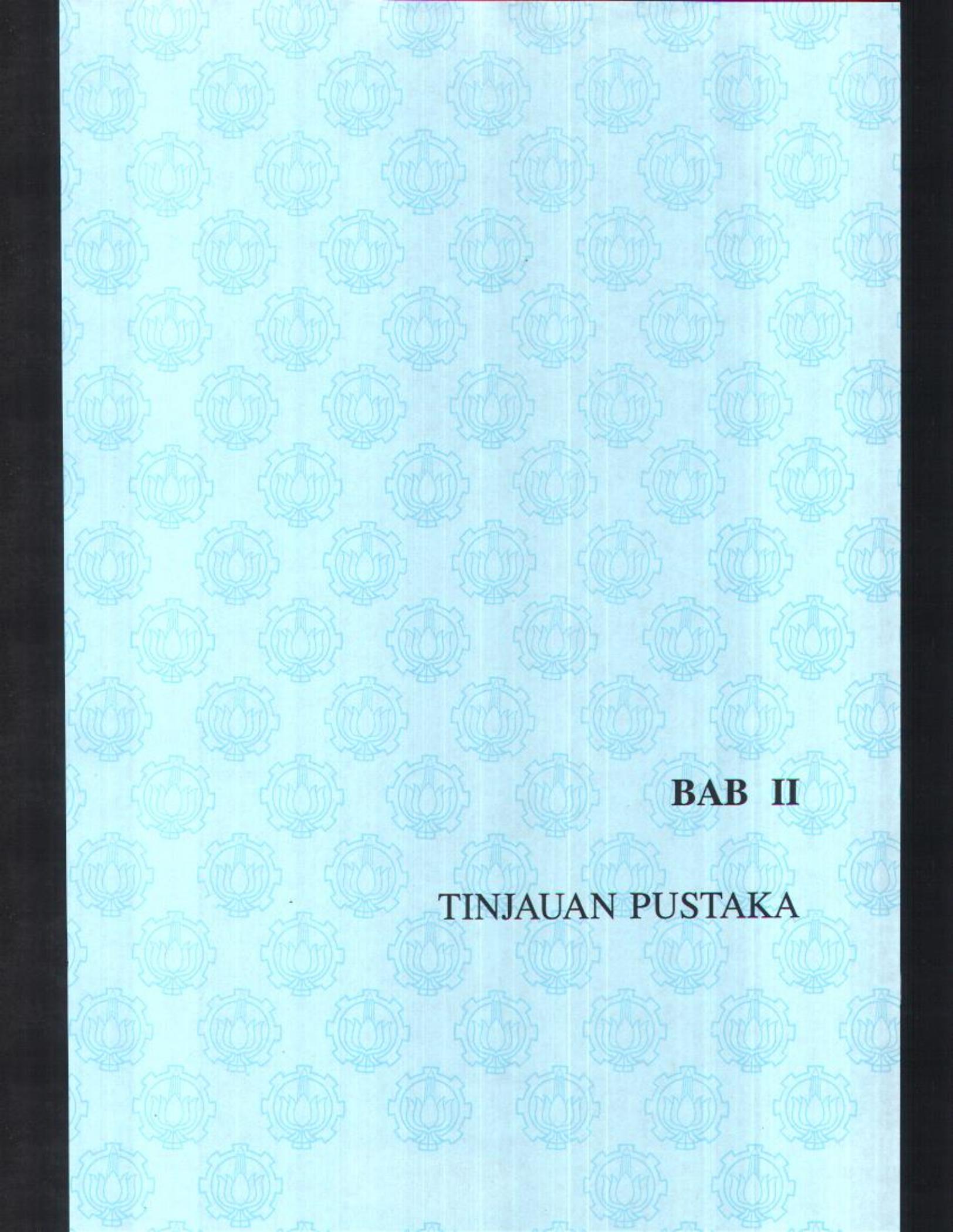
Bab I memaparkan latar belakang masalah, permasalahan yang menjelaskan perbedaan analisa terhadap analisa yang telah dilakukan dan kendala yang ada, kemudian tujuan studi, lingkup pembahasan studi dan metoda yang digunakan.

Bab II memaparkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan beserta teori-teori yang menyusun sistem struktur yang memakai outrigger. Hasil analisa yang telah dilakukan dan teori-teori ini digunakan sebagai pedoman dan pembanding dari hasil output yang akan didapatkan dari analisa komputer.

Bab III adalah pemodelan struktur dimana disini dilakukan pembentukan model struktur yang sederhana yang dapat mewakili dalam tugas akhir ini.

Bab IV adalah berisi analisa struktur dan pembahasannya dimana disini akan didapatkan hasil studi yang diinginkan.

Bab V berisi kesimpulan dan saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Outrigger Secara Umum

Sebuah Struktur Outrigger bangunan pencakar langit atau high rise building terdiri atas sebuah core utama yang bisa berupa beton bertulang atau baja yang terhubung dengan kolom eksterior oleh kantilever horisontal yang kaku. Core mungkin diletakkan diantara dua kolom dan saling terhubung oleh outrigger atau mungkin diletakkan pada salah satu sisi bangunan dengan kantilever menghubungkan core pada kolom pada sisi lainnya.

Sebagai tambahan kekakuan terhadap kolom yang tersambung pada ujung outrigger, biasanya juga dipasang peripheral kolom lainnya untuk membantu menahan outrigger. Hal ini dapat dicapai dengan memakai balok girder yang tinggi, atau sabuk, mengelilingi struktur pada level outrigger dipasang.

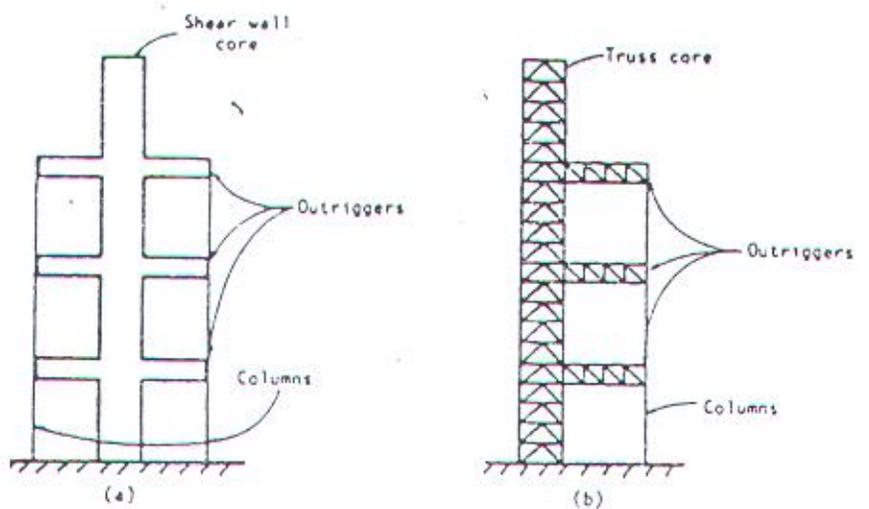
Untuk membuat outrigger dan sabuk girder cukup kaku untuk gaya lentur dan geser, elemen-elemen ini dibuat paling tidak satu, dan seringkali dua, ketinggian lantai. Konsekuensinya, untuk meminimalisasi gangguan yang dapat ditimbulkan elemen-elemen tersebut, biasanya elemen-elemen ini diletakkan pada tingkat yang digunakan untuk keperluan sumber mekanik atau listrik bangunan.

Besarnya reduksi dari simpangan ($=$ drift) dan momen pada core tergantung pada relativitas kekakuan lentur dari core, outrigger, dan kolom. Besarnya reduksi juga tergantung pada lokasi outrigger pada struktur.

Sebuah bangunan dapat diperkaku secara efektif dengan memasang satu outrigger pada puncak struktur, dimana hal ini sering disebut sebagai struktur 'top hat'. Setiap tambahan outrigger meningkatkan kekakuan lateral, tapi dengan

peningkatan yang lebih kecil daripada tambahan outrigger yang sebelum-sebelumnya. Sampai dengan empat outrigger secara efektif dapat dipakai di bangunan tinggi.

Sistem outrigger sangat efektif dalam meningkatkan kekakuan fleksural dari struktur, tapi tidak meningkatkan tahanan terhadap geser, yang harus ditahan sebagian besar oleh core (Bryan Stafford Smith and Alex Coull, 1991). Namun pemakaian outrigger ini mampu mengurangi banyaknya material yang harus digunakan dan biaya yang dikeluarkan.



Gambar 2.1 (a) Struktur outrigger dengan central core; (b) struktur outrigger dengan offset core.

Sebuah struktur outrigger benar-benar dibutuhkan -berdasarkan referensi (Bungale S. Taranath, 1988)- yaitu ketika bangunan lebih tinggi daripada 500 ft (152.4 m), dimana kalau core secara konsisten dipakai transportasi vertikal dan

keperluan mekanik maka biasanya tidak terdapat cukup kekakuan untuk membuat drift tetap pada batas yang dapat diterima. Sampai saat ini sistem ini telah dipakai untuk bangunan 40 – 70 tingkat saja, walaupun sebenarnya sistem ini lebih efektif dan efisien untuk bangunan yang lebih tinggi (Bryan Stafford Smith and Alex Coull, 1991).

Sistem ini pertama kali dipakai pada tahun 1962 untuk mendisain Bangunan Victoria Place setinggi 47 lantai di Montreal. Sejak saat itu telah menjadi dasar disain dari banyak bangunan tinggi.

2.2 Keuntungan Pemakaian Outrigger

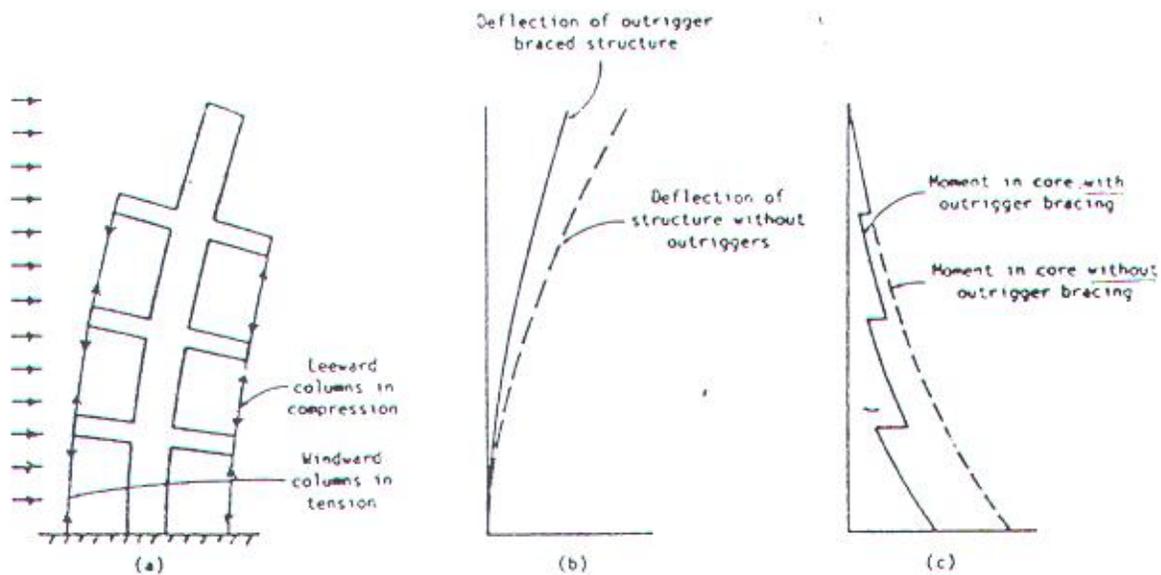
Jika outrigger dipasang secara tepat dan efisien, pemasangan outrigger dapat memberikan keuntungan untuk struktur dan fungsi bangunan dari sebuah disain bangunan secara keseluruhan yang dapat diuraikan sbb :

1. Simpangan struktur berkurang.
2. Momen pada core dan deformasi dapat dikurangi karena adanya momen pembalik yang bekerja pada core disetiap lantai outrigger dipasang. Momen pembalik ini dihasilkan oleh gaya kople di kolom eksterior dimana terhubung dengan outrigger.
3. Reduksi yang besar dan bahkan dimungkinkan eliminasi dari gaya uplif yang terjadi pada kolom dan sistem pondasi
4. Frame eksterior dapat terdiri beam dan kolom biasa yang dapat disatukan tanpa membutuhkan hubungan rigid frame, yang berarti ekonomis.
5. Untuk bangunan yang berbentuk persegi panjang sederhana, outrigger dapat dihubungkan dengan kolom interior untuk bagian bangunan yang lebih panjang dengan beban lateral bekerja pada sisi lainnya yang lebih kritikal. Pada sistem core dan tubular, kolom ini yang menerima beban gravitasi biasanya tidak digunakan. Dalam beberapa kasus, sistem outrigger dapat secara efisien

dihubungkan dengan kolom gravitasi untuk digunakan sebagai bagian dari sistem penahan beban lateral yang berarti bernilai ekonomis.

2.3 Cara Kerja Sistem Outrigger

Ketika beban horisontal bekerja pada bangunan, kolom yang ditahan outrigger melawan rotasi dari core, menyebabkan defleksi lateral dan momen pada core menjadi lebih kecil daripada core yang berdiri bebas sendirian melawan beban tersebut (gambar 2.2. a, b, dan c). Hasilnya adalah untuk meningkatkan ketinggian



Gambar 2.2 (a) Struktur outrigger menyimpang dibawah beban lateral; (b) resultan defleksi; (c) resultan momen core.

efektif dari struktur ketika melentur sebagai sebuah kantilever vertikal, dengan menginduksikan tarik pada kolom yang berhadapan dengan angin langsung dan tekan pada kolom yang berlawanan dengan angin. Secara keseluruhan outrigger yang menghubungkan kolom exterior dan core membuat struktur berperilaku sebagai sebuah kantilever yang komposit.

Belt truss atau sabuk pengaku pada struktur kita berfungsi sebagai pengaku horisontal dan menyatukan kolom exterior, yang tidak secara langsung dihubungkan dengan outrigger. Umumnya tambahan kekakuan dari 25 sampai 30 persen dapat dicapai dengan menggunakan pengaku ini daripada sistem yang sama tapi tidak memakai pengaku karena sebagai ganti kelakuan kolom sebagai pengikat secara individual, semua kolom exterior berpartisipasi menahan beban lateral (Bungale S. Taranath, 1988).

Sistem outrigger-braced ini selain efisien menahan beban lateral, juga memperlihatkan keuntungan tambahan dari penyamaan pemendekan yang berbeda-beda dari kolom exterior karena suhu dan beban aksial yang tidak rata antara core dan kolom exterior.

Outrigger berpengaku adalah salah satu dari sistem yang paling efisien dan ekonomis untuk mengontrol drift pada bangunan tinggi. Core dan kolom jelas komponen-komponen yang perlu dari struktur kita sedangkan elemen tambahan, outrigger, biasanya dipakai pada tingkat yang direncanakan, oleh karena itu, hanya membutuhkan ruang yang minimal dari ruang yang dapat dipakai pada bangunan.

2.4 Metoda Analisa

Dalam mempelajari sistem outrigger ini, pada umumnya analisa tiga dimensi dibutuhkan apabila keuntungan penuh ingin didapatkan dari interaksi khusus antara elemen-elemen struktur yang berbeda-beda. Walaupun sebuah analisis tiga dimensi

telah menjadi sebuah prosedur normal dalam disain struktur, kegunaannya sebagai alat optimisasi mungkin kurang mewakili dalam sudut pandang pembiayaan dan waktu yang digunakan.

Oleh karena itu, sebuah metoda didasarkan pada asumsi sederhana yang dibuat untuk membentuk persamaan kompatibilitas sehingga dapat didapatkan bagaimana rotasi, simpangan struktur, dan momen dari struktur yang memakai outrigger. Terdapat beberapa asumsi untuk membentuk persamaan kompatibilitas ini dimana sebagai perbandingan pada sub bab ini akan dipaparkan dua yaitu sbb :

Asumsi I : (Bryan Stafford Smith and Alex Coull, 1991)

1. Struktur berperilaku linear secara elastis.
2. Ujung outrigger dihubungkan dengan kolom dengan cara sedemikian rupa sehingga hanya gaya aksial terinduksi pada kolom exterior.
3. Outrigger secara rigid dihubungkan pada core dan core secara rigid dihubungkan pada pondasi.
4. Ukuran dari core, kolom, dan outrigger adalah tetap disemua ketinggian.
5. Distribusi beban angin uniform di seluruh ketinggian.

Asumsi II : (Bungale S. Taranath, 1988)

1. Ujung outrigger dihubungkan dengan kolom dengan cara sedemikian rupa sehingga hanya gaya aksial terinduksi pada kolom exterior
2. Hubungan Dinding core dengan outrigger dibuat rigid supaya rotasi core tidak terjadi
3. Hubungan girder dan kolom di semua frame dibuat sendi, sehingga dengan demikian core bersama dengan kolom dapat memberikan tahanan total terhadap beban angin
4. Belt truss atau Sabuk pengaku dibuat rigid dan membungkus mengelilingi struktur pada level outrigger

5. Kekakuan aksial dari kolom dan momen inersia dari core menurun secara linear dengan tinggi dari struktur.
6. Sambungan core dan pondasi dengan rigid.

Dengan asumsi diatas dibentuk persamaan untuk 2 outrigger pada struktur dengan tujuan agar untuk analisa lebih atau kurang dari 2 outrigger dapat dilakukan. Persamaan kompatibilitas 2 outrigger ini diambil sebagai persamaan awal karena persamaan ini mencerminkan semua langkah-langkah pemecahan yang perlu pada persamaan kompatibilitas yang lain dengan bentuk yang paling sederhana.

Jumlah persamaan kompatibilitas diperlukan untuk menyelesaikan tingkat redundant dimana untuk satu outrigger berarti satu redundant dan 2 outrigger berarti dua redundant. Pernyataan persamaan kompatibilitas dibuat pada level outrigger dimana pada level tersebut rotasi core disamakan dengan rotasi outrigger. Rotasi dari outrigger dinyatakan dalam bentuk deformasi akibat momen dan terdiri atas deformasi aksial dari kolom dan deformasi momen dari outrigger.

Untuk selanjutnya perumusan dan pemakaian persamaan kompatibilitas ini dapat dibaca di lampiran atau buku "Tall Building Structures : Analysis and Design" karangan Bryan Stafford Smith dan Alex Coull tahun publikasi 1991 atau jurnal ASCE, Volume 107, 1981, yang dikarang oleh Bryan Stafford Smith dan Irawan Salim yang berjudul "Parameter Study of Outrigger Braced Tall Building Structures"

Untuk analisa yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah memakai simulasi komputer dimana dasar-dasar yang dipakai adalah dari semua hasil studi yang telah dilakukan termasuk hasil dari persamaan kompatibilitas yang dijelaskan diatas.

Dasar dari dilakukannya analisa struktur dengan simulasi komputer salah satunya adalah karena persamaan yang dibentuk dan hasil-hasilnya adalah hasil pemodelan dari asumsi yang telah dipaparkan diatas dimana struktur dibebani oleh beban lateral angin yang merata, sedangkan pada struktur yang akan dianalisa pada tugas akhir ini dibebani baban gempa, sehingga persamaan diatas kurang mewakili model struktur yang dianalisa pada tugas akhir ini.

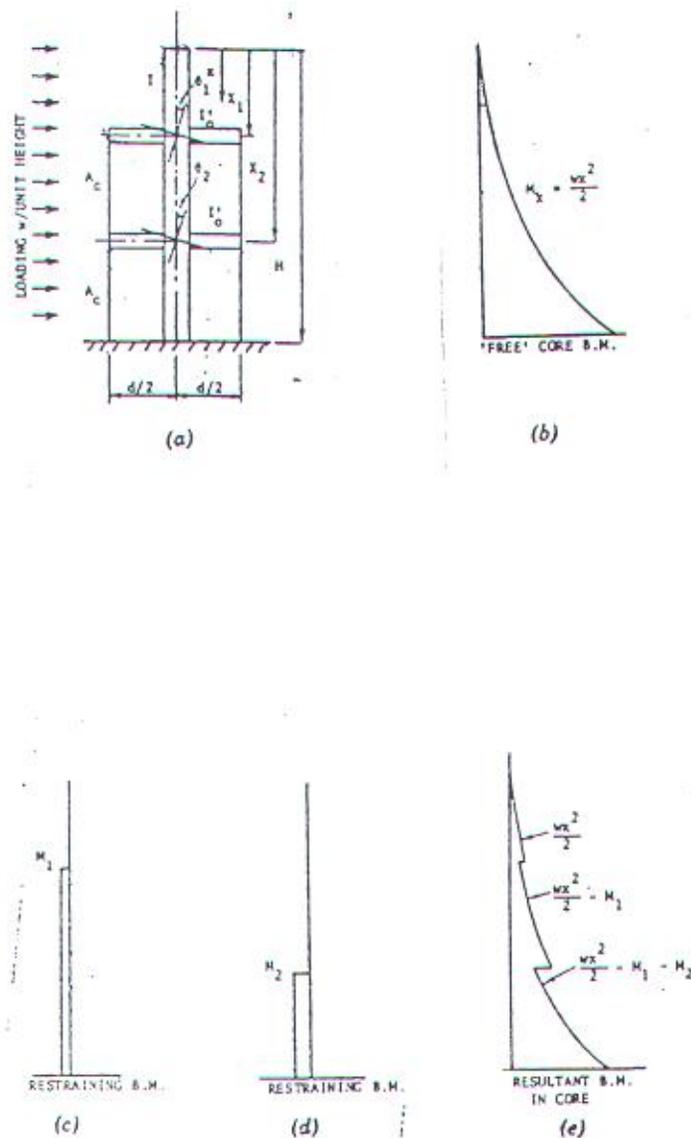
Hasil persamaan diatas yang berupa persamaan turunan, grafik dan sifat-sifat struktur outrigger dijadikan sebagai patokan dan pembanding bagi hasil output analisa struktur pada tugas akhir ini.

Alasan lain dilakukannya analisa struktur outrigger dengan cara simulasi komputer adalah karena dapat diketahui interaksi dari elemen-elemen struktur yang ada pada struktur sehingga efektivitas pemasangan outrigger diketahui menyeluruh.

2.5 Sistem dengan dua atau lebih outrigger

Langkah penting untuk memecahkan masalah beban lateral yang menimbulkan gaya guling adalah memasang perimeter pada bangunan untuk menahan beban lateral. Untuk bangunan 40 – 60 tingkat, adalah mungkin menahan beban lateral tanpa meningkatkan berat baja dari struktur sampai pada level maksimal dengan memakai sistem struktur yang hanya sebagian dari struktur yang dibuat bereaksi secara kantilever. Mereka dapat dilihat sebagai media efisiensi yang sama dengan struktur tubular. Sistem ini lebih efisien daripada sistem frame dipengaku atau sistem interaksi pengaku dan rigid frame. Sistem Outrigger adalah sistem struktur yang sangat efisien, memperbesar ketinggian struktur yang dapat dibangun dari 40 lantai menjadi sekitar 60 lantai dan seterusnya.

Pada saat pemasangan pengaku pada bangunan mungkin tidak memenuhi perbandingan bentang terhadap tinggi pengaku, tinggi yang tersedia dari sistem pengaku vertikal mungkin terbatas. Satu pemecahan yang untuk mengontrol drift dari building adalah meningkatkan luasan penampang kolom sampai pada pada tingkat yang tidak masuk akal. Bagaimanapun timbulnya gaya uplift dari membesarnya kolom dapat memberi masalah pada pondasi. Pemasangan Outrigger dapat menjadi sangat efektif dalam meningkatkan sistem pengaku yang pendek, khususnya ketika dua atau lebih pengaku dipasang pada bangunan. Tujuan dari pemasangan lebih daripada satu pengaku adalah untuk meningkatkan kekuatan serta



Gambar 2.3 (a) Dimensi struktur; (b) Diagram momen beban luar; (c) Momen tahanan outrigger 1; (d) Momen tahanan outrigger 2; (e) Momen resultan di core

kekakuan dari sistem melebihi dari satu pengaku yang dapat berikan dan pengaku ini biasanya dipasang setinggi dua sampai tiga lantai untuk menghasilkan tahanan titik

yang kaku. Pada level pengaku dipasang, lengan outrigger yang kaku digunakan untuk mengaktifkan pengaku, sehingga memaksa kolom eksterior menahan beban lateral.

Bangunan dapat mempunyai satu, dua, atau lebih. Semakin banyak outrigger yang dipakai, semakin baik integrasi dari core dan kolom eksterior. Outrigger dapat diletakkan pada lantai dimana fungsi bangunan tidak terganggu. Biasanya outrigger diletakkan pada lantai mekanikal dimana tidak ada keberatan sama sekali mengenai hal ini (Bungale S. Taranath, 1988). Di Amerika Utara AC dan pemanas untuk bangunan tinggi disediakan dengan memakai unit mekanikal yang besar di setiap lantai 20 dan seterusnya. Pada sebuah bangunan 60 lantai, sebagai contoh, lantai 20, 40 dan lantai paling atas digunakan sebagai lantai untuk keperluan mekanik. Pada bangunan seperti itu secara arsitektural tidak ada keberatan untuk menggunakan outrigger pada setiap sisi core dari bangunan. Oleh karena itu lantai mekanik biasanya diadakan di sepertiga, separuh, atau tiga perempat tinggi dari bangunan dimana di level seperti ini adalah letak optimal outrigger.

Pada setiap level outrigger sistem ditahan dari rotasi. Outrigger yang kaku menarik diagram momen membalik pada level ini, konsekuensinya, besar momen pada dasar struktur lebih banyak tereduksi karena besarnya translasi dari gaya lateral menjadi gaya aksial kolom. Seperti pada outrigger tunggal pada struktur maka besarnya reduksi sistem dua atau lebih outrigger ini juga dipengaruhi letak optimal outrigger.

2.6 Fleksibilitas outrigger

Perilaku outrigger juga dipengaruhi oleh fleksibilitasnya yang dipengaruhi oleh dimensi dari outrigger itu sendiri, dimensi kolom dan dimensi core. Parameter yang menunjukkan fleksibilitas tersebut adalah rasio kekakuan core-kolom (α), rasio

kekakuan core-outrigger (β) dan parameter tidak berdimensi yang menunjukkan fleksibilitas outrigger (ω). Persamaan-persamaan parameter di atas sebagai berikut :

$$\alpha = 2EI / d^2(EA)_c \quad (2.6.1)$$

dan

$$\beta = (EI)d / H(EI)_0 \quad (2.6.2)$$

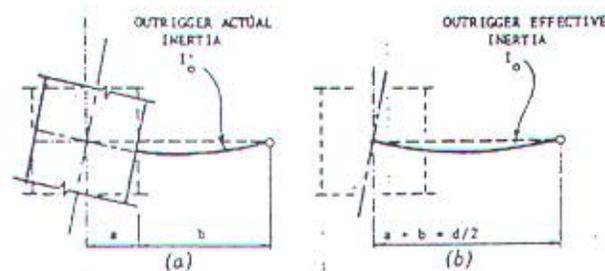
dan

$$\omega = \beta / 12(1+\alpha) \quad (2.6.3)$$

dan

$$(EI)_0 = (1 + a / b) (EI')_0 \quad (2.6.4)$$

Untuk parameter yang belum jelas dapat dijelaskan sebagai berikut; EI adalah kekakuan dari core, EA adalah modulus elastisitas dikalikan luas penampang kolom, H adalah tinggi struktur dan yang terakhir $(EI')_0$ adalah kekakuan dari outrigger.



Gambar 2.4 (a) Wide-column action of wall and outrigger; (b) Action of equivalent full span outrigger

Penggunaan dari ω adalah untuk menyederhanakan perkiraan tempat outrigger yang optimum dengan perhitungan manual. Dimana perhitungan ini menggunakan persamaan drift di puncak sama seperti pada outrigger tunggal.

Dari referensi diketahui bahwa semakin fleksible outrigger maka letak optimum semakin tinggi. Semakin besar inersia kolom maka struktur semakin

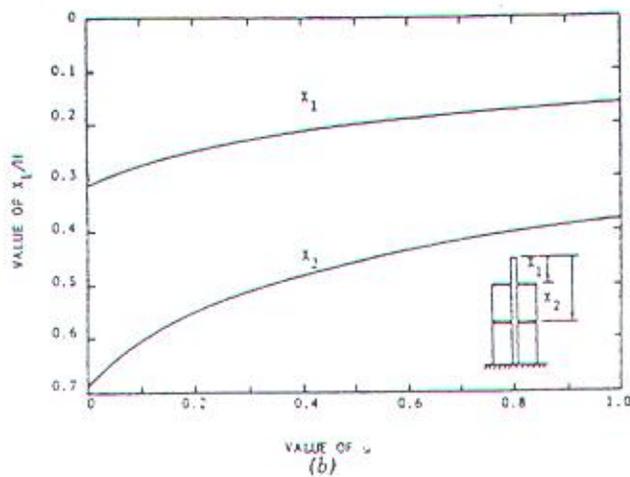
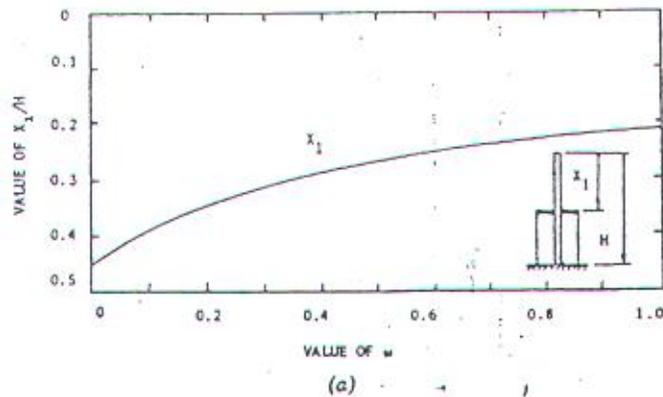
sensitive terhadap fleksibilitas outrigger. Untuk nilai β yang konstan, nilai α membesar, maka letak outrigger supaya optimum bergerak ke bawah. Semakin ke bawah letak outrigger cenderung mengurangi momen base daripada drift dan sebaliknya.

2.7 Lokasi Optimal Outrigger

Struktur dimana outrigger secara fleksural rigid (dengan ω sama dengan nol) pada kurva gambar 2.5a-d dapat diinterpretasikan sebagai pedoman sederhana untuk mencari letak outrigger supaya defleksi minimal. Outrigger pada struktur dengan satu outrigger letaknya optimal kira-kira pada separuh tinggi struktur, outrigger-outrigger pada struktur dengan dua outrigger optimal kira-kira pada sepertiga dan duapertiga tinggi, pada struktur dengan tiga outrigger kira-kira pada seperempat, separuh, dan tigaperempat tinggi, dan seterusnya. Secara umum, oleh karena itu, untuk kinerja yang optimal dari struktur dengan n outrigger, outrigger harus diletakkan pada $1/(n+1)$, $2/(n+1)$, sampai $n/(n+1)$ tinggi bangunan.

Pada semua sistem outrigger, mungkin tidak diinginkan, meletakkan outrigger pada lantai paling atas struktur karena secara struktural tidak efisien, tapi hal ini dapat dilakukan untuk suatu alasan yang khusus.

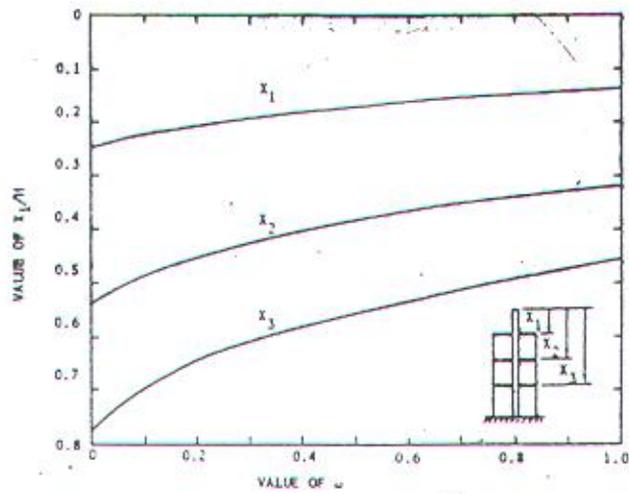
Struktur n outrigger yang terletak pada lokasi optimal tahanan lateralnya hampir se-efektif dengan struktur yang sama dengan tambahan outrigger di lantai paling atas. Pada struktur yang seragam, outrigger paling bawah selalu menginduksi momen tahanan maksimum, dengan outrigger di atasnya memberikan momen tahanan lebih kecil. Pada struktur yang teratur secara optimal, momen yang ditahan outrigger bervariasi dari setengah sampai duapertiga dari yang ditahan outrigger dibawahnya, tapi outrigger pada lantai paling atas kira-kira hanya seperenam dari outrigger dibawahnya.



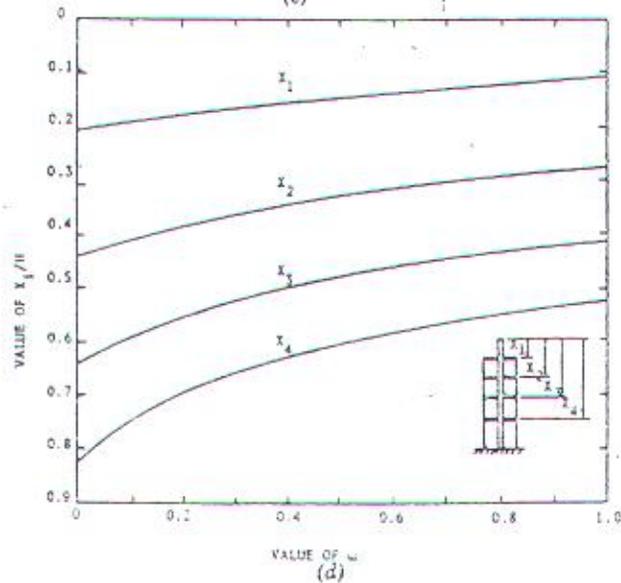
**Gambar 2.5 (a) Lokasi optimum outrigger pada struktur satu outrigger
(b) lokasi optimum outrigger pada struktur dua outrigger.**

Dengan melihat variasi dari ukuran dan pengaturan struktural dari core, outrigger, dan kolom dimana hal ini termasuk rasio inersia dari core terhadap kolom dan core terhadap outrigger serta jumlah dari outrigger, maka dicoba disimpulkan kinerja dari outrigger.

OUTRIGGER-BRACED STRUCTURES



(c)



(d)

Gambar 2.5 (c) Lokasi optimum outrigger pada struktur tiga outrigger
(d) lokasi optimum outrigger pada struktur empat outrigger.

2.8 Kinerja Struktur Outrigger.

Untuk outrigger yang diletakkan di tingkat optimalnya dapat dipaparkan beberapa hal sbb:

1. Semakin fleksibel outrigger yang kita pasang, dan ukuran elemen struktur yang lain tetap, maka semakin tinggi letak optimal outrigger pada struktur.
2. Semakin tinggi nilai dari sistem inersia kolom, semakin relatif lebih sensitif struktur terhadap fleksibilitas outrigger.
3. Untuk nilai rasio inersia core terhadap kolom yang konstan, nilai β konstan, menurunnya nilai dari kekakuan kolom, α membesar, menyebabkan tingkat optimum outrigger bergerak ke bawah menuju ke tingkat yang sama dengan kasus outrigger yang kekakuan lenturnya besar sekali.

Pengukuran yang berguna untuk pengaruh sistem outrigger pada momen core adalah untuk menyatakan reduksi dari momen base core sebagai suatu persentase dari pengurangan maksimal momen yang dimungkinka, M_c , yang dapat terjadi jika core dan kolom beraksi secara komposit penuh. Hasilnya mungkin dinamakan "Efisiensi Reduksi Momen", dengan lambang $M\%$. Kelakuan komposit penuh terjadi ketika bagian yang datar sepanjang bangunan sebelum menekuk tetap datar selama menekuk. Pada kasus komposit penuh reduksi dari momen core karena kolom dapat dinyatakan dalam persamaan sbb :

$$M_c = ((EA)_c \times d^2 / 2) / (EI + (EA)_c \times d^2 / 2) \times (wH^2) / 2 \quad (2.8.1)$$

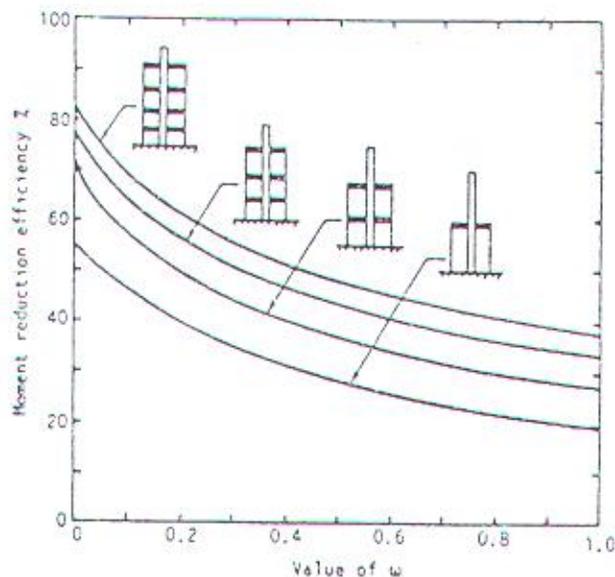
atau

$$M_c = wH^2 / 2EIS \quad (2.8.2)$$

Lalu kalimat matematika untuk reduksi momen yang sebenarnya pada dasar struktur yang dinyatakan dalam persentase dari pengurangan aksi komposit penuh struktur adalah sbb :

$$M\% = (M_i / M_c) \times 100\% \quad (2.8.3)$$

Untuk efisiensi reduksi momen dari struktur sampai dengan 4 outrigger yang letaknya optimal dalam struktur untuk mengurangi drift secara maksimal diberikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Efisiensi Reduksi Momen Core

Pada studi ini pengurangan pada momen core dianggap sebagai prioritas kedua setelah pengurangan drift. Jadi apabila drift bukan tujuan utama pemakaian outrigger tambahan pengurangan momen pada core didasar bangunan dan dipertengahan tinggi dapat tercapai dengan meletakkan outrigger lebih rendah dari ketinggian optimalnya. Secara teoritis reduksi maksimal pada momen didasar struktur dapat dicapai dengan penempatan outrigger mendekati dasar struktur. Bagaimanapun, hal itu akan memberikan kontribusi yang kecil terhadap tahanan drift.

Kinerja drift dari sebuah struktur outrigger dapat dinyatakan sebagai “Efisiensi Reduksi Drift”, $\Delta\%$. Pada soal ini, reduksi drift karena sistem outrigger dinyatakan sebagai persentase dari reduksi drift yang dapat terjadi jika sistem berperilaku secara komposit penuh.

Persamaan dari reduksi drift dimana struktur berperilaku secara komposit penuh adalah sbb :

$$\Delta\% = wH^4 / (EIS \times 8EI) \quad (2.8.4)$$

dan

$$\Delta\% = (M_i \times (H^2 - X_i^2)) / (2EI \times \Delta c) \quad (2.8.5)$$

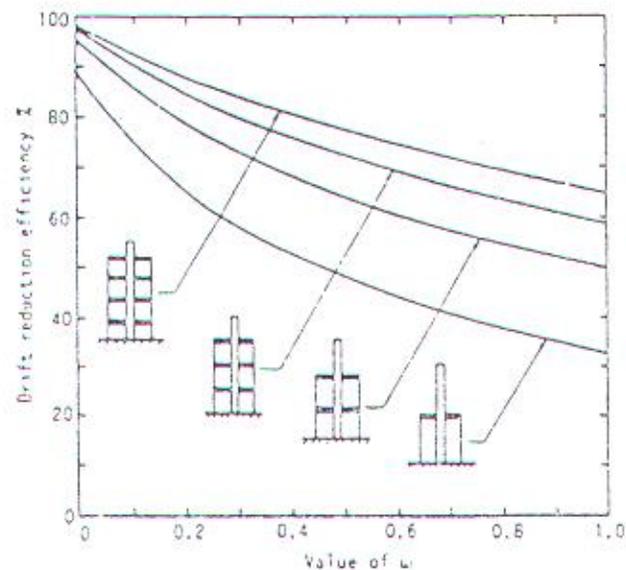
Variasi dari $\Delta\%$ terlihat pada gambar 2.7. Grafik ini dapat dipakai untuk memperkirakan efisiensi dari sistem struktur yang didisain atau untuk menentukan drift pada puncak struktur dari sistem.

Grafik pada gambar 2.7 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah outrigger, faktor lainnya tetap, semakin besar reduksi driftnya. Bagaimanapun, Hukum “Diminishing Returns” berlaku bahwa pertambahan dari peningkatan efisiensi berkurang untuk setiap tambahan outrigger. Hukum “Diminishing Return” menyatakan bahwa empat outrigger mungkin adalah jumlah maksimum yang dapat diterima.

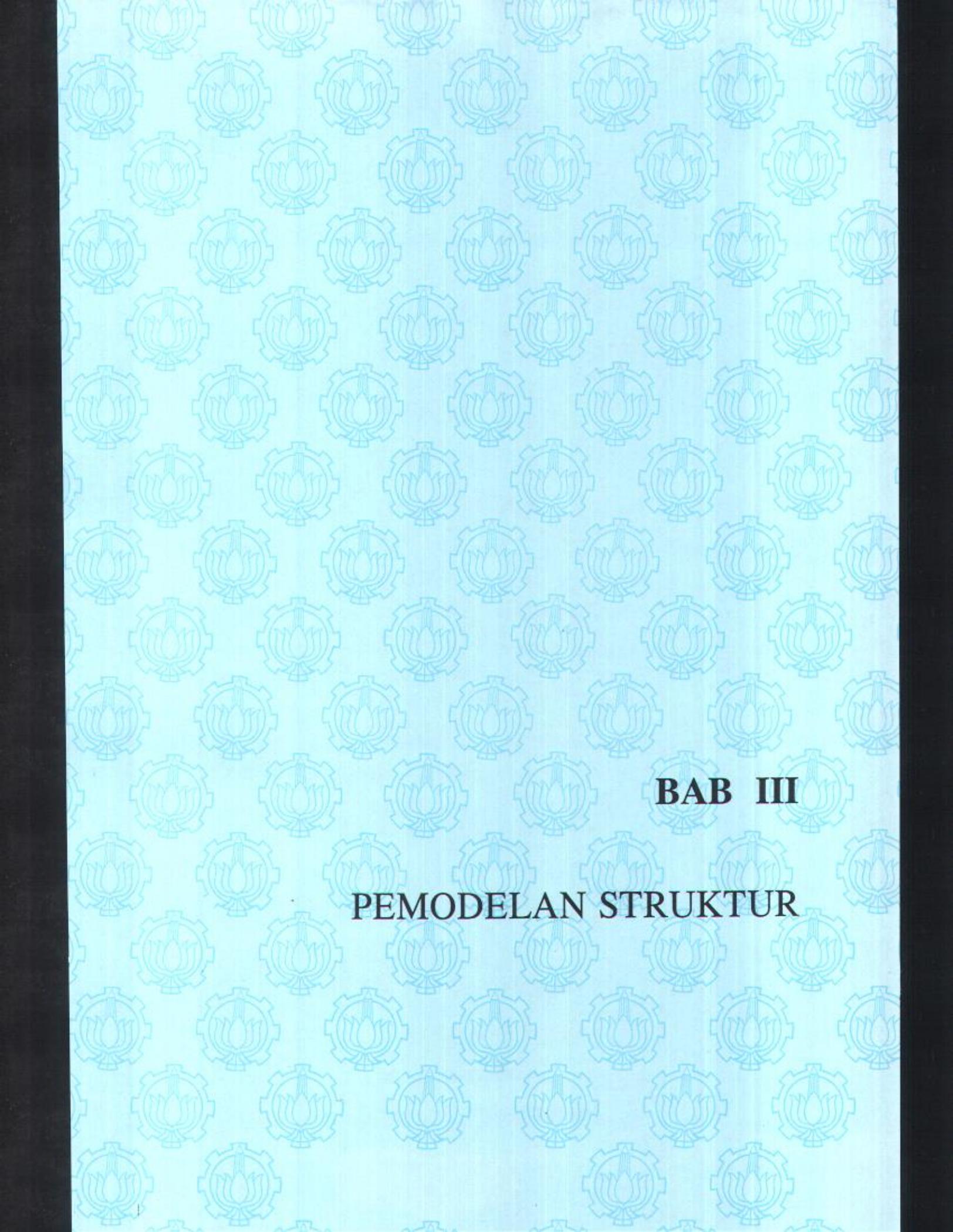
Grafik pada gambar 2.7 juga mengindikasikan bahwa fleksibilitas outrigger mereduksi efisiensi drift dari struktur, tapi dengan lebih sedikit reduksi untuk lebih banyak sistem kolom yang fleksibel.

Seperti yang telah dinyatakan bahwa semua persamaan yang dibentuk dan didapatkan dalam studi yang telah dilakukan pada buku referensi dan jurnal adalah model dari asumsi bahwa struktur dibebani beban angin. Jadi mungkin informasi ini dapat digunakan sebagai data pembandingan dari perilaku struktur outrigger yang akan dianalisa pada tugas akhir ini.

Pada tugas akhir ini tidak dianalisa bagaimana efisiensi dari reduksi yang dapat dilakukan oleh sistem struktur outrigger.



Gambar 2.7 Efisiensi Reduksi Drift



BAB III

PEMODELAN STRUKTUR

BAB III

PEMODELAN STRUKTUR

3.1 Pendahuluan

Pemodelan struktur dilakukan untuk mendapatkan dan menentukan elemen-elemen struktur yang dipakai, dan bagaimana susunan elemen-elemen tersebut dalam struktur. Selain itu untuk mendapatkan model struktur yang benar dan sederhana, baik dalam bentuk dan ukuran struktur. Struktur yang dianalisa dan diperbandingkan dipilih yang sederhana karena dengan sifat seperti itu akan mengurangi kompleksitas dari analisa yang dilakukan.

Cara untuk mendapatkannya adalah dengan melakukan studi dan memakai contoh yang ada baik di buku referensi atau jurnal sebagai acuan atau patokan. Dari contoh-contoh yang ada tersebut dicoba untuk mencari konfigurasi yang sederhana untuk tugas akhir ini dengan membandingkan contoh-contoh tersebut dan hasil simulasi pada komputer.

Dalam menentukan dimensi bangunan, elemen struktur dan dalam perhitungan pembebanan struktur tetap memakai aturan yang berlaku di Indonesia dan kaidah-kaidah disain struktur yang umum dilakukan.

3.2 Elemen Struktur

Struktur outrigger terdiri atas core, yang dapat berupa dinding geser beton bertulang atau baja berpengaku di pusat bangunan, dihubungkan ke kolom exterior



oleh kantilever yang kaku terhadap lentur pada satu tingkat atau lebih, seperti yang telah dijelaskan pada Bab II.

Karena struktur yang dianalisa pada tugas akhir ini bermaterial beton, harus sederhana dan kebanyakan contoh struktur yang dianalisa menunjukkan pemakaian elemen struktur yang sama maka elemen-elemen struktur yang dipakai dalam model sistem struktur outrigger adalah shear wall atau dinding geser, outrigger, balok girder, pelat diaphragm dan kolom exterior beton. Balok anak dan kolom interior tidak ada pada struktur ini, untuk penyederhanaan dan memudahkan analisa perilaku dan interaksi dari elemen-elemen struktur.

Struktur tidak menggunakan belt trusses atau sabuk pengaku pada tingkat yang dipasang outrigger seperti pada beberapa contoh struktur di buku referensi atau jurnal karena elemen ini menambah kekakuan struktur, walaupun kecil, sehingga kalau dipakai, kekakuan dan ketahanan struktur terhadap gaya guling dan geser yang diperoleh dan dianalisa tidak murni berasal dari pengaruh outrigger tapi ada sebagian dari pengaruh belt trusses.

Pemakaian elemen-elemen struktur yang minimal akan mempengaruhi susunan elemen dalam struktur, dimensi, dan bentuk dari struktur yang akan dianalisa.

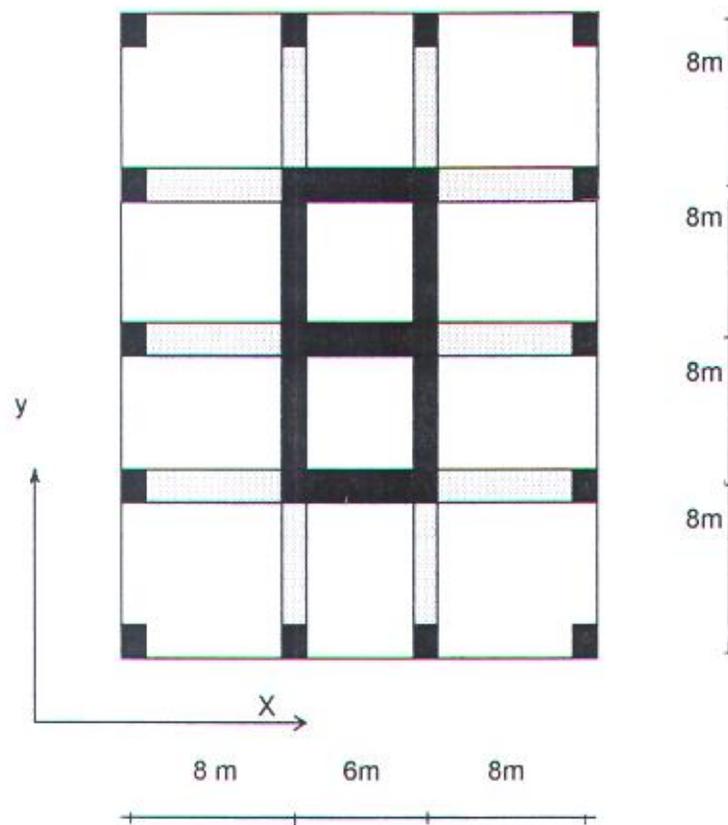
Susunan atau penempatan elemen struktur dengan berpedoman pada teori dan contoh denah struktur yang telah dianalisa maka ditentukan denah struktur yang meletakkan core di pusat bangunan yang dihubungkan dengan kolom exterior oleh outrigger atau balok girder. Jadi core ditengah bangunan dan dikelilingi oleh frame.

3.3 Bentuk dan Denah Struktur

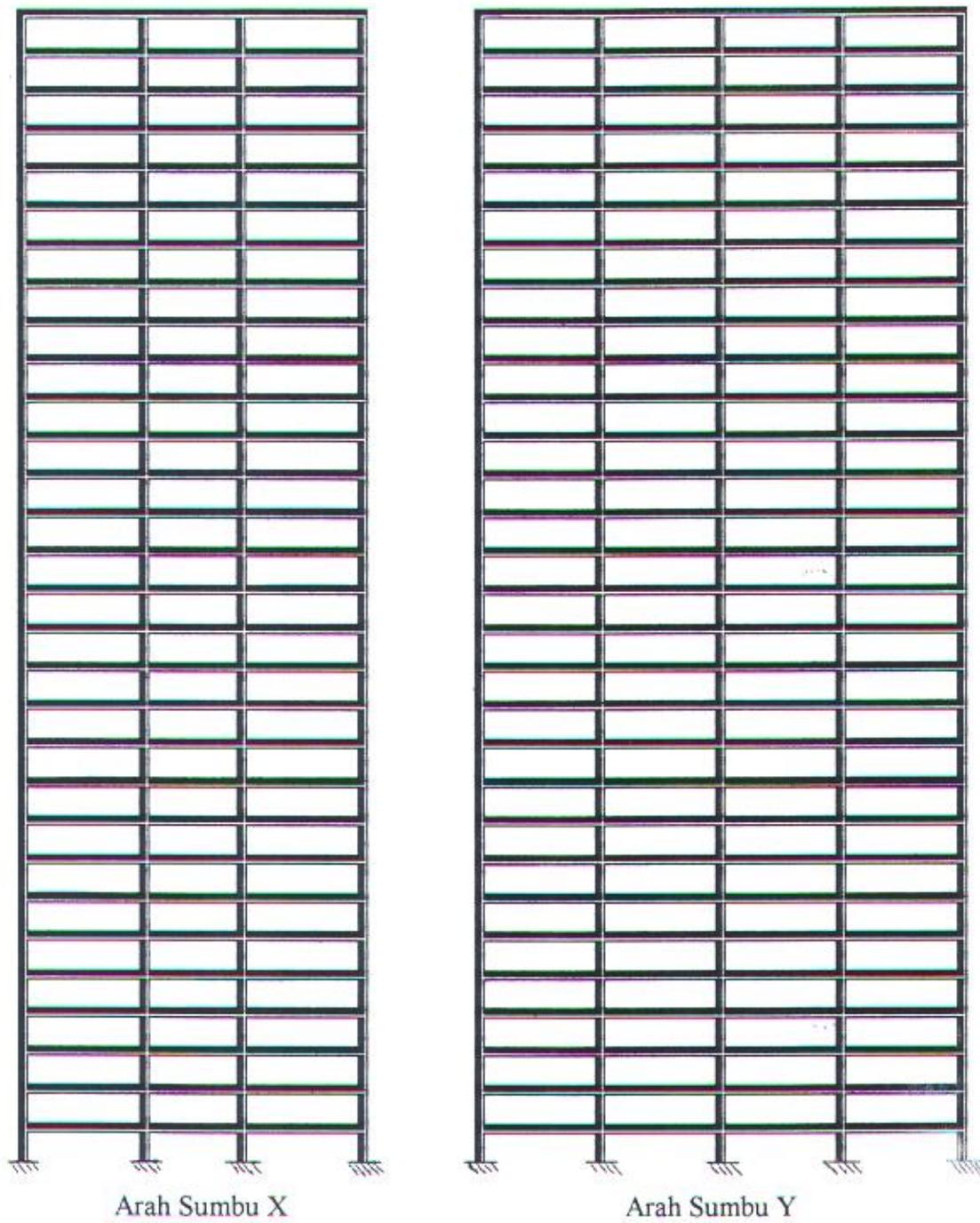
Dengan memperhatikan elemen-elemen struktur yang dipakai, susunan atau letak-letaknya dalam struktur, ketinggian struktur serta dengan tetap memperhatikan sifat sederhana dari struktur maka bentuk struktur persegi panjang dengan arah

memanjang sejajar sumbu y dan arah sumbu memendek sejajar sumbu x. Bentuk ini akan tetap dari lantai bawah sampai puncak struktur.

Dari sub. bab 3.2 dijelaskan bahwa struktur terdiri atas core di tengah dan dikelilingi oleh frame dimana core tersebut dihubungkan dengan kolom eksterior dengan lengan outrigger atau balok girder, maka untuk penyederhanaan analisa dibuat denah yang simetris baik dilihat dari arah depan maupun samping. Dibawah ini adalah gambar denah struktur yang merupakan hasil modifikasi dari 2 contoh struktur pada buku referensi (Bungale S. Taranath,1988, dan Bryan Stafford Smith and Alex Coull, 1991).



Gambar 3.1 Denah Struktur



Gambar 3.2 Tampak Struktur Arah Sumbu X dan Y

3.4 Kelangsingan Struktur

Analisa yang dilakukan menggunakan struktur yang tingginya berbeda-beda. Dari perbedaan tinggi tersebut akan didapatkan nilai kelangsingan yang berbeda-beda. Kelangsingan yang berbeda-beda akan mempengaruhi pemakaian dan perilaku outrigger pada struktur.

Pada analisa, struktur dibuat langsing dan relatif langsing untuk mendapatkan perilaku yang berbeda-beda sehingga dapat dipakai sebagai pembanding. Analisa Dinamis dapat dipakai dalam analisa struktur karena selain beban yang diambil adalah beban gempa dinamis juga karena struktur yang ditinjau walaupun simetris tetapi mempunyai ketinggian yang melebihi batasan ketinggian atau struktur yang dianalisa termasuk langsing.

Penentuan struktur langsing atau tidak, berdasarkan perbandingan antara ukuran lebar bangunan dengan tinggi struktur. Syarat $H > 4L$ (H =Tinggi; L =Lebar) digunakan untuk memverifikasi bahwa struktur termasuk langsing atau tidak. Syarat ini sesuai aturan yang ada dalam Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung, SKBI1.3.55.1987, Departemen Pekerjaan Umum.

Struktur dibuat langsing dan tidak langsing dengan merubah-ubah tinggi struktur. Ukuran elemen struktur untuk analisa akan berbeda dengan adanya perbedaan tinggi struktur karena semakin tinggi struktur semakin besar ukuran elemen struktur.

3.5 Dimensi Struktur

Untuk penentuan besarnya dimensi struktur dipakai patokan bentang antar kolom pada contoh struktur pada buku referensi (Bungale S. Taranath, 1988). Selain itu mempertimbangkan bentuk denah dan ketinggian struktur sehingga dimensi yang dipilih membentuk struktur yang langsing.

Tugas akhir ini akan menganalisa struktur 30, 40 dan 50 lantai. Tinggi masing-masing lantai berdasarkan kaidah arsitektural diambil 4 m. Dari ukuran tinggi per lantai, bentuk denah struktur dan jumlah lantai struktur dapat dijadikan perkiraan untuk menentukan berapa dimensi struktur.

Dari uraian diatas maka ditentukan dimensi struktur seperti pada gambar 3.1 dimana bentang antar kolom diambil 8m dan 6m sehingga membentuk persegi panjang $32 \times 22 \text{ m}^2$. Dimensi struktur ini dipakai untuk struktur 30,40 dan 50 lantai dan ukuran ini membuat struktur 30, 40 dan 50 lantai termasuk struktur langsing.

3.6 Beban Struktur

Beban struktur adalah beban gravitasi dan beban gempa. Kedua beban ini sama untuk semua struktur yang dianalisa karena dimensi struktur yang sama dan bentuk yang sama. Perbedaan hanya terjadi pada beban komponen vertikal untuk pencarian dimensi komponen vertikal yaitu kolom karena perbedaan jumlah lantai struktur.

3.6.1 Beban Gravitasi

Untuk beban gravitasi disini adalah beban mati atau beban berat struktur dan beban hidup. Beban gravitasi dibedakan menjadi dua macam yaitu beban pada atap dan beban pada tiap-tiap lantai dari struktur. Yang membedakan beban pada atap dan beban pada lantai-lantai struktur adalah pada atap tidak ada beban berat dari tegel. Fungsi Struktur yang dianalisa adalah untuk kantor.

Besarnya beban mati dan hidup serta faktor reduksi yang bekerja pada struktur diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983. Adapun macam beban mati dan hidup serta besar beban yang bekerja pada struktur (tabel 2.1 PPIUG 1983) adalah sbb :

- Beban plat diaphragm 2400 kg / m^3
- Beban balok 2400 kg / m^3
- Beban plafon terdiri atas :
 1. Langit-langit eternit 11 kg / m^2
 2. Penggantung langit-langit 7 kg / m^2
 Sehingga total beban plafon 18 kg / m^2
- Beban spesi per cm 21 kg / m^2
- Beban penutup lantai atau tegel per cm 24 kg / m^2

Untuk beban hidup yang bekerja pada lantai struktur diambil dari tabel 3.1 PPIUG 1983 yaitu sebesar 250 kg / m^2 . Sedangkan untuk beban hidup untuk lantai dak atau atap diambil dari pasal 3.2 PPIUG 1983 sebesar 100 kg / m^2 .

Koefisien reduksi beban hidup pada struktur diambil dari tabel 3.3 PPIUG 1983 dimana untuk perencanaan pembebanan gravitasi diambil untuk fungsi bangunan kantor sebesar 0,6 dan untuk perencanaan pembebanan gempa diambil 0,3.

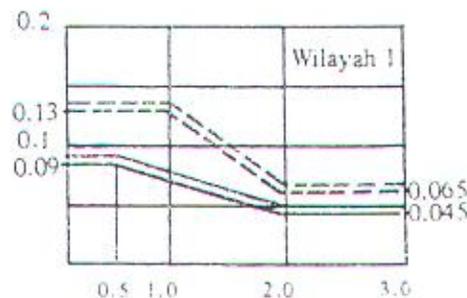
3.6.2 Beban Gempa

Untuk beban lateral pada struktur digunakan beban menggantikan beban horisontal statis merata yaitu angin yang dipakai pada analisa buku referensi atau jurnal. Karena letak struktur yang dianalisa terletak Indonesia dimana beban lateral yang kritis adalah beban gempa maka diambil beban gempa wilayah 1 di Indonesia yang merupakan wilayah gempa yang paling kritis, dimana bangunan dianggap berdiri diatas struktur tanah lembek. Koefisien beban gempa ini diambil dari Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung 1987 gambar 2.3

Struktur yang dianalisa adalah struktur elastis sehingga diambil beban gempa elastis murni yang dapat menjadi beban lateral struktur. Damping rasio yang dipakai besarnya 0,05 atau 5%.

Pembebanan gempa dilakukan pada dua arah sumbu utama struktur yaitu sumbu x dan sumbu y dengan kombinasi yaitu 100% beban gempa pada arah sumbu yang akan dianalisa dan 30% pada sumbu yang tegak lurus dengan sumbu utama analisa. Jadi misalnya kita menganalisa respon struktur terhadap gempa pada arah sumbu x maka kombinasi beban gempanya adalah 100% pada arah x dan 30% pada arah y begitu juga sebaliknya.

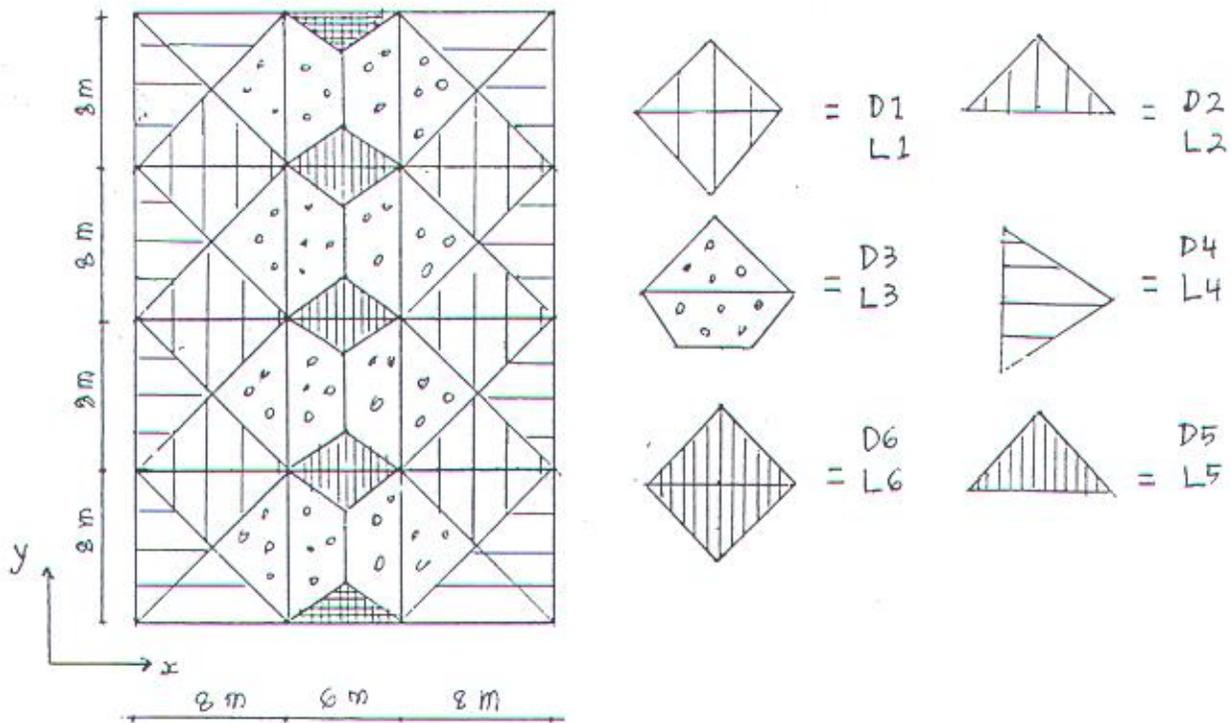
Pembebanan keseluruhan untuk struktur yang dianalisa adalah kombinasi antara beban gravitasi baik mati dan hidup serta gempa tanpa ada faktor pengali pada kedua jenis beban karena yang dilakukan bukan mendisain atau merencanakan struktur tapi untuk memperoleh model struktur untuk selanjutnya dianalisa.



Gambar 3.3 Grafik Koefisien Gempa Dasar

3.6.3 Beban Ekuivalen

Untuk beban yang bekerja pada balok adalah beban gravitasi mati dan hidup yang harus diekuivalenkan sehingga menjadi beban merata yang bekerja diatas balok. Untuk beban ekuivalen ini juga dibagi menjadi dua macam yaitu beban ekuivalen yang bekerja pada atap dan lantai struktur.



Gambar 3.4 Pembagian Beban Merata Pada Struktur

Beban gravitasi yang harus diekuivalensikan adalah beban-beban berat pelat, plafon, spesi dan penutup lantai atau tegel serta beban hidup yang bekerja pada struktur.

Untuk tipe beban yang harus diekuivalensikan adalah beban trapesium dan segi tiga dimana pembagian beban-beban ini pada struktur dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini.

Dari gambar 3.4 dapat dilihat bahwa terdapat 6 macam beban merata untuk beban mati dan 6 macam beban hidup. Adapun besar dari masing-masing beban merata tersebut ditabelkan sbb :

Jenis Beban	Atap (Kg)	Lantai (Kg)
D1	2704	2512
D2=D4	1352	1256
D3	2587,8125	2404,0625
D5	1014	942
D6	2028	1884
L1	800	320
L2=L4	400	160
L3	765,625	306,25
L5	300	120
L6	600	240

Tabel 3.1 Perhitungan Beban Merata

Perumusan yang dipakai untuk perhitungan tabel diatas adalah sama dengan perumusan yang diajarkan pada perkuliahan yaitu :

- Beban Segi Tiga

$$q_{eq} = (2/3)q \quad (3.6.1)$$

- Beban Trapesium

$$Q_{eq} = q (1 - (4a^2 / 3l^2)) \quad (3.6.2)$$

Perumusan ini tidak dibahas lebih lanjut karena telah umum dipakai.

3.7 Perhitungan Dimensi Elemen-Elemen Struktur

Penentuan dimensi elemen struktur didasarkan pada peraturan beton yang dipakai di Indonesia yaitu SK SNI T-15-1991-03 karena struktur yang dianalisa adalah struktur beton bertulang. Semua perencanaan dimensi pelat, balok, dinding geser dan kolom didasarkan pada peraturan SK SNI '91 ini.

Pada analisa struktur ini dipakai mutu beton $f_c' = 50$ Mpa dan dipakai mutu baja $f_y = 400$ Mpa. Pengambilan dimensi yang merupakan hasil dari rumus-rumus yang umum dipakai pada tugas akhir ini tidak perlu diambil nilai praktis karena

sifatnya adalah untuk keperluan analisa secara simulasi komputer. Semua dimensi elemen struktur adalah sama sepanjang tinggi struktur.

3.7.1 Dimensi Pelat

Tipe pelat yang ada pada struktur semuanya adalah pelat dua arah dimana perbandingan antara panjang dan lebar lebih kecil dari dua. Untuk perencanaan tebal pelat dilakukan dengan tanpa mengontrol lendutan maka dipakai pasal 3.2.5 ayat 3 pada SK SNI'91 yaitu rumus (3.2.12), (3.2.13), dan (3.2.14) dengan nilai $\alpha > 2$ yang berarti tebal pelat tidak boleh kurang dari 90 mm.

Dari perhitungan rumus-rumus diatas diperoleh bahwa tebal minimal adalah 17,8 cm dengan tebal maksimal 23,7 cm. Untuk tebal pelat struktur pada tugas akhir ini dipakai 17,8 cm untuk semua struktur.

3.7.2 Dimensi Balok

Pada struktur terdapat dua macam panjang balok yaitu 8 m dan 6 m dimana untuk penyederhanaan diambil satu nilai dimensi balok. Karena dimensi struktur untuk 30, 40 dan 50 lantai adalah sama maka dimungkinkan untuk memakai dimensi balok yang sama. Penentuan dimensi balok ini tanpa perlu dilakukan kontrol terhadap lendutan balok. Untuk itu dipakai pasal 3.2.5 pada SK SNI'91.

Tinggi minimal dari balok ditentukan dari rumus pada tabel 3.2.5(a) pada pasal 3.2.5 SK SNI'91 dengan mengambil tebal minimal yang paling kritis antara tebal minimal balok untuk satu ujung menerus dan kedua ujung menerus. Untuk tebal minimal satu ujung menerus dihasilkan 43,24 cm dan untuk kedua ujung menerus dihasilkan tebal minimal 38,1 cm. Untuk lebar balok dipakai separuh tinggi atau dua per tiga tinggi balok.

Dari hasil perhitungan diatas dipakai dimensi balok sebagai berikut :

Struktur x Lantai	Tinggi Balok (cm)	Lebar Balok (cm)
30	45	25
40	60	40
50	80	50

Tabel 3.2 Dimensi Balok

3.7.3 Dimensi Dinding Geser

Untuk dimensi dinding geser bersifat fleksibel dalam arti tebal dinding geser minimal tetap ditentukan, tetapi dalam pengambilan besar tebal dinding geser dapat didasarkan pada hasil perhitungan tebal yang diperlukan atau berdasarkan kebutuhan analisa struktur dengan tetap harus memenuhi ketentuan tebal minimal yang telah dihitung terlebih dulu.

Ketentuan tebal minimal dinding geser berpedoman pada pasal 3.7.5 SK SNI'91 dimana disebutkan disitu bahwa tebal minimal dinding geser haruslah satu per dua puluh lima panjang elemen pendukung yang dalam hal ini adalah balok yang diambil paling panjang yaitu balok 8 m. Hasilnya tebal minimum balok adalah 32 cm.

Karena tebal minimal dinding geser ini ada yang lebih kecil daripada lebar balok maka diambil tebal core untuk masing-masing struktur seperti tabel 3.4.

3.7.4 Dimensi Kolom

Perhitungan dimensi kolom menggunakan perumusan yang umum dilakukan yaitu bahwa tegangan tekan yang dapat diterima hanyalah sepertiga dari mutu baton yang dipakai.

Struktur x Lantai	Tebal Dinding Geser (cm)
30	32
40	40
50	50

Tabel 3.4 Dimensi Dinding Geser

Beban yang diterima oleh kolom paling bawah adalah beban-beban yang ada di atasnya dengan memperhatikan daerah tributari yang masuk pada kolom. Untuk dimensi kolom struktur pada tugas akhir ini dibuat 1 ukuran dengan tujuan untuk penyederhanaan.

Data perkiraan ukuran kolom adalah sbb :

Jumlah Lantai	Gaya Berat yang harus dipikul per kolom (Kg)	Luasan Penampang (cm ²)	Perkiraan Dimensi Kolom (cm)
30	696664,41	4179,98	64,65
40	929595,71	5577,57	74,68
50	1441824,00	6975,00	96,76

Tabel 3.5 Perkiraan Dimensi Kolom

Data dimensi kolom yang dipakai adalah sbb :

Struktur x Lantai	Dimensi Kolom (cm)
30	65
40	80
50	120

Tabel 3.6 Dimensi Kolom

Penentuan dimensi elemen struktur vertikal untuk setiap tinggi struktur yang berbeda adalah berbeda karena pengaruh beban gravitasi juga berbeda.

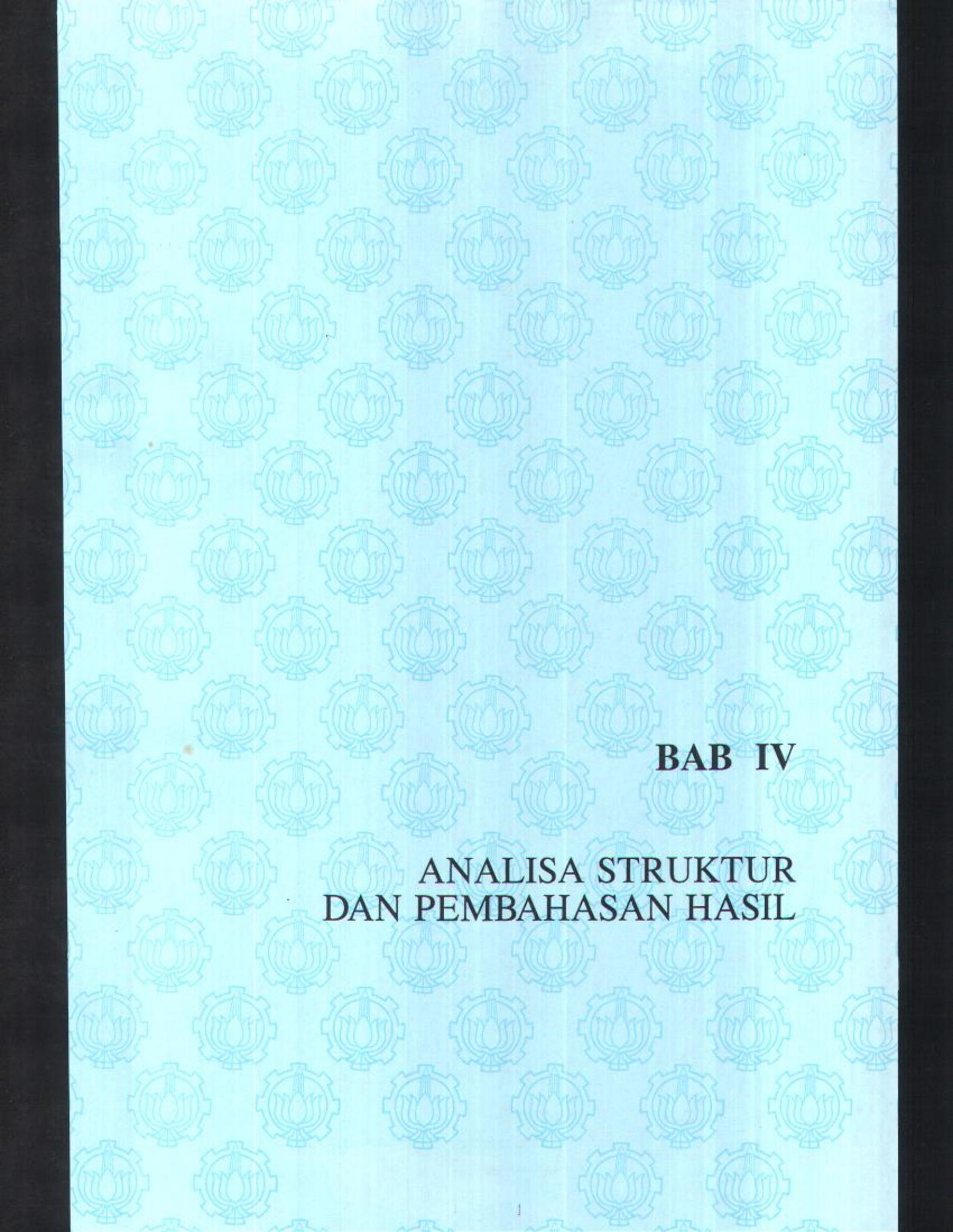
3.8 Input Program

Dalam sub bab ini akan dijelaskan beberapa parameter yang diambil dalam penyusunan input program untuk analisa struktur. Besarnya parameter terbatas pada pilihan dan interval atau range yang ada pada program aplikasi ETABS 5.11 yang dipakai. Besarnya parameter yang diambil berdasarkan pemodelan struktur yang diinginkan.

Di bawah ini adalah parameter-parameter dan pemodelan struktur pada input program :

1. Satuan yang dipakai adalah Satuan Internasional (SI) yaitu Kg-M-second
2. Struktur yang dianalisa adalah struktur 3 dimensi yang bebas berotasi. Analisa 3 dimensi dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur baik arah x maupun y.
3. P delta efek tidak ditinjau untuk penyederhanaan analisa
4. Besar Eigen Value tolerance diambil 0.0001
5. Modulus Elastisitas (E) beton diambil $2.1E9 \text{ Kg/M}^2$
6. Berat jenis beton diambil 2400 Kg/M^3
7. Poisson rasio beton diambil 0,2
8. Teknik kombinasi modal menggunakan CQC
9. Damping rasio untuk beban gempa diambil 0,05 (5%)

Semua analisa, baik struktur beroutrigger maupun struktur wall frame sebagai pembanding memakai pemodelan dan parameter seperti diatas. Input program terdapat pada bagian Lampiran Tugas Akhir ini.



BAB IV

**ANALISA STRUKTUR
DAN PEMBAHASAN HASIL**

BAB IV

ANALISA STRUKTUR DAN PEMBAHASAN HASIL

4.1 Pendahuluan

Pada bab IV ini dilakukan analisa struktur untuk mengetahui respon struktur yang memakai outrigger pada salah satu atau lebih lantainya yang dibebani gempa dengan menggunakan bentuk, denah, dan ukuran struktur yang telah dimodelkan pada bab 3.

Macam Struktur yang dianalisa ada dua yaitu Struktur Wall Frame dan Struktur Outrigger. Struktur wall frame pada analisa ini dianggap sistem struktur yang lebih konvensional dibandingkan sistem struktur outrigger. Output atau respon dari kedua macam struktur ini dibandingkan untuk diketahui sampai sejauh mana fungsi, efektivitas dan efisiensi dari sistem struktur outrigger.

Analisa parameter-parameter dalam struktur yang penting untuk diketahui sampai didapatkan sebuah kesimpulan untuk tugas akhir ini yaitu bahwa sebuah sistem struktur outrigger efektif atau tidak terutama adalah simpangan struktur dan momen core pada dasar struktur. Analisa pada parameter-parameter yang lain seperti gaya geser pada core dan gaya geser lantai adalah bersifat tambahan dan melengkapi analisa utama.

Yang dimaksud analisa struktur pada bab ini adalah menguji dan memperlakukan struktur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil-hasil yang dapat diperbandingkan satu sama lain baik terhadap hasil simulasi sendiri maupun terhadap

hasil studi yang telah dilakukan dan telah dilaporkan dalam bentuk buku referensi dan jurnal.

Angka-angka dan sifat-sifat yang muncul dari analisa sistem struktur outrigger dijadikan dasar dan pedoman untuk membentuk suatu kesimpulan yang tujuan akhirnya secara umum adalah proses disain yang mudah dan efisien.

4.2 Fleksibilitas Outrigger

Fleksibilitas outrigger dilihat dari pembentuk asalnya adalah perbandingan kekakuan dimensi elemen-elemen struktur yaitu dimensi kolom, outrigger, dan core seperti yang telah dipaparkan pada Bab II. Fleksibilitas outrigger memberikan pengertian yang terbalik dengan kekakuan outrigger dimana semakin fleksibel sebuah outrigger berarti semakin tidak kaku dan sebaliknya. Apabila ditanyakan berapa fleksibilitas yang dapat dipakai maka jawabanya tergantung keperluan karena disini berkaitan dengan interaksi antara outrigger dengan kolom atau core.

Fleksibilitas outrigger adalah parameter yang memberikan indikator bagaimana kekakuan sebuah struktur yang memakai outrigger sebagai sebuah sistem untuk menahan beban lentur dan lateral. Besar dari fleksibilitas outrigger yang dinyatakan dalam bentuk angka-angka memberikan kemudahan untuk mendeteksi disfungsi yang dapat terjadi pada sistem outrigger.

Dapat dikatakan bahwa apabila outrigger yang dipasang sangat kaku maka struktur dapat dikatakan mempunyai kekakuan yang tinggi begitu pula sebaliknya. Jadi keduanya berjalan secara linier.

Pada tugas akhir ini nilai fleksibilitas outrigger menjadi bagian dari setiap analisa yang dilakukan terhadap struktur. Dari nilai fleksibilitas outrigger yang berbeda akan didapatkan letak optimal outrigger di struktur - untuk mengurangi simpangan secara maksimal - yang berbeda. Dari nilai fleksibilitas outrigger yang berbeda didapatkan besar reduksi simpangan atau momen base core yang berbeda.

Jadi nilai fleksibilitas outrigger sangat berpengaruh karena mulai awal telah ikut mewarnai output yang akan didapatkan.

Untuk itu dalam setiap bahasan dalam analisa struktur akan ditentukan terlebih dulu berapa besar fleksibilitas outrigger yang dipakai. Fleksibilitas ini dapat dipakai sama atau berbeda pada struktur tergantung keperluan.

Contoh perhitungan fleksibilitas outrigger dapat dilihat di bawah ini. Parameter-parameter yang dipakai adalah rasio kekakuan core-kolom (α), rasio kekakuan core-outrigger (β) dan fleksibilitas outrigger (ω) sendiri. Untuk rumus-rumusny dapat dilihat pada Bab 2. Contoh perhitungan memakai ukuran elemen struktur seperti dibawah, yang tinggi tiap lantainya 4m sbb :

$$E \text{ beton} = 2.1E9 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Kolom } 100 \times 100 \text{ maka } EA = 1 \times 1 \times 2.1E9 = 2.1E9 \text{ kg}$$

$$\text{Core tebal } 40 \text{ cm maka } EI = 2.1E9 \times 0.4 \times 6^3 / 12 = 1.512E10$$

$$\text{Outrigger } 40 \times 200 \text{ maka } EI_0' = 2.1E9 \times 0.4 \times 2^3 / 12 = 5.6E8 \text{ kg, sehingga}$$

$$EI_0 = (1 + 3/8)^3 \times 5.6E8 = 1.456E9 \text{ kg}$$

$$\alpha = 2 \times 1.512E10 / (22 \times 22 \times 2.1E9) = 0.0275$$

$$\beta = 1.512E10 \times 22 / (1.456E9 \times 100) = 2.285$$

$$\omega = 2.285 / 12 \times (1 + 0.02175) = 0.185$$

4.3 Penentuan Fleksibilitas Outrigger

Dalam tugas akhir ini besarnya fleksibilitas ditentukan dengan memberikan besar fleksibilitas yang sama dan atau berbeda pada setiap outrigger di struktur yang mempunyai ketinggian dan kelangsingan yang berbeda untuk dapat dilihat bagaimana efektifitas pemakaian outrigger.

Untuk analisa awal seperti yang dibahas pada sub bab 4.5 dipakai nilai fleksibilitas outrigger yang berbeda untuk setiap tinggi struktur yang bertujuan sebagai analisa pendahuluan. Tabel dibawah menunjukkan perhitungan fleksibilitas outrigger untuk setiap struktur yang beda tinggi dan beda dimensi elemen struktur.

Struktur (Lantai)	Ukuran Kolom (m)	E.A Kolom (Kg)	Tebal Core (m)	E.I Core (Kg)	E.I'o (Kg)	E.Io (Kg)	α	β	ω
30	0,65 x 0,65	0,887 E9	0,32	12,10 E9	1,51 E9	2,08 E9	0,05634	1,067	0,0842
40	0,8 x 0,8	1,344 E9	0,4	15,12 E9	1,89 E9	2,60 E9	0,04650	0,800	0,0637
50	1,2 x 1,2	3,024 E9	0,5	18,90 E9	5,60 E9	7,70 E9	0,02583	0,270	0,0219

Tabel 4.1 Perhitungan Nilai Fleksibilitas Outrigger

Untuk analisa-analisa selanjutnya dipakai nilai fleksibilitas outrigger yang bisa sama atau berbeda. Untuk nilai fleksibilitas yang sama diambil untuk memberikan perlakuan yang sama terhadap struktur-struktur yang diperbandingkan. Dari situ akan dilihat misalnya bagaimana hasil pengurangan terhadap simpangan struktur dan momen core pada dasar struktur.

Nilai Fleksibilitas outrigger dapat diambil berbeda apabila untuk nilai fleksibilitas tertentu masih belum memenuhi kebutuhan kekakuan lentur outrigger salah satu struktur yang mungkin karena kelangsingannya memerlukan outrigger yang jauh lebih kaku untuk menguatkan dirinya.

4.4 Studi Perletakan Struktur

Untuk hal ini ditinjau dua pendekatan yang akan diuraikan dibawah ini yaitu pendekatan dari dasar teori dan dari pengerjaan di lapangan yang penuh dengan pertimbangan praktis dan kenyataan di lapangan.

4.4.1 Pendekatan Teori

Pada dasar teori seperti yang tersurat pada asumsi analisa struktur yang disusun telah dipaparkan pada Bab. II bahwa (1) kolom pada sistem struktur outrigger haruslah rigid secara aksial, (2) core harus mempunyai sambungan yang rigid dengan struktur bawah atau pondasi, (3) outrigger yang merupakan sebuah kantilever yang menghubungkan core dan kolom harus mempunyai kekakuan lentur, dan hubungan ujung outrigger pada core adalah rigid sedangkan ujung yang lain dapat dibuat sendi atau pin.

Dari penjelasan diatas maka model perletakan atau hubungan sambungan elemen-elemen struktur utama berdasarkan teori yang ada dapat dirinci sebagai berikut ; kolom antar tingkat dibuat menerus (= continuous) supaya kolom rigid, untuk outrigger karena diasumsikan sebagai sebuah kantilever maka hubungan pada ujung dengan core adalah jepit, sedangkan pada ujung dengan kolom haruslah bebas atau sendi untuk menjamin bahwa kolom menerima gaya aksial saja.

Pada struktur terdapat dua macam balok dilihat dari fungsinya yaitu balok transfer yang menghubungkan core dengan kolom dan balok biasa yang terdapat pada frame. Dari penjelasan diatas dan dibawah ini maka untuk perletakan atau sambungan balok dibuat sendi-sendi pada kedua ujungnya.

Salah satu penjelasan teoritis untuk dasar pemakaian perletakan-perletakan diatas karena sistem struktur outrigger dilihat dari elemen-elemennya seperti diatas minus outrigger adalah sebuah struktur wall frame (Smith dan Coull, Tall Building Structures : Analysis and Design, 1991) yang mana perletakan elemen strukturnya adalah sebagai berikut yaitu ; kolom haruslah rigid secara aksial sehingga dibuat menerus atau jepit (=continuous), balok yang menghubungkan kolom dan core haruslah rigid secara horisontal dan meneruskan gaya horisontal saja sehingga perletakannya dibuat sendi-sendi. Untuk perletakan kolom dan balok pada struktur ber-outrigger seperti yang ditentukan sebelumnya kecuali outrigger yang kantilever

dan balok pada frame, dibuat sama seperti struktur wall frame ini. Struktur wall frame adalah struktur yang juga dianalisa sebagai struktur pembanding.

Jadi dapat disimpulkan struktur ber-outrigger adalah struktur wall-frame yang ketambahan pengaku berupa outrigger sehingga struktur ini mempunyai balok biasa dan Outrigger yang sama-sama menghubungkan core dengan kolom serta balok yang menghubungkan antar kolom pada framenya, dimana perletakan untuk Balok yang menghubungkan core dan kolom dan balok pada frame perletakannya sendi-sendi pada kedua ujungnya seperti disebut di atas, outrigger tetap jepit pada sisi core.

4.4.2 Pendekatan Praktis Lapangan

Pada dasarnya adalah sulit untuk mengerjakan perletakan atau sambungan antar elemen seperti yang diasumsikan diatas – untuk perletakan elemen struktur yang dibuat bebas atau sendi – karena untuk struktur beton bertulang adalah paling mudah untuk membuat sambungan antar elemen adalah rigid atau jepit.

Untuk itu analisa awal untuk menguji perletakan atau sambungan antar elemen struktur juga dilakukan analisa sambungan elemen struktur seperti yang ada dilapangan, sehingga semua perletakan atau sambungan dibuat rigid atau jepit.

4.5 Pra-Analisa Struktur

Yang dimaksud pra-analisa struktur disini adalah analisa perletakan atau sambungan elemen-elemen struktur. Dengan menggunakan model dan ukuran struktur yang telah dihitung pada Bab. III serta fleksibilitas outrigger pada tabel 4.1 maka dianalisa struktur yang memakai outrigger dan struktur wall frame.

Pra-analisa ini akan menganalisa dua model perletakan atau sambungan elemen struktur yaitu perletakan sesuai dengan teori dan perletakan dengan

pengerjaan dan kenyataan di lapangan. Masing-masing detail perletakan telah dijelaskan seperti pada sub bab 4.4.1 dan 4.4.2.

Asumsi perletakan diatas ini harus diuji untuk mengetahui apakah benar perletakan yang dipakai sedemikian rupa, dengan melakukan simulasi pada komputer. Pengujian ini untuk melihat apakah asumsi tersebut dapat dipakai atau tidak pada analisa-analisa selanjutnya.

Sebagai analisa bahwa perletakan yang dipakai benar atau tidak, dapat dilihat respon struktur sebagai indikator awal yaitu pada hasil momen base core dan simpangan struktur, dimana momen dan simpangan sebuah struktur yang memakai outrigger haruslah relatif lebih kecil daripada simpangan dan momen sebuah struktur wall frame yang pada tugas akhir ini dianggap lebih konvensional.

Jadi apabila simpangan dan momen core sebuah struktur yang beroutrigger lebih besar daripada simpangan struktur rigid frame maka terdapat ketidaktepatan pada perletakan, ukuran elemen struktur dan letak elemen strukturnya, yang mana dua faktor terakhir telah didesain secara wajar, sesuai keperluan dan sesuai aturan sehingga yang tidak tepat adalah pada pemakaian perletakan elemen struktur yang harus terus dilakukan iterasi untuk memperoleh perletakan yang tepat.

4.5.1 Letak Outrigger

Pada struktur yang memakai outrigger semua outrigger yang dipasang pada struktur diletakkan pada pertengahan tinggi struktur yang diperhitungkan dari puncak struktur. Jadi pada struktur berlantai 30 outrigger terdapat pada lantai 16, pada struktur berlantai 40 outrigger ada di lantai 21 dan pada struktur berlantai 50 outrigger dipasang di lantai 26.

Dasar pemasangan outrigger pada pertengahan tinggi struktur adalah adanya perumusan yang diambil dari grafik yang telah terbentuk yang menunjukkan bahwa untuk outrigger yang mempunyai kekakuan lentur yang sangat besar maka pada sistem struktur yang memakai satu outrigger, kita meletakkan outrigger pada

pertengahan tinggi struktur sedangkan pada sistem 2 outrigger dipasang outrigger pada $1/3$ dan $2/3$ dari tinggi struktur. Perumusan penentuan letak outrigger pada struktur ini dapat dituliskan sebagai rumus $n/(n+1)$ tinggi dimana n adalah jumlah outrigger (Bryan Stafford Smith and Alex Coull, 1991).

Pemakaian perumusan penentuan letak seperti yang baru dijelaskan memang masih bersifat pendekatan yang kurang menunjukkan kebenaran lokasi optimal dari outrigger pada struktur yang sebenarnya, bahkan untuk grafik yang dibuat untuk penentuan letak optimal outrigger, tetapi karena analisa awal yang dilakukan tidak untuk mencari nilai-nilai respon yang sebenarnya maka cara ini dianggap mewakili. Beberapa analisa yang dilakukan dengan menggunakan dua, tiga dan empat outrigger untuk mengetahui kecukupan pemakaian outrigger pada struktur dibantu dengan pemakaian grafik untuk menentukan letak yang kira-kira letak optimal outrigger.

4.5.2 Tinggi Struktur

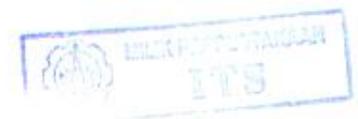
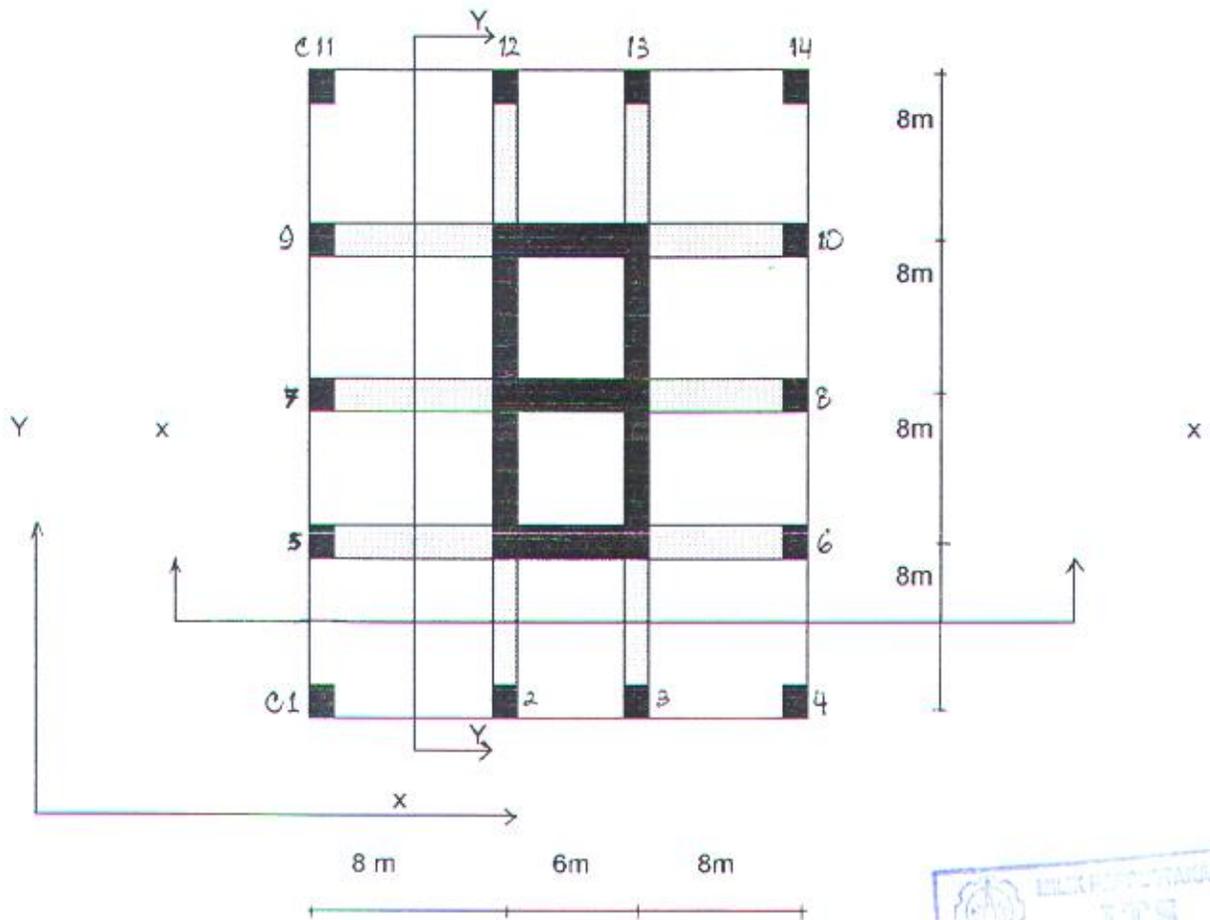
Pemilihan jumlah tingkat pada struktur yang dianalisa didasarkan terutama adalah struktur tersebut tinggi dan langsing disini dipakai struktur 30, 40 dan 50 lantai.

4.5.3 Ukuran dan Potongan Struktur

Dibawah ini dilampirkan kembali ukuran dan potongan struktur yang akan dianalisa dimana untuk bentuk dan dimensi luas struktur adalah sama untuk struktur 30, 40 dan 50 lantai. Dimensi elemen struktur adalah menetap atas sampai bawah struktur

Struktur x Lantai	Ukuran Balok (cm)	Ukuran Kolom (cm)	Tebal Dinding Geser (cm)	Ukuran Outrigger (cm)
30	45 x 25	65 x 65	32	300 x 32
40	60 x 40	80 x 80	40	300 x 40
50	80 x 50	120 x 120	50	400 x 50

Tabel 4.2 Dimensi Elemen Struktur



Gambar 4.1 Denah Struktur

4.5.4 Hasil Analisa dan Pembahasan

Hasil analisa arah x pada tabel 4.3 sampai 4.5 dapat disimpulkan bahwa pemakaian perletakan atau sambungan elemen struktur berdasarkan pelaksanaan praktis lapangan (tabel 4.5) lebih mendekati kebenaran daripada kombinasi perletakan lainnya seperti yang ditunjukkan tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 adalah hasil output dari struktur yang perletakannya dapat dijelaskan sebagai berikut ; yaitu kolom dan core rigid, outrigger dimodelkan sebagai kantilever dan semua perletakan balok dimodelkan sebagai perletakan sendi.

Tabel 4.4 adalah hasil output dari perletakan struktur yang dimodelkan sebagai berikut ; yaitu kolom dan core rigid, outrigger dimodelkan sebagai kantilever, balok transfer sendi, sedangkan balok lainnya dibuat rigid.

Struktur Berlantai	Simpangan		Reduksi %	Momen		Reduksi %
	Wall Frame (m)	Ber-outrigger (m)		Wall Frame (Kg.m)	Ber-outrigger (Kg.m)	
30	1,17768	0,70010	40,55	68084100	48822418	28,29
40	3,32000	1,82672	44,98	135000000	97090582	28,08
50	6,82216	2,67657	60,77	222000000	125000000	43,69

Tabel 4.3
(a)

Struktur Berlantai	Simpangan		Reduksi %	Momen		Reduksi %
	Wall Frame (m)	Ber-outrigger (m)		Wall Frame (Kg.m)	Ber-outrigger (Kg.m)	
30	0,94101	0,61445	34,70	58406333	45316659	22,41
40	1,64474	1,25351	23,79	84728473	76736973	9,43
50	1,62253	1,32737	18,19	87970132	82574443	6,13

Tabel 4.4
(a)

Struktur Berlantai	Simpangan		Reduksi %	Momen		Reduksi %
	Wall Frame (m)	Ber-outrigger (m)		Wall Frame (Kg,m)	Ber-outrigger (Kg,m)	
30	0,72643	0,47410	34,74	49444359	39378858	20,36
40	1,05359	0,88924	15,60	64318251	60433776	6,04
50	1,04111	0,98700	5,20	63736669	63666565	0,11

Tabel 4.5 (a)

Tabel 4.3 (a) – 4.5 (a) Reduksi Simpangan dan Momen Core Arah X

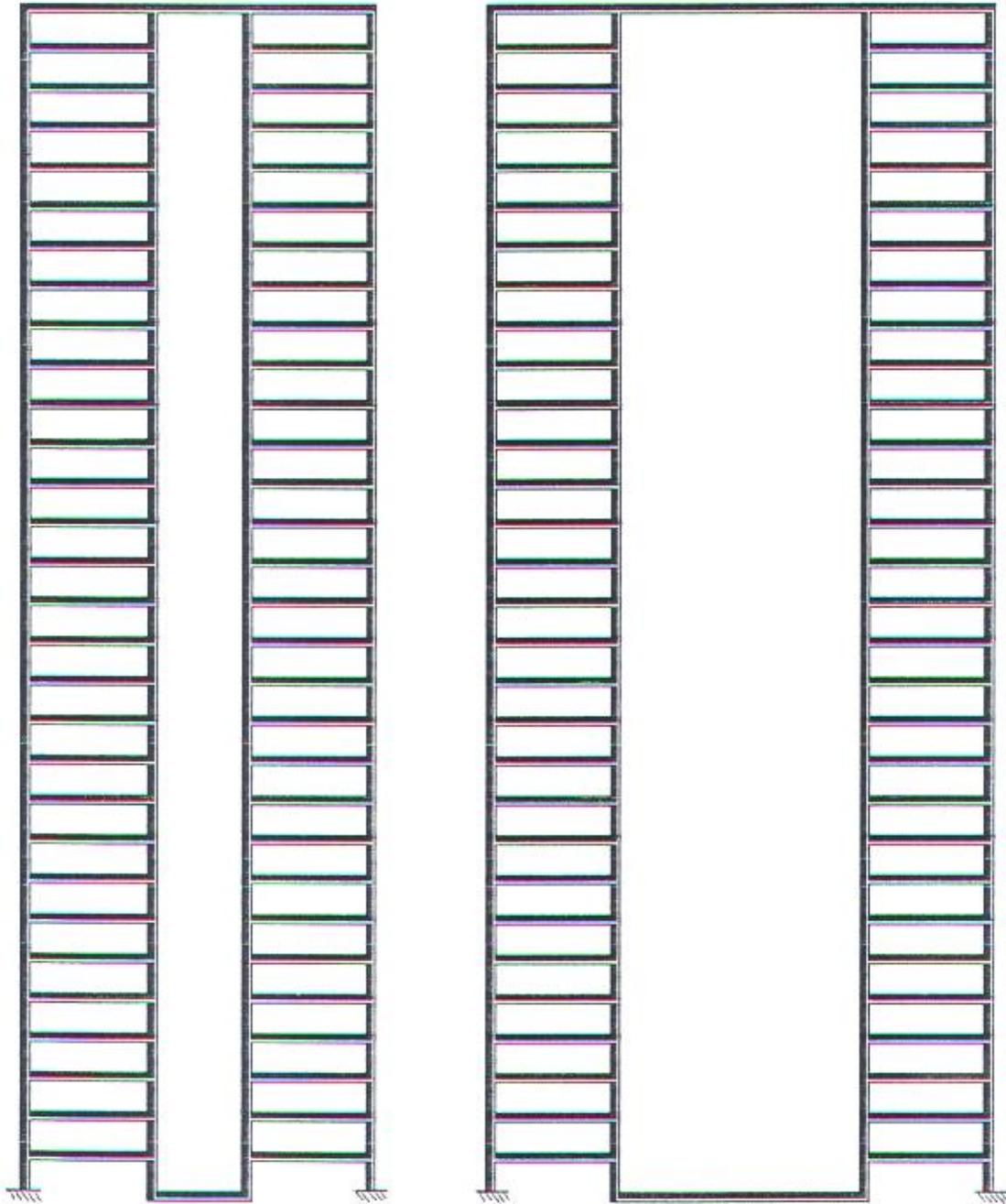
Analisa dilakukan dengan memberikan kedua arah sumbu utama struktur beban gempa secara bergantian seperti yang telah dijelaskan pada sub bab pembebanan pada Bab III. Ternyata hasil yang didapatkan adalah struktur sangat kritis pada sumbu lemahnya yang dalam hal ini adalah sumbu x. Sedangkan sumbu y sebagai sumbu kuat tidak menunjukkan hasil yang kritis. Selanjutnya analisa akan selalu dilakukan pada struktur arah sumbu x.

Sebagai perbandingan pada tabel 4.3 (b) sampai 4.5 (b) ditampilkan hasil analisa struktur arah y.

Dari hasil analisa tahap awal ini dapat disimpulkan bahwa struktur lebih kaku apabila diberikan perletakan seperti pada struktur tabel 4.5 (a) atau tabel 4.5 (b) dan untuk selanjutnya semua analisa dan simulasi struktur diberikan perletakan seperti pada struktur pada tabel-tabel tersebut.

Dari hasil analisa dibahas dan disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

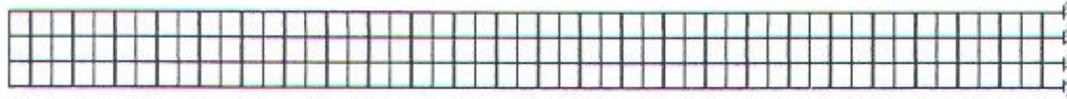
1. Kekakuan struktur pada struktur yang memakai perletakan sesuai teori lebih kecil daripada perletakan yang disesuaikan dengan kondisi riil lapangan sehingga simpangan struktur dan momen struktur pada core yang terjadi pada struktur tersebut lebih besar. Untuk selanjutnya perletakan yang dipakai adalah yang sesuai dengan kondisi riil lapangan.



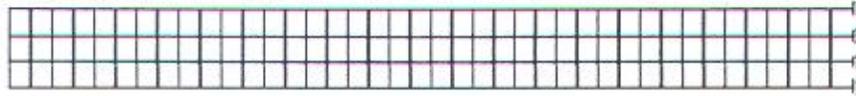
Potongan x - x

Potongan y - y

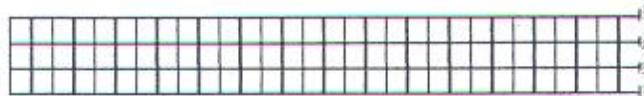
Gambar 4.2 Tampak Potongan Struktur (contoh untuk 30 lantai)



Struktur 50 ft.
 $H = 9,1L$



Struktur 40 ft.
 $H = 7,3L$

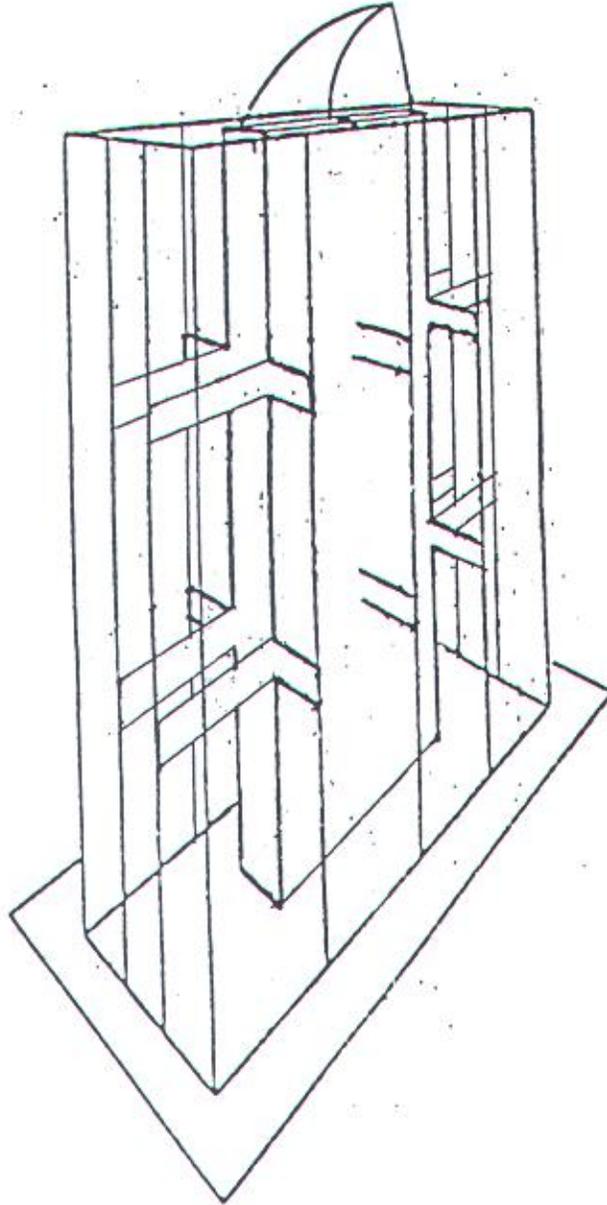


Struktur 30 ft.
 $H = 5,5L$

Struktur langsing adalah apabila struktur melebihi syarat $H > 4L$ dimana H adalah tinggi dan L adalah lebar dari struktur.

Gambar 4.4 Perbandingan Kelangsingan Struktur

Shear walls
with outriggers.



Gambar Model Struktur Outrigger 3D

Gambar 4.3

Struktur Bertantai	Simpangan		Reduksi %	Momen		Reduksi %
	Wall Frame (m)	Ber-outrigger (m)		Wall Frame (Kg,m)	Ber-outrigger (Kg,m)	
30	0,28285	0,21836	22,80	20425799	14945910	26,83
40	0,79235	0,58409	26,28	40400000	27200000	32,67
50	1,63791	0,95804	41,51	66700000	37600000	43,63

Tabel 4.3 (b)

Struktur Bertantai	Simpangan		Reduksi %	Momen		Reduksi %
	Wall Frame (m)	Ber-outrigger (m)		Wall Frame (Kg,m)	Ber-outrigger (Kg,m)	
30	0,26299	0,20582	21,74	17522472	13887718	20,74
40	0,58845	0,47752	18,85	25400000	21902869	13,77
50	0,74472	0,61374	17,59	26400000	24800000	6,06

Tabel 4.4 (b)

Struktur Bertantai	Simpangan		Reduksi %	Momen		Reduksi %
	Wall Frame (m)	Ber-outrigger (m)		Wall Frame (Kg,m)	Ber-outrigger (Kg,m)	
30	0,23057	0,17251	25,18	14833924	12238275	17,50
40	0,42879	0,36826	14,12	19295725	18130508	6,04
50	0,49884	0,46971	5,84	19100000	19100000	0,00

Tabel 4.5 (b)

Tabel 4.2(b) – 4.4(b) Reduksi Simpangan dan Momen Core Arah Y

2. Dari reduksi simpangan dan momen pada pemasangan outrigger ditengah tinggi struktur berdasarkan rumus $1/(n+1)$ dari ketinggian struktur yang biasa dipakai untuk fleksibilitas outrigger yang kecil (= outrigger kaku) nampak bahwa outrigger berpotensi untuk mengurangi simpangan dan momen terlihat dari reduksi yang terjadi.
3. Kelangsingan struktur mempengaruhi besarnya reduksi simpangan dan momen. Dari tabel terlihat bahwa semakin langsing struktur semakin kecil reduksi yang terjadi. Hal ini dapat dilihat dari hasil reduksi yang terjadi

pada struktur 50 lantai sebagai struktur paling langsing (masing-masing struktur dipasang 1 outrigger dengan fleksibilitas yang berbeda)

4. Untuk mendapatkan reduksi simpangan dan momen yang optimal perlu diperhatikan kelangsingan struktur dan fleksibilitas outrigger dimana pada tabel terlihat bahwa tinggi struktur yang berbeda dengan nilai fleksibilitas yang berbeda ternyata memberikan reduksi yang berbeda.
5. Tujuan utama pemasangan outrigger adalah untuk mereduksi simpangan. Pada analisa momen pada dasar core juga tereduksi dengan prosentase reduksi yang lebih rendah dibanding reduksi pada simpangan yang berarti setiap pemasangan outrigger akan mereduksi simpangan dan momen
6. Hasil reduksi pada analisa awal ini dapat dijadikan dasar bahwa setiap pemasangan outrigger pada tempatnya yang optimal di struktur diperkirakan mampu memberikan reduksi simpangan dan momen secara lebih maksimal (dibahas pada sub bab 4.6)

4.6 Pengaruh Fleksibilitas Outrigger Terhadap Letak Optimal

4.6.1 Penjelasan Singkat

Efektif atau tidaknya pemasangan outrigger untuk memperkaku struktur ditentukan oleh (1) dimensi dari kolom, core dan outrigger yang membentuk kekakuan outrigger atau fleksibilitas outrigger dan (2) letak optimal dari outrigger pada struktur serta (3) jumlah outrigger yang dipasang pada struktur.

Sub bab ini akan membahas hubungan antara fleksibilitas outrigger dan letak optimalnya. Berdasarkan hasil studi terhadap struktur yang memakai outrigger dan dibebani beban angin menunjukkan bahwa letak optimal outrigger untuk mengurangi simpangan struktur sangat ditentukan oleh fleksibilitas outrigger yang terpasang.

Untuk selanjutnya dalam tugas akhir dipakai pengertian bahwa letak optimal outrigger adalah letak outrigger pada struktur yang paling besar mereduksi simpangan struktur saja. Untuk parameter lain tidak dicari letak optimal dari outrigger.

4.6.2 Metoda

Untuk dapat memperoleh hubungan fleksibilitas dan letak optimal outrigger maka dilakukan simulasi komputer terhadap letak outrigger pada struktur dengan menggeser-geser satu outrigger dengan tiga nilai fleksibilitas yang berbeda sepanjang pertengahan tinggi struktur 30 dan 40 lantai.

Penggeseran outrigger hanya dilakukan sepanjang pertengahan tinggi karena berdasarkan perkiraan menurut rumus $1/(n+1)$ yang didekati dengan memasang outrigger disekitar tinggi perkiraan optimal outrigger.

4.6.3 Hasil Analisa dan Pembahasan

Hasil analisa ditunjukkan pada tabel 4.6 sampai 4.11 sbb :

Untuk $\omega = 0,0842$

30 Lantai		
Letak outrigger di lantai	Simpangan (Kg.m)	Momen (Kg.m)
20	0,47587	42084526
19	0,47320	41458787
18	0,47195	40792020
17	0,47223	40100407
16	0,47410	39378858
15	0,47767	38649981
14	0,48360	37929110
13	0,49020	37229851
12	0,49935	36549972
11	0,51055	35922054

Tabel 4.6

40 Lantai		
Letak outrigger di lantai	Simpangan (Kg.m)	Momen (Kg.m)
25	0,91527	62894333
24	0,91159	62448998
23	0,90840	61953075
22	0,90575	61408425
21	0,90366	60816775
20	0,90219	60182058
19	0,90139	59510454
18	0,90132	58803925
17	0,90203	58070888
16	0,90360	57314708

Tabel 4.7

Untuk $\omega = 0,0637$

30 Lantai		
Letak outrigger di lantai	Simpangan (Kg.m)	Momen (Kg.m)
20	0,46200	41673515
19	0,45879	40999609
18	0,45706	40278861
17	0,45692	39527487
16	0,45845	38741318
15	0,46175	37944221
14	0,46691	37152998
13	0,47401	36382069
12	0,48318	35627997
11	0,49452	34922783

Tabel 4.8

40 Lantai		
Letak outrigger di lantai	Simpangan (Kg.m)	Momen (Kg.m)
25	0,90202	62702883
24	0,89798	62217588
23	0,89447	64676365
22	0,89154	61081092
21	0,88924	60433776
20	0,88760	59738923
19	0,88668	59003516
18	0,88655	58230209
17	0,88726	57127982
16	0,88890	56600367

Tabel 4.9

Tabel 4.6 – 4.9 Penggeseran Outrigger Untuk Letak Optimalnya

Dari hasil analisa dapat dilakukan pembahasan dan pembuatan kesimpulan sebagai berikut :

1. Fleksibilitas outrigger mempengaruhi letak optimal outrigger pada struktur yang tujuan utamanya untuk mengurangi simpangan.
2. Semakin fleksibel outrigger maka letak optimal outrigger untuk mendapatkan reduksi yang besar semakin menuju ke letak yang lebih tinggi atau menuju puncak struktur dan sebaliknya. Pada tabel dapat dilihat, sebagai contoh struktur 30 lantai dimana untuk nilai fleksibilitas yang paling besar outrigger yang optimal berada pada tingkat 18 sedangkan untuk nilai fleksibilitas terkecil letak outrigger terletak pada tingkat 16.
3. Fleksibilitas outrigger mempengaruhi besarnya reduksi pada waktu outrigger diletakkan di tempat optimalnya. Nampak bahwa reduksi simpangan dan momen base core yang diberikan oleh outrigger dengan

nilai fleksibilitas lebih tinggi lebih rendah dibandingkan apabila nilai fleksibilitasnya lebih rendah. Hal ini berarti fleksibilitas outrigger mempengaruhi kekakuan struktur

Untuk $w = 0,04$

Struktur 30 Lantai			Struktur 40 Lantai		
Letak outrigger di lantai	Simpangan (Kg.m)	Momen (Kg.m)	Letak outrigger di lantai	Simpangan (Kg.m)	Momen (Kg.m)
20	0,44445	41144215	25	0,88105	62342902
19	0,44082	40423052	24	0,87695	61817958
18	0,43869	39646274	23	0,87344	61231624
17	0,43827	38833623	22	0,87056	60583769
16	0,43772	37980429	21	0,86832	59875248
15	0,44284	37111346	20	0,86685	59115388
14	0,44863	36243940	19	0,86620	58309545
13	0,45530	35392877	18	0,86583	57464040
12	0,46477	34553849	17	0,86560	56584570
11	0,47657	33754720	16	0,86781	55675586

Tabel 4.10

Tabel 4.11

Tabel 4.10 – 4.11 Pergeseran Outrigger Untuk Letak Optimalnya

- Reduksi yang terjadi pada saat outrigger diletakkan pada letak optimalnya adalah yang paling besar, tetapi hanya untuk simpangan struktur saja. Sedangkan untuk reduksi momen belum tentu terjadi pada letak optimal outrigger karena akan berhubungan dengan karakteristik struktur outrigger yang lain yang dibahas pada sub bab 4.8. Sebagai gambaran awal pada tabel dapat dilihat bahwa untuk letak outrigger pada struktur yang rendah ternyata mempunyai reduksi momen base core yang lebih tinggi untuk letak outrigger yang lebih tinggi pada struktur
- Dengan fleksibilitas outrigger yang sama, semakin langsing bangunan, pengurangan simpangan dan momen base lebih kecil dibanding struktur yang lebih rendah

4.7. Pengaruh Jumlah Outrigger Yang Terpasang

4.7.1 Penjelasan Singkat

Pemasangan outrigger pada struktur dapat dilakukan lebih dari satu buah. Tujuannya tetap sama yaitu untuk meningkatkan kekakuan struktur dalam usaha

Jumlah Outrigger	Letak tiap Outrigger dari Puncak Struktur	Struktur	
		40 Lt. (ft)	50 Lt. (ft)
1	X1=0,2857 kali tinggi	23	29
2	X1=0,2857 kali tinggi	29	36
	X2=0,6429 kali tinggi	14	18
3	X1=0,2286 kali tinggi	31	36
	X2=0,5143 kali tinggi	19	24
	X3=0,7286 kali tinggi	11	14
4	X1=0,2000 kali tinggi	32	40
	X2=0,4214 kali tinggi	23	29
	X3=0,6143 kali tinggi	15	19
	X4=0,7846 kali tinggi	9	11

Tabel 4.12 Perkiraan letak optimal Outrigger

untuk mengurangi simpangan dan momen core. Dalam hal tersebut sampai saat ini masih belum ada penjelasan mengenai berapa peningkatan kekakuan atau berapa peningkatan reduksi yang dapat terjadi apabila dilakukan pemasangan 1, 2, 3 outrigger dan seterusnya pada struktur.

Analisa pada sub bab ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat peningkatan reduksi terhadap simpangan struktur dan momen base core dari pemasangan lebih dari satu outrigger.

Besarnya angka-angka yang menunjukkan reduksi tidak berarti bahwa angka tersebut menjadi pedoman bagi pemakaian outrigger, tetapi dari situ dapat dilihat bagaimana karakteristik yang dapat terjadi dari pemasangan lebih dari satu outrigger.

4.7.2 Metoda

Dilakukan analisa pada struktur 40 dan 50 lantai yang dipasang sampai dengan 4 outrigger dengan nilai fleksibilitas outrigger yaitu $\omega = 0,05$ yang sama untuk outrigger kedua struktur untuk didapatkan hasil yang dapat diperbandingkan.

Outrigger yang dipasang akan diletakkan pada perkiraan letak optimalnya dengan memakai bantuan grafik fleksibilitas – letak optimal seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada gambar 2.5 pada Bab II. Letak outrigger pada struktur yang dihasilkan dari grafik ini bersifat mendekati letak optimalnya.

4.7.3 Hasil Analisa dan Pembahasan

Dilakukan analisa terhadap besar reduksi yang terjadi dari pemasangan 1 – 4 outrigger dan peningkatan reduksi dari penambahan outrigger untuk simpangan struktur dan momen base core.

Selain itu diamati gaya geser lantai dan gaya geser core yang terjadi dari peningkatan pemasangan jumlah outrigger dalam struktur. Hasil simulasi komputer sebagai berikut :

40 Lantai $\omega = 0,05$

Jumlah Out-Rigger	Drift (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)	Reduksi Drift %	Selisih %	Reduksi Momen %	Selisih %
1	0,88843	61456847	1359472,44	1281975	15,68	-	4,45	-
2	0,79781	55457523	1385459,06	1308373	24,28	8,13	13,78	9,33
3	0,75319	51976682	1415211,49	1337658	28,51	4,23	19,19	5,41
4	0,72819	49360055	1436543,97	1358715	30,06	1,55	23,26	4,07

Tabel 4.13

50 Lantai $\omega = 0,05$

Jumlah Out- Rigger	Drift (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)	Reduksi Drift %	Selisih %	Reduksi Momen %	Selisih %
1	0,98710	63328754	1816164,19	1539315	5,19	-	0,64	-
2	0,93687	61882990	1838585,89	1558621	10,01	4,82	2,91	3,55
3	0,89788	59517958	1855327,78	1573486	13,76	3,75	6,62	3,71
4	0,87549	56871072	1877365,29	1593058	15,91	2,15	10,77	4,15

Tabel 4.14

Tabel 4.13 - 4.14 Output Pemasangan 1 – 4 Outrigger

Pembahasan dan kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut :

1. Jumlah outrigger yang dapat dipasang mempengaruhi kekakuan struktur dimana semakin banyak outrigger struktur semakin kaku sehingga reduksi terhadap simpangan dan momen dapat semakin besar
2. Semakin banyak outrigger yang dipasang semakin kecil pengurangan atau reduksi yang dapat dilakukan atau dengan efisiensi dari penambahan outrigger untuk mereduksi simpangan maupun momen core menurun
3. Dari prosentase yang dapat dilihat pada tabel bahwa reduksi yang dapat terjadi cukup besar dimana dengan data struktur yang ada dapat diperoleh reduksi sampai dengan 30% untuk simpangan dan 23 % untuk momen
4. Dengan bertambahnya jumlah outrigger yang dipasang ternyata meningkatkan gaya geser lantai yang terjadi. Sebagai contoh gaya geser lantai pada struktur yang memakai 4 outrigger lebih besar 5,67% dari struktur yang hanya memakai 1 outrigger pada struktur 40 lantai dan untuk struktur 50 lantai lebih besar 3,37%.
5. Dengan alasan yang sama seperti no. 4 hal yang sama juga terjadi pada gaya geser core. Sebagai contoh gaya geser core pada struktur yang

memakai 4 outrigger terhadap yang hanya memakai 1 outrigger maka terdapat kelebihan 5,99% untuk struktur 40 lantai dan 3,49% untuk struktur 50 lantai.

6. Dengan fleksibilitas outrigger yang sama, semakin langsing bangunan, pengurangan simpangan dan momen base core lebih kecil dibandingkan yang terjadi pada struktur yang lebih rendah.
7. Gaya geser core dan geser lantai untuk struktur yang memakai outrigger lebih dari satu atau lebih adalah lebih besar daripada struktur konvensional. Besarnya perbedaan tersebut ditabel sbb :

	Struktur 40 lantai	Struktur 50 lantai
Gaya geser lantai	8,05%	4,98%
Gaya geser core	8,47%	5,11%

4.8 Pengaruh Letak Outrigger Terhadap Simpangan dan Momen

4.8.1 Penjelasan Singkat

Dari kesimpulan sub bab 4.6 yang menyatakan bahwa pada letak optimal outrigger terjadi reduksi simpangan struktur yang paling besar, tetapi tidak untuk reduksi momen base core.

Pada tabel 4.6 – 4.11 diamati bahwa outrigger yang diletakkan semakin menuju ke arah dasar struktur menunjukkan peningkatan terhadap reduksi momen base core. Hal ini berkebalikan apabila outrigger diletakkan dengan arah menuju puncak struktur.

Jadi sebagai kesimpulan awal dapat dijelaskan bahwa pada letak outrigger yang optimal hanya simpangan struktur yang paling besar reduksinya sedangkan momen base core berada beberapa tingkat dibawahnya. Untuk akan dilihat sampai dimana pengurangan momen base core ini terjadi.

4.8.2 Metoda

Analisa dilakukan dengan menggeser letak outrigger mulai dari puncak struktur sampai dasar struktur. Analisa ini dilakukan pada struktur 30, 40 dan 50 lantai yang dipasang 1 buah outrigger.

Nilai fleksibilitas outrigger yang dipasang di struktur 30 dan 40 lantai adalah sama supaya perlakuannya sama dan outputnya dapat diperbandingkan. Untuk struktur 50 lantai diberikan nilai fleksibilitas outrigger yang berbeda untuk mendapat data pembanding terhadap nilai fleksibilitas outrigger yang berbeda.

4.8.3 Hasil Analisa dan Pembahasan

Hasil Simulasi komputer pada tabel 4.15 – 4.17 menunjukkan hasil penggeseran outrigger disepanjang ketinggian atau tingkat struktur. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan sbb :

1. Letak outrigger yang optimal untuk mengurangi simpangan adalah pada ketinggian atau lantai tertentu dari struktur. Seperti hasil simulasi pada tabel diketahui letak optimal outrigger untuk struktur 30 lantai di lantai 17, struktur 40 lantai di lantai 18 dan struktur 50 lantai di lantai 17.
2. Semakin menuju ke bawah letak outrigger semakin besar reduksi momen yang terjadi sampai beberapa lantai dari dasar sebelum akhirnya momen membesar kembali. Tampak untuk reduksi momen terbesar adalah

outrigger pada lantai 6 untuk struktur 30 lantai, lantai 5 untuk struktur 40 lantai dan lantai 4 untuk struktur 50 lantai.

3. Perbedaan reduksi momen antara outrigger yang diletakkan dilokasi optimal untuk mengurangi simpangan dan outrigger di lokasi optimal untuk mengurangi momen adalah 22,09% untuk struktur 30 lantai; 20,15% untuk struktur 40 lantai dan 17,24% untuk struktur 50 lantai.
4. Simpangan struktur yang kecil hanya terdapat disekitar letak optimal outrigger setelah itu ke atas maupun ke bawah simpangan semakin membesar berbeda dengan momen yang mana pemasangan outrigger yang semakin mendekati dasar struktur memperkecil momen base.
5. Jadi pada letak outrigger yang optimal hanya simpangan struktur yang tereduksi paling besar, sehingga istilah letak optimal lebih untuk menerangkan letak outrigger yang mampu mereduksi simpangan terbesar.
6. Dari poin-poin di atas maka untuk perencanaan perlu ditentukan terlebih dahulu mana yang diinginkan untuk direduksi, simpangan struktur dan atau momen base core

Struktur 30 Lantai

Letak Outrigger di Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)
1	0,71552	40660581
2	0,69254	36528337
3	0,66540	34100871
4	0,63778	32927345
5	0,61108	32423539
6	0,58605	32375142
7	0,56309	32632214
8	0,54239	33070850
9	0,52407	33629625
10	0,50812	34254260
11	0,49452	34922783
12	0,48318	35627997
13	0,47401	36382069
14	0,46691	37152998
15	0,46175	37944221
16	0,45845	38741318
17	0,45692	39527487
18	0,45706	40278861
19	0,45879	40999609
20	0,46200	41673515
21	0,46658	42292951
22	0,47240	42863618
23	0,47931	43373586
24	0,48717	43835780
25	0,49581	44251237
26	0,50508	44622297
27	0,51479	44952340
28	0,52483	45238675
29	0,53502	45497169
30	0,55442	46149633

Tabel 4.15

Struktur 40 Lantai

Letak Outrigger di Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)
1	1,04739	55746702
2	1,03444	51970008
3	1,01870	49706221
4	1,00241	48757537
5	0,98641	48465554
6	0,97122	48629346
7	0,95711	49080845
8	0,94424	49725140
9	0,93271	50492730
10	0,92255	51335144
11	0,91376	52216602
12	0,90632	53110344
13	0,90018	54003095
14	0,89528	54884908
15	0,89155	55751466
16	0,88890	56600367
17	0,88726	57417982
18	0,88655	58230209
19	0,88668	59003516
20	0,88760	59738923
21	0,88924	60433776
22	0,89154	61081092
23	0,89447	61676365
24	0,89798	62217588
25	0,90202	62702883
26	0,90656	63133770
27	0,91157	63511947
28	0,91700	63840159
29	0,92281	64121934
30	0,92895	64359618
31	0,93538	64557251
32	0,94205	64717878
33	0,94889	64843183
34	0,95586	64938160
35	0,96289	65006089
36	0,96992	65051000
37	0,97687	65076988
38	0,98637	65088729
39	0,99034	65089541
40	1,00660	65397727

Tabel 4.16

Struktur 50 Lantai

Letak Outrigger di Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)
1	1,04348	55890322
2	1,03669	53322830
3	1,02889	52075453
4	1,02108	51857959
5	1,01363	52141959
6	1,00677	52733540
7	1,00002	53492857
8	0,99522	54336293
9	0,99058	55208459
10	0,98669	56073203
11	0,98351	56906942
12	0,98101	57695073
13	0,97911	58429340
14	0,97778	59106111
15	0,97694	59725123
16	0,97656	60288526
17	0,97655	60799880
18	0,97689	61263288
19	0,97752	61682730
20	0,97840	62061842
21	0,97948	62404096
22	0,98074	62712850
23	0,98214	62991155
24	0,98367	63241628
25	0,98529	63466206
26	0,98700	63666565
27	0,98876	63743338
28	0,99057	63997371
29	0,99241	64130366
30	0,99428	64243901
31	0,99617	64339519
32	0,99809	64418807
33	1,00002	64483101
34	1,00197	64533749
35	1,00343	64572017
36	1,00590	64599150
37	1,00789	64616163
38	1,00989	64624043
39	1,01189	64623750
40	1,01390	64616286
41	1,01592	64602680
42	1,01792	64584036
43	1,01992	64561357
44	1,02189	64535775

45	1,02383	64508427
46	1,02572	64480529
47	1,02754	64453323
48	1,02928	64427975
49	1,03095	64405170
50	1,03467	64363436

Tabel 4.17

Tabel 4.15 – 4.17 Pengaruh Letak Outrigger

4.9 Pengaruh Pemasangan Outrigger Pada Lantai Optimal

4.9.1 Penjelasan Singkat

Pada letak optimal outrigger akan dianalisa bagaimana reduksi terhadap simpangan struktur dan momen base core dibandingkan dengan struktur wall frame. Selain itu juga dianalisa bagaimana pengaruhnya pada gaya geser core dan gaya geser lantai.

Simpangan struktur merupakan parameter utama yang diusahakan untuk direduksi besarnya karena dengan semakin mengecilnya simpangan berarti struktur akan lebih stabil dan aman. Hal tersebut dapat dipahami karena simpangan struktur dapat mengakibatkan P-delta efek.

Untuk struktur tinggi yang langsing, simpangan yang besar dapat mengakibatkan P-delta efek yang terjadi juga besar sehingga dengan mengecilnya simpangan, P-delta efek yang terjadi juga mengecil sehingga struktur lebih aman. Selain P-delta, mengecilnya simpangan struktur berarti elemen struktur yang didesain dapat lebih kecil yang berarti lebih hemat karena kerja elemen lebih sedikit karena regangan dan tegangan yang terjadi lebih kecil.

Momen base core diamati karena parameter ini secara teoritis dapat diperkecil dengan pemasangan outrigger pada struktur tidak tergantung dimana meletakkannya. Besarnya pengurangan momen base core penting untuk diketahui karena nilainya mempengaruhi desain kekuatan struktur bawah. Semakin kecil nilainya semakin kecil pula kekuatan struktur bawah yang didesain, dengan kata lain terjadi penghematan untuk struktur. Selain itu bentuk momen envelope core dari puncak sampai dasar/base struktur perlu diketahui apakah sesuai teori atau mempunyai bentuk lain karena beban yang berbeda antara yang ada pada referensi dan analisa yang dilakukan untuk Tugas Akhir ini.

Gaya geser core diamati untuk mengetahui apakah terjadi pengurangan besar gaya yang terjadi atau tidak pada struktur beroutrigger. Untuk mengetahui apakah gaya-gaya tersebut semakin membesar secara linier dari puncak menuju dasar struktur atukah mempunyai pola lain karena pemasangan outrigger pada struktur sehingga pada level outrigger dipasang terjadi anomali perilaku gaya geser.

Gaya geser lantai diamati untuk mengetahui apakah ada pengurangan atau perilaku yang berbeda, yang terjadi pada struktur, baik pada level dipasangnya outrigger atau pada level-level lainnya.

Besarnya tiap-tiap parameter dibandingkan antar struktur yang berbeda tingginya dan dibandingkan juga dengan struktur wall frame (struktur yang lebih konservatif) supaya kita mengetahui sampai seberapa besar nilai pengurangan dan perbedaan perilaku dengan dipasangnya outrigger.

Hasil dari tiap tabel digrafikkan untuk parameter momen base core, simpangan struktur dan gaya geser per tingkat yang dapat dilihat pada bagian lampiran laporan Tugas Akhir ini. Penggrafikan dilakukan untuk mempermudah pengamatan dalam melihat perbedaan yang ada dan untuk mengetahui bentuk momen core struktur apakah sama dengan teori yang ada pada buku referensi.

4.9.2 Metode

Dengan menggunakan hasil dari sub bab 4.6 yaitu letak optimal untuk nilai fleksibilitas tertentu maka data letak optimal ini akan disimulasi kembali untuk melihat parameter-parameter yang akan diamati untuk struktur 30, 40 dan 50 lantai.

4.9.3 Hasil Analisa dan Pembahasan

Tabel dibawah ini dan Grafik di lampiran akan menjelaskan beberapa pembahasan sebagai berikut :

1. Besarnya simpangan setiap lantai antara struktur konvensional dan struktur outrigger tidak menunjukkan perbedaan dimana simpangan struktur pada keduanya adalah tipikal simpangan sistem kantilever.
2. Apabila diamati besarnya momen pada core maka dapat dideskripsikan sebagai berikut ; dari puncak struktur menuju letak lantai optimal outrigger momen membesar kemudian tepat pada tingkat dimana outrigger terpasang momen mulai tereduksi dan hal ini terjadi sampai beberapa lantai dibawahnya sampai akhirnya kembali membesar dan terulang kembali pengecilan momen apabila dipakai outrigger lebih dari 1 buah.
3. Tampak bahwa untuk pemasangan outrigger di lokasi optimalnya ternyata memberikan reduksi simpangan yang lebih besar daripada penempatan outrigger pada sembarang lokasi ketinggian bangunan. Dari hasil analisa struktur yang dipasangi satu outrigger didapatkan reduksi simpangan untuk struktur 30 lantai sebesar 37,1% ; struktur 40 lantai sebesar 15,85% ; dan struktur 50 lantai sebesar 6,2%. Untuk struktur yang dipasangi dua outrigger didapatkan reduksi simpangan sebesar 24,28% untuk struktur 40 lantai dan 10,01% untuk struktur 50 lantai.

4. Untuk reduksi momen pada dasar struktur tidak dapat mencapai nilai reduksi maksimal pada letak optimal outrigger karena reduksi momen terbesar adalah letak yang mendekati dasar struktur yang tidak sejalan dengan usaha meletakkan outrigger pada lokasi yang mampu mereduksi simpangan yang maksimal. (Telah dibahas pada sub bab 4.8)
5. Gaya geser lantai semakin besar dari puncak struktur menuju ke dasar struktur dan pada tingkat outrigger dipasang tidak ada pembesaran gaya geser lantai.
6. Gaya geser lantai yang terjadi di dasar struktur pada struktur ber-outrigger lebih besar daripada yang terjadi pada struktur konvensional (wall frame). Perbedaan besar gaya geser pada dasar struktur ini secara berurutan adalah 1,34% ; 1,23% ; 0,74% untuk struktur 30, 40 dan 50 lantai. (Perbedaan ini untuk struktur 1 outrigger). Selisih perbedaan dapat dikategorikan kecil.
7. Gaya geser core terbesar terjadi pada lantai dimana terletak outrigger. Sebagai contoh pada struktur bersistem 1 outrigger gaya geser core pada level outrigger secara berurutan lebih besar 57,6% ; 46,24% ; 41% untuk struktur 30,40 dan 50 lantai yang dibandingkan terhadap gaya geser core yang terjadi di dasar struktur. Selisih ini dapat dikategorikan besar.
8. Gaya geser core di dasar struktur yang terjadi pada struktur ber-outrigger lebih besar daripada yang terjadi pada struktur konvensional. Perbedaan besar gaya geser pada dasar struktur ini secara berurutan adalah 1,42% ; 1,38% ; 0,78% untuk struktur 30, 40 dan 50 lantai. (Perbedaan ini untuk struktur 1 outrigger). Selisih perbedaan dapat dikategorikan kecil.
9. Pada struktur 40 dan 50 lantai yang dipasang 2 outrigger diketahui hasil sbb :
 - Gaya geser core pada level outrigger yang letaknya lebih tinggi lebih kecil dari level outrigger yang ada dibawahnya. Secara berurutan terdapat perbedaan sebesar 18,38% dan 32,9% untuk struktur 40 dan 50 lantai.

Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)
40	0,88655	1370854	86713,13	76900
39	0,85976	2041072	177518,52	90017
38	0,83279	2584972	259443,38	113844
37	0,80570	2934065	333125,40	158776
36	0,77843	3162812	399424,25	206340
35	0,75099	3315475	459378,60	253147
34	0,72337	3447508	514106,64	296933
33	0,69559	3618932	564689,12	338497
32	0,66767	3892912	612056,51	378459
31	0,63964	4325861	656908,19	417447
30	0,61154	4956526	699681,80	455820
29	0,58343	5802247	740577,20	493709
28	0,55536	6864139	779623,95	531087
27	0,52739	8135201	816770,77	567881
26	0,49962	9606385	851972,51	604096
25	0,47210	11269609	885254,13	639789
24	0,44495	13120084	916740,05	675429
23	0,41826	15153062	946646,95	710506
22	0,39213	17380503	975247,65	749101
21	0,36668	19761089	1002819,69	776544
20	0,34204	22496512	1029597,58	855803
19	0,31834	24768039	1055735,74	724174
18	0,29588	9630256	1091192,80	1857071
17	0,27559	7911600	1117025,70	1028216
16	0,25327	7459036	1141829,86	895450
15	0,23090	8263239	1165470,19	945237
14	0,20853	10644757	1187721,64	950318
13	0,18638	12435056	1208601,19	968623
12	0,16460	15183815	1228188,90	985562
11	0,14336	18174943	1246604,15	1005136
10	0,12285	21355177	1263935,97	1026566
9	0,10324	24704562	1280180,61	1050191
8	0,08472	28219466	1295206,20	1075905
7	0,06747	31905088	1308757,77	1103548
6	0,05169	35771678	1320504,63	1132946
5	0,03758	39831631	1330120,57	1163725
4	0,02537	44102681	1337378,56	1196715
3	0,01526	48590434	1342237,93	1228474
2	0,00749	53363576	1344907,15	1275107
1	0,00231	58230209	1345860,65	1289879

Tabel 4.18 Struktur Satu Outrigger 40 Lantai

Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)
40	1,05359	1797808	86333,00	93021
39	1,02451	2816960	176569,88	122261
38	0,99520	3739664	257810,96	133735
37	0,96573	4458207	330711,41	154214
36	0,93601	5035285	396159,51	187696
35	0,90603	5486981	455233,48	223943
34	0,87576	5833086	509105,53	258996
33	0,84519	6088212	558916,62	292682
32	0,81432	6266635	605659,03	325223
31	0,78316	6384182	650092,08	357068
30	0,75171	6460368	692706,96	388463
29	0,72000	6519668	733743,04	419429
28	0,68805	6591727	773250,53	449818
27	0,65591	6710047	811177,81	479422
26	0,62362	6909043	847456,16	508083
25	0,59121	7220000	882061,12	535751
24	0,55875	7667270	915040,65	562518
23	0,52629	8266313	946512,09	588593
22	0,49389	9024316	976629,64	614248
21	0,46163	9942567	1005539,27	639749
20	0,42958	11019283	1033341,13	665299
19	0,39781	12251773	1060070,11	691014
18	0,36642	13637634	1085698,30	716932
17	0,33548	15175246	1110159,08	743047
16	0,30511	16863950	1133388,50	769369
15	0,27540	18704187	1155360,57	795974
14	0,24645	20697708	1176110,99	823030
13	0,21839	22847843	1195734,18	850789
12	0,19133	25159780	1214354,77	879544
11	0,16540	27640722	1232081,48	909571
10	0,14073	30299868	1248953,47	941062
9	0,11748	33148199	1264898,10	974083
8	0,09578	36198136	1279716,33	1008571
7	0,07581	39463097	1293101,83	1044360
6	0,05772	42957411	1304696,03	1081320
5	0,04171	46695326	1314165,01	1119169
4	0,02797	50694956	1321289,24	1158793
3	0,01670	54965661	1326043,02	1197064
2	0,00812	59563039	1328646,38	1249325
1	0,00246	64318251	1329573,30	1252660

Tabel 4.19 Struktur Wall Frame 40 Lantai

- Gaya geser core dan geser lantai di dasar struktur untuk struktur ber-outrigger lebih besar dari struktur konvensional. Selisih beda tersebut ditabelkan sbb :

	Struktur 40 lantai	Struktur 50 lantai
Gaya geser core	4,45%	2,84%
Gaya geser lantai	4,20%	2,81%

Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)
30	0,45692	279256	83775,74	53532
29	0,43755	536947	167914,15	125316
28	0,41811	1106276	239915,89	186606
27	0,39865	1926742	301046,29	246808
26	0,37919	2945116	353021,87	296252
25	0,35979	4128957	397775,05	339824
24	0,34048	5454763	437146,39	378553
23	0,32135	6908174	472625,96	414267
22	0,30247	8478895	505236,85	447464
21	0,28392	10166740	535592,57	480486
20	0,26581	11949061	564075,46	506813
19	0,24825	13902380	591034,81	553205
18	0,23134	15718286	616898,25	517284
17	0,21530	9216610	649177,30	1421959
16	0,20107	7468538	675351,30	677020
15	0,18480	6220896	701098,57	633222
14	0,16822	5646675	726279,37	673738
13	0,15144	6082631	750688,61	691523
12	0,13466	7441412	774134,15	715225
11	0,11803	9400040	796494,60	737034
10	0,10173	11722261	817740,14	759035
9	0,08595	14283550	837887,13	780713
8	0,07087	17022421	856900,37	802214
7	0,05669	19906927	874588,79	823310
6	0,04360	22919317	890554,52	843656
5	0,03181	26047855	904238,51	862569
4	0,02154	29285632	915066,26	880029
3	0,01299	32619223	922653,00	893587
2	0,00640	36067062	927004,94	911439
1	0,00198	39527487	928637,55	912266

Tabel 4.20 Struktur Satu Outrigger 30 Lantai

- Gaya geser core dan lantai di dasar struktur pada struktur yang dipasang 2 outrigger lebih besar dibandingkan yang terjadi pada struktur yang dipasang 1 outrigger, sbb :

	Struktur 40 lantai	Struktur 50 lantai
Gaya geser core	3,03%	2,04%
Gaya geser lantai	2,94%	2,06%

Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)
30	0,72643	823731	84463,58	82839
29	0,69596	1215609	169043,65	110257
28	0,66535	1641070	241128,22	158715
27	0,63464	2100502	301982,72	210664
26	0,60381	2655049	353338,23	253133
25	0,57289	3311799	397167,31	290689
24	0,54189	4065482	435380,22	323590
23	0,51086	4907579	469558,87	353676
22	0,47983	5832174	500822,08	381879
21	0,44886	6836636	529861,54	408814
20	0,41802	7920591	557105,31	434794
19	0,38739	9085195	582910,81	460120
18	0,35704	10332894	607688,90	485184
17	0,32707	11667604	631909,97	510463
16	0,29757	13094971	656008,82	536394
15	0,26866	14622237	680256,38	563226
14	0,24044	16257561	704679,43	590940
13	0,21303	18009183	729075,96	619270
12	0,18657	19884551	753116,91	647836
11	0,16120	21889719	776476,21	676294
10	0,13704	24029181	798918,32	704412
9	0,11427	26306036	820298,81	732071
8	0,09302	28722289	840482,26	759172
7	0,07348	31278913	859228,31	785495
6	0,05582	33976039	876118,12	810678
5	0,04021	36812177	890578,98	834060
4	0,02686	39786235	902020,28	855603
3	0,00595	42889153	910042,18	873038
2	0,00769	46138236	914649,09	894016
1	0,00229	49444359	916380,05	899601

Tabel 4.21 Struktur Wall Frame 30 Lantai

Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)
50	0,97655	1753776	88665,18	84507
49	0,95519	2774097	184714,54	98832
48	0,93367	3608499	274221,16	102478
47	0,91201	4228144	357424,27	110947
46	0,89016	4679709	434662,76	151491
45	0,86810	4993150	506381,81	195092
44	0,84582	5194979	573113,73	236476
43	0,82331	5307045	635445,90	274671
42	0,80056	5348642	693979,59	309814
41	0,77756	5332638	749286,31	342394
40	0,75434	5276882	801868,71	372952
39	0,73089	5195761	852132,41	401972
38	0,70723	5106718	900372,75	429826
37	0,68337	5030440	946778,03	456767
36	0,65935	4991256	991447,03	482948
35	0,63518	5016190	1034416,68	508459
34	0,61089	5132313	1075693,89	533369
33	0,58650	5362934	1115285,46	557774
32	0,56206	5724286	1153221,09	581820
31	0,53760	6224565	1189566,15	605724
30	0,51316	6865792	1224423,12	629771
29	0,48878	7647122	1257922,99	654326
28	0,46450	8568381	1290207,05	679651
27	0,44038	9630924	1321411,45	707098
26	0,41647	10842741	1361703,95	743750
25	0,39282	12223615	1391529,71	775699
24	0,36951	13786621	1420454,12	809123
23	0,34660	15547963	1448467,44	845713
22	0,32417	17524336	1475543,55	884661
21	0,30230	19758319	1501658,85	932155
20	0,28108	22166286	1526810,39	955393
19	0,26064	25464987	1551032,45	1157927
18	0,24100	25230692	1574388,65	1193426
17	0,22288	7682326	1597070,92	2153671
16	0,20521	7637666	1619108,60	1233773
15	0,18698	8835394	1640370,09	1062854
14	0,16890	10807550	1660821,26	1086315
13	0,15102	13159355	1680406,99	1085529
12	0,13348	15744161	1699050,11	1096019
11	0,11642	18503848	1716636,53	1111698
10	0,09995	21431828	1733011,28	1133657
9	0,08421	24544754	1747984,23	1161732
8	0,06933	27872523	1761346,49	1196124
7	0,05544	31453527	1772896,03	1237119
6	0,04269	35332993	1782469,26	1285233
5	0,03124	39562287	1789974,32	1341109
4	0,02126	44202325	1795421,42	1406415
3	0,01293	49304981	1798945,99	1478074
2	0,00645	55048958	1800823,13	1587547
1	0,00202	60799680	1801464,41	1597426

Tabel 4.22 Struktur Satu Outrigger 50 Lantai



Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)
50	1,04111	1782331	87777,66	80957
49	1,01969	2838979	182753,90	86371
48	0,99811	3718533	271145,16	96656
47	0,97637	4392258	353198,91	112645
46	0,95445	4906897	429268,63	150366
45	0,93232	5291940	499622,86	191496
44	0,90994	5572878	565427,47	230570
43	0,88732	5769841	626713,61	266483
42	0,86444	5898576	684334,91	299327
41	0,84131	5971411	738920,20	329588
40	0,81791	5998434	791029,22	357830
39	0,79426	5988725	871118,31	384555
38	0,77036	5951488	889521,11	410141
37	0,74623	5896938	936446,69	434825
36	0,72189	5836820	981993,96	458706
35	0,69734	5784479	1026178,38	481791
34	0,67261	5754388	1068965,31	504031
33	0,64772	5761178	1110303,47	525372
32	0,62269	5818289	1150153,19	545785
31	0,59755	5936618	1188505,34	565299
30	0,57233	6123593	1225389,06	583999
29	0,54705	6383030	1260868,73	602033
28	0,52174	6715798	1295032,14	619582
27	0,49644	7120991	1327973,62	636840
26	0,47118	7597167	1359776,35	653991
25	0,44600	8143321	1390498,00	671186
24	0,42092	8759366	1420162,90	688535
23	0,39600	9446280	1448762,33	706109
22	0,37127	10206072	1476262,83	723957
21	0,34676	11041607	1502620,38	742128
20	0,32254	11956541	1527797,26	760697
19	0,29864	12955292	1551777,69	779790
18	0,27511	14043478	1574578,36	799607
17	0,25201	15228100	1596251,22	820426
16	0,22938	16518108	1616877,11	842596
15	0,20730	17924865	1636550,87	866521
14	0,18582	19462568	1655360,23	892627
13	0,16500	21148534	1673362,36	921345
12	0,14493	23003385	1690562,85	953082
11	0,12568	25051108	1706901,72	988214
10	0,10734	27319072	1722250,22	1027102
9	0,09000	29838002	1736420,23	1070119
8	0,07376	32642440	1749186,25	1117701
7	0,05874	35770525	1760317,26	1170394
6	0,04505	39265303	1769614,63	1228938
5	0,03284	43174990	1776950,87	1294195
4	0,02226	47557048	1782303,82	1368011
3	0,01348	52460591	1785782,57	1447632
2	0,00669	58058150	1787642,19	1563767
1	0,00208	63736669	1788279,83	1575646

Tabel 4.23 Struktur Wall Frame 50 Lantai

Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)
40	0,79781	715185	86653,12	72636
39	0,77434	888992	178527,21	81290
38	0,75077	997178	262466,90	139756
37	0,72712	1211724	338774,88	210664
36	0,70340	1753840	407871,28	273634
35	0,67964	2629490	470308,59	332429
34	0,65584	3775882	526759,45	386094
33	0,63207	5154413	577991,92	437416
32	0,60838	6721015	624830,36	479739
31	0,58482	8554802	668108,79	545909
30	0,56148	10247397	708613,37	499939
29	0,53853	11967971	761657,77	1309822
28	0,51663	9978309	799429,89	671355
27	0,49297	8188073	835682,96	658215
26	0,46881	6612533	870529,28	689611
25	0,44425	5546323	904020,93	709592
24	0,41943	5375985	936176,10	733607
23	0,39447	6259175	967001,30	757611
22	0,36950	7926363	996515,59	782821
21	0,34465	10066540	1024769,40	809041
20	0,32007	12509552	1051855,80	836711
19	0,29590	15177558	1077911,62	865417
18	0,27228	18048671	1103108,76	898243
17	0,24939	21079112	1127636,61	923648
16	0,22737	24425439	1151680,22	991121
15	0,20641	27441189	1175392,54	892801
14	0,18682	8320603	1207964,33	1604770
13	0,16958	8753982	1232071,12	1096844
12	0,15071	10572316	1255562,73	1056113
11	0,13206	13303607	1278068,68	1087600
10	0,11380	16520549	1299181,59	1102451
9	0,09613	20051836	1318496,17	1124146
8	0,07927	23811506	1335642,66	1146063
7	0,06343	27766388	1350322,43	1169664
6	0,04882	31904559	1362339,58	1194468
5	0,03566	36225821	1371627,05	1220490
4	0,02419	40740698	1378265,31	1248887
3	0,01463	45450082	1382492,31	1276215
2	0,00724	50424222	1384706,37	1319634
1	0,00226	55457523	1385456,34	1328373

Tabel 4.24 Struktur Dua Outrigger 40 Lantai

Lantai	Simpangan (m)	Momen (Kg.m)	Geser Lantai (Kg)	Geser Core (Kg)
50	0,93687	1281990	89114,76	54008
49	0,91617	1898731	185705,71	65950
48	0,89535	2296806	275760,16	79206
47	0,87443	2464700	359495,78	133907
46	0,85338	2459683	437225,94	192685
45	0,83220	2345570	509368,24	249281
44	0,81089	2223324	576429,02	302720
43	0,78947	2248318	638975,90	353547
42	0,76795	2584965	697601,62	402633
41	0,74636	3295575	752885,03	450754
40	0,72474	4346356	805355,03	499757
39	0,70313	5675554	855464,93	544175
38	0,68157	7378717	903573,13	625479
37	0,66013	9480038	949955,82	461289
36	0,63900	12091218	1009589,06	1056251
35	0,61853	10208994	1053638,56	612258
34	0,59678	8709868	1096026,53	717473
33	0,57454	7167522	1136631,48	709250
32	0,55495	5898938	1175406,00	718439
31	0,52908	5055784	1212378,18	727858
30	0,50601	4822340	1247655,08	739747
29	0,48283	5269816	1281408,10	754058
28	0,45960	6269081	1313846,84	771086
27	0,43641	7640362	1345186,79	791174
26	0,41332	9268822	1375617,80	814688
25	0,39043	11103582	1405279,89	841979
24	0,36783	13132042	1434251,04	873436
23	0,34559	15362542	1462549,07	909119
22	0,32381	17817937	1490146,49	951017
21	0,30261	20494166	1516994,30	988737
20	0,28208	23656547	1543050,19	1091782
19	0,26234	25726319	4568298,39	785344
18	0,24375	8848117	1568298,39	1574148
17	0,22685	7675155	1625331,58	999756
16	0,20853	7643688	1648788,84	1126327
15	0,19007	8882878	1671238,84	1100061
14	0,17169	10886009	1692640,18	1100353
13	0,15354	13288440	1712970,98	1104316
12	0,13573	15926417	1732205,07	1114671
11	0,11839	18742322	1750287,03	1131177
10	0,10166	21728822	1767115,24	1153883
9	0,08566	24903173	1782537,51	1182896
8	0,07052	28296173	1796361,81	1218389
7	0,05640	31947380	1808381,45	1260660
6	0,04344	35903300	1818411,15	1310205
5	0,03180	40216596	1826328,29	1367650
4	0,02164	44949571	1832112,74	1434665
3	0,01316	50155143	1835878,89	1508083
2	0,00657	56015687	1837896,62	1620051
1	0,00206	61882990	1838590,34	1658621

Tabel 4.25 Struktur Dua Outrigger 50 Lantai

No. Kolom	WF30N	WF40N	WF50N	OS30N1	OS40N1	OS50N1	OS40N2	OS50N2
1	-497923	-336818	-111651	-464408	-289291	-77666	-232718	-93532
2	-715343	-755195	-1066779	-477009	-621530	-1030899	-548174	-1013748
3	-715343	-755195	-1066779	-477009	-621530	-1030899	-548174	-1013748
4	-497923	-336818	-111651	-464408	-289291	-77666	-232718	-93532
5	-865248	-602064	-473759	-351833	-283369	-372782	-117003	-258652
6	-865248	-602064	-473759	-351833	-283369	-372782	-117003	-258652
7	-906661	-680731	-646184	-363126	-326124	-525500	-152295	-392781
8	-906661	-680731	-646184	-363126	-326124	-525500	-152295	-392781
9	-865248	-602064	-473759	-351833	-283369	-372781	-117003	-258652
10	-865248	-602064	-473759	-351833	-283369	-372781	-117003	-258652
11	-497923	-336818	-111651	-464408	-289291	-77666	-232718	-93532
12	-715343	-755195	-1066779	-477009	-621530	-1030899	-548173	-1013748
13	-715343	-755195	-1066779	-477009	-621530	-1030899	-548173	-1013748
14	-497923	-336818	-111651	-464408	-289291	-77666	-232718	-93532

Tabel 4.26 Gaya Aksial Kolom Pada Dasar Struktur

Contoh membaca nama di atas sbb :

- WF30N = Struktur Wall Frame 30 lantai
- OS40N1 = Struktur 1 Outrigger 40 lantai
- OS50N2 = Struktur 2 Outrigger 50 lantai

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa :

1. Gaya aksial kolom yang terjadi menjadi semakin kecil dengan dipasangnya outrigger pada struktur.
2. Gaya aksial kolom yang terjadi cenderung semakin mengecil dengan bertambah banyaknya outrigger yang dipasang pada struktur.
3. Gaya aksial kolom yang terjadi pada struktur wall frame dan struktur beroutrigger adalah gaya tarik.

4.10 Perbandingan Simpangan Struktur

Pada sub bab ini akan diperbandingkan simpangan dari dua macam sistem struktur akibat gaya horisontal yaitu :

1. Struktur yang memakai dinding geser saja untuk menahan gaya horisontal
2. Struktur yang memakai frame dan dinding geser

Kedua macam struktur ini diperbandingkan karena masing-masing mewakili bentuk struktur yang dianggap sederhana dalam buku referensi dan dalam tugas akhir ini, sehingga beberapa parameter struktur tersebut dipakai sebagai pembanding untuk struktur yang menggunakan outrigger yang dianggap lebih baru dan lebih kompleks dalam teknik sistem struktur.

Tujuan dari pembandingan ini adalah untuk mengetahui selisih simpangan yang terjadi dari kedua sistem ini dan dicoba untuk menyimpulkan bagaimana penggunaan yang efisien dan tepat dalam perancangan sistem struktur yang memakai outrigger secara praktis.

Untuk mencapai hal diatas maka dilakukan perhitungan simpangan pada masing-masing struktur dengan memakai bantuan program simulasi komputer ETABS dengan perlakuan yang sama yaitu pada beban dan massa struktur. Perhitungan ini dilakukan pada struktur 30, 40 dan 50 lantai.

	Struktur 30 lt	Struktur 40 lt	Struktur 50 lt
Struktur Dinding Geser	1,18014 m	3,33319 m	6,93839 m
Struktur Frame dan Dinding Geser	0,72643 m	1,05359 m	1,04111 m
Struktur I Outrigger	0,45692 m	0,88655 m	0,97655 m

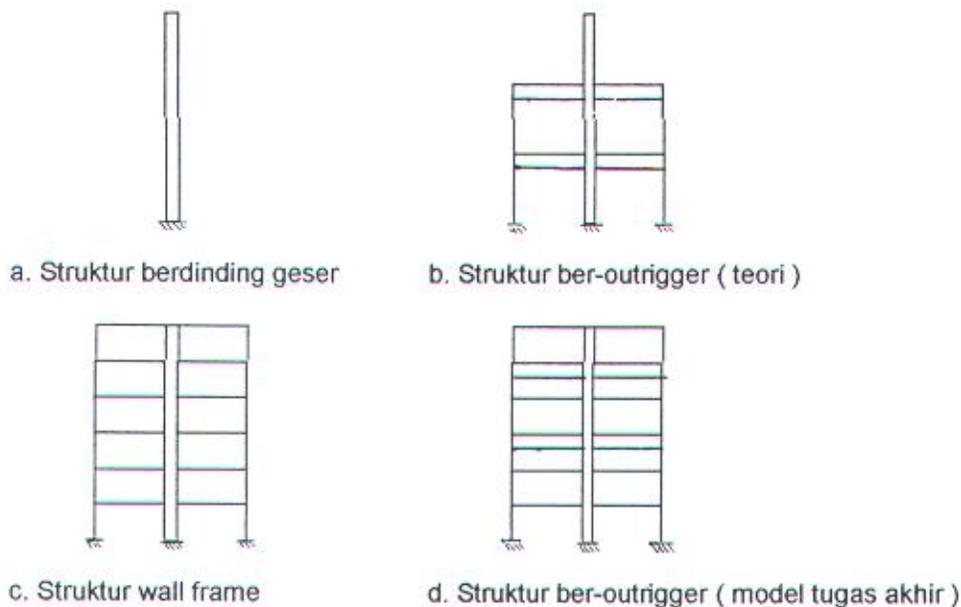
Tabel 4.27 Simpangan Struktur

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa struktur yang hanya memakai dinding geser menyimpang lebih besar dibanding struktur wall-frame. Selisih simpangan yang terjadi juga makin membesar dengan bertambah tingginya struktur. Perbedaan yang terjadi dapat dikatakan sangat besar sehingga adalah lebih efisien dan lebih aman untuk membandingkan simpangan struktur ber-outrigger dengan struktur wall-frame untuk mengetahui struktur ber-outrigger yang didisain adalah optimal.

Dengan demikian teori yang ada pada buku referensi yang memakai model

struktur berdinding geser sebagai struktur pembanding bagi kinerja parameter struktur ber-outrigger yang pemodelannya seperti yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah kurang tepat dan untuk selanjutnya disarankan untuk memakai cara pembandingan antara struktur wall-frame dan struktur ber-outrigger untuk mendapatkan gambaran jelas dan aman tentang struktur ber-outrigger yang didisain.

Sebagai gambaran mengapa perilaku ini dapat terjadi dapat diterangkan dengan bantuan gambar struktur seperti dibawah ini :



Gambar 4.6 Gambar Macam Struktur

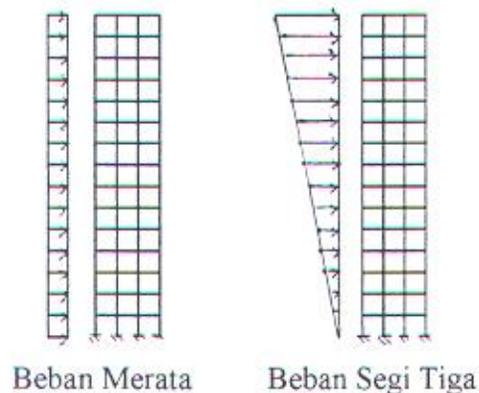
Dari gambar dengan jelas dapat diterangkan bahwa struktur pada gambar 4.6(c) adalah lebih kaku dibandingkan struktur gambar 4.6(a) karena elemen struktur yang dipakai untuk menahan gaya eksternal yang bekerja pada struktur lebih banyak yang diperhitungkan. Hal yang sama juga dapat menjelaskan mengapa struktur pada gambar 4.6(d) lebih kecil simpangannya dari gambar 4.6(b).

Dari data simpangan struktur dan gambar 4.6 jelas bahwa untuk keperluan disain praktis sistem struktur outrigger dengan cara menganalisa model struktur

seperti gambar 4.6 (c) dan (d) dengan bantuan simulasi komputer adalah lebih baik hasilnya daripada cara-cara manual teoritis yang kompleks, lama dan hasilnya masih jauh dari yang diharapkan.

4.11 Perbandingan Hasil Analisa Antara Beban Merata dan Segi Tiga

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 1 bahwa sistem outrigger yang dijelaskan pada buku referensi dipakai untuk menahan beban angin yang merata sepanjang ketinggian dari struktur. Pada tugas akhir ini sistem outrigger yang dipasang pada struktur dipakai untuk menahan beban gempa yang apabila beban ini digambar maka bentuknya adalah berupa beban segi tiga terbalik.



Gambar 4.7 Model Pembebanan Struktur

Dari hasil analisa buku referensi dan tugas akhir ini akan dibandingkan yang meliputi :

1. Letak optimal outrigger untuk mendapatkan simpangan terkecil
2. Momen Base Core Struktur yang terjadi

Untuk letak optimal outrigger perbandingan dilakukan dengan melihat letak

outrigger dihitung jaraknya dari puncak struktur yang dinyatakan dalam H, tinggi struktur. Perbandingan dilakukan dengan memakai data beberapa nilai fleksibilitas outrigger yang dianalisa pada tugas akhir ini yang hasilnya sbb :

Nilai ω	Struktur 30 Lt		Struktur 40 Lt		Struktur 50 Lt		Grafik Letak Optimal
	Tingkat	Dari Puncak	Tingkat	Dari Puncak	Tingkat	Dari Puncak	
a	b	c	d	e	f	g	H
0,0842	18	0,400 H	19	0,525 H	-	-	0,395 H
0,0637	17	0,433 H	18	0,550 H	-	-	0,416 H
0,0400	16	0,467 H	17	0,575 H	-	-	0,424 H
0,0219	-	-	-	-	17	0,660 H	0,437 H

Tabel 4.28 Perbandingan Letak Optimal Outrigger dari Puncak Struktur

Keterangan :

- Struktur yang diperbandingkan memakai satu outrigger
- Kolom b,d,f adalah letak optimal outrigger tiap struktur untuk nilai fleksibilitas tertentu
- Kolom h adalah letak optimal outrigger dari puncak hasil grafik pada buku referensi

Dari tabel disimpulkan bahwa letak optimal outrigger pada struktur yang dibebani gempa atau segi tiga lebih rendah dibandingkan dengan struktur yang dibebani beban merata dengan perbedaan yang makin besar dengan semakin tingginya struktur.

Untuk momen base core yg terjadi ada beberapa hal yang dapat diamati sbb:

1. Pada kedua struktur terjadi pengurangan momen base core dengan semakin ke dasar struktur outrigger diletakkan semakin besar pengurangan momen base core
2. Momen envelope Struktur yang dibebani gempa agak lebih besar pada daerah menuju letak outrigger dibandingkan struktur yang dibebani beban merata walaupun pada akhirnya sama-sama lebih kecil pada dasar struktur.

4.12 Kesimpulan Pemakaian Outrigger pada Model Struktur

Pada sub bab ini akan disimpulkan komposisi pemakaian outrigger pada 3

model struktur pada tugas akhir yaitu struktur 30, 40 dan 50 lantai sesuai dengan dimensi masing-masing bangunan dengan memperhatikan beberapa hal sbb:

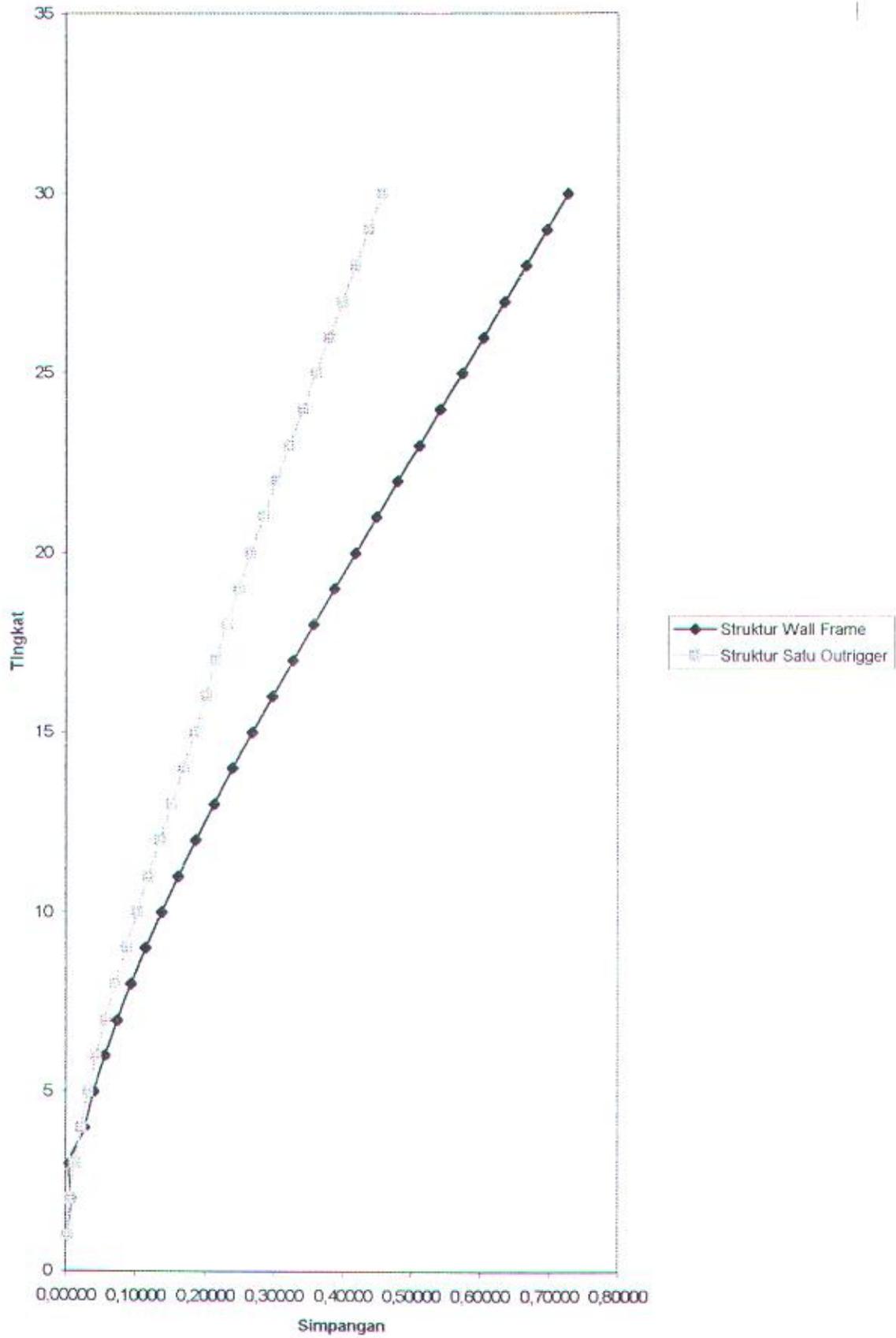
1. Syarat simpangan struktur (PPTGIUG 1983)
2. Efisiensi penggunaan outrigger
3. Pelaksanaan di lapangan
4. Efisiensi penggunaan ruang dimana untuk hal ini tinggi outrigger maksimal setinggi satu lantai

Dengan pertimbangan diatas maka disimpulkan pemakaian outrigger pada struktur yang meliputi jumlah outrigger yang dipasang dan letaknya pada ketinggian struktur sbb :

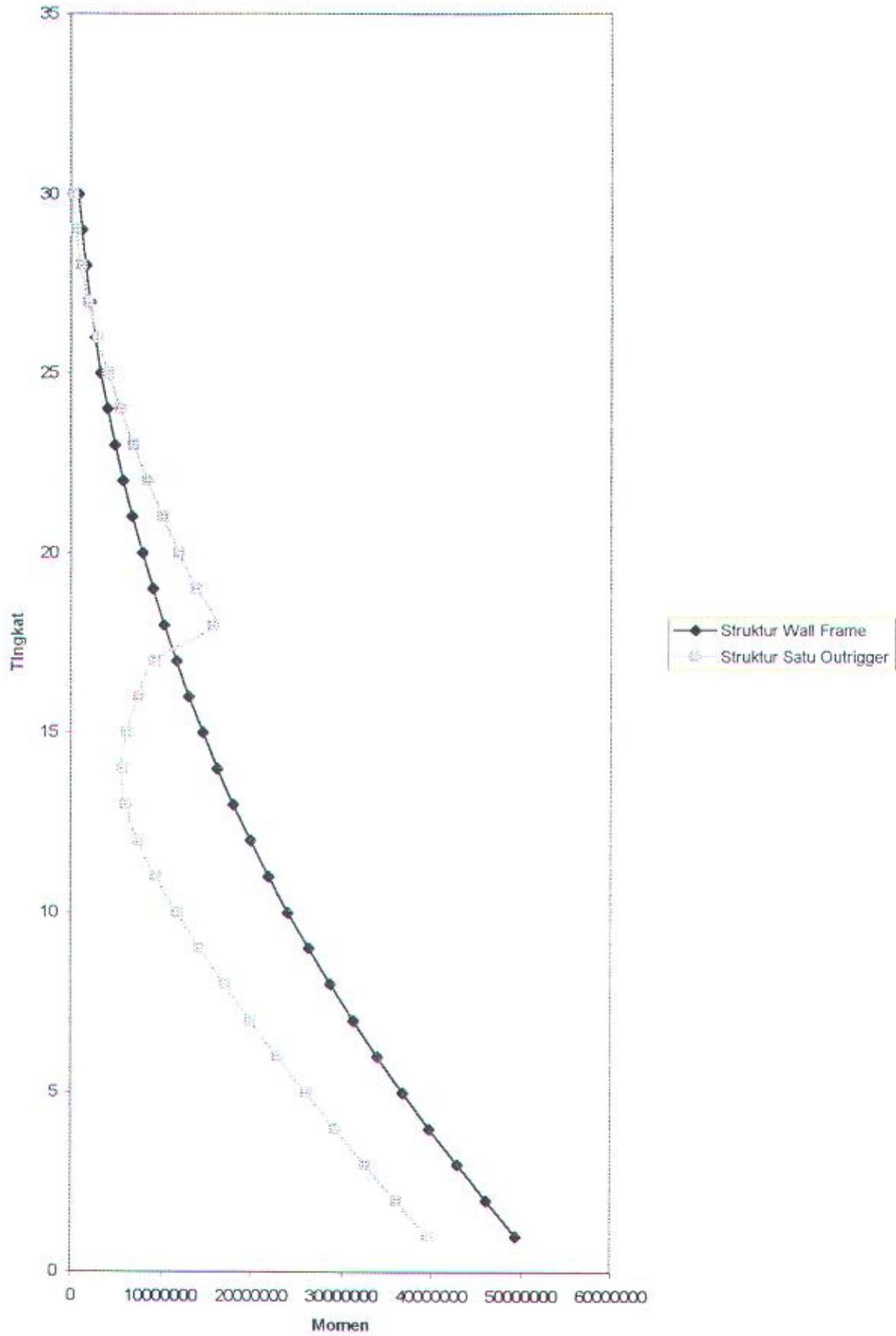
- **Struktur 30 lantai** memakai satu outrigger yang diletakkan pada lantai 17 dengan nilai fleksibilitas outrigger 0,0637 ; ukuran outrigger 330 x 32 cm, dengan reduksi simpangan 37,1% dan reduksi momen base core 20,06%. Simpangan struktur 0,45692 m.
- **Struktur 40 lantai** memakai dua outrigger yang diletakkan pada lantai 29 dan 14 dengan nilai fleksibilitas outrigger 0,05 ; ukuran outrigger yang dipakai 325 x 40 cm, dengan reduksi simpangan 24,28% dan reduksi momen base core 13,78%. Simpangan struktur 0,79781 m.
- **Struktur 50 lantai** memakai dua outrigger yang diletakkan pada lantai 36 dan 18 dengan nilai fleksibilitas outrigger 0,0219 ; ukuran outrigger yang dipakai 400 x 50 cm, dengan reduksi 10,01% dan reduksi momen base core 3%. Simpangan struktur 0,93687 m.

Untuk kemudahan pelaksanaan maka sekiranya untuk struktur lantai 30 dan 40 dapat dilakukan pemakaian dimensi tinggi outrigger menjadi 400 cm menyesuaikan dengan tinggi struktur. Untuk hal ini tidak ada pengaruh pada struktur karena justru dengan makin tinggi dimensi outrigger semakin kaku outrigger sehingga pengaruhnya juga akan memperkuat struktur.

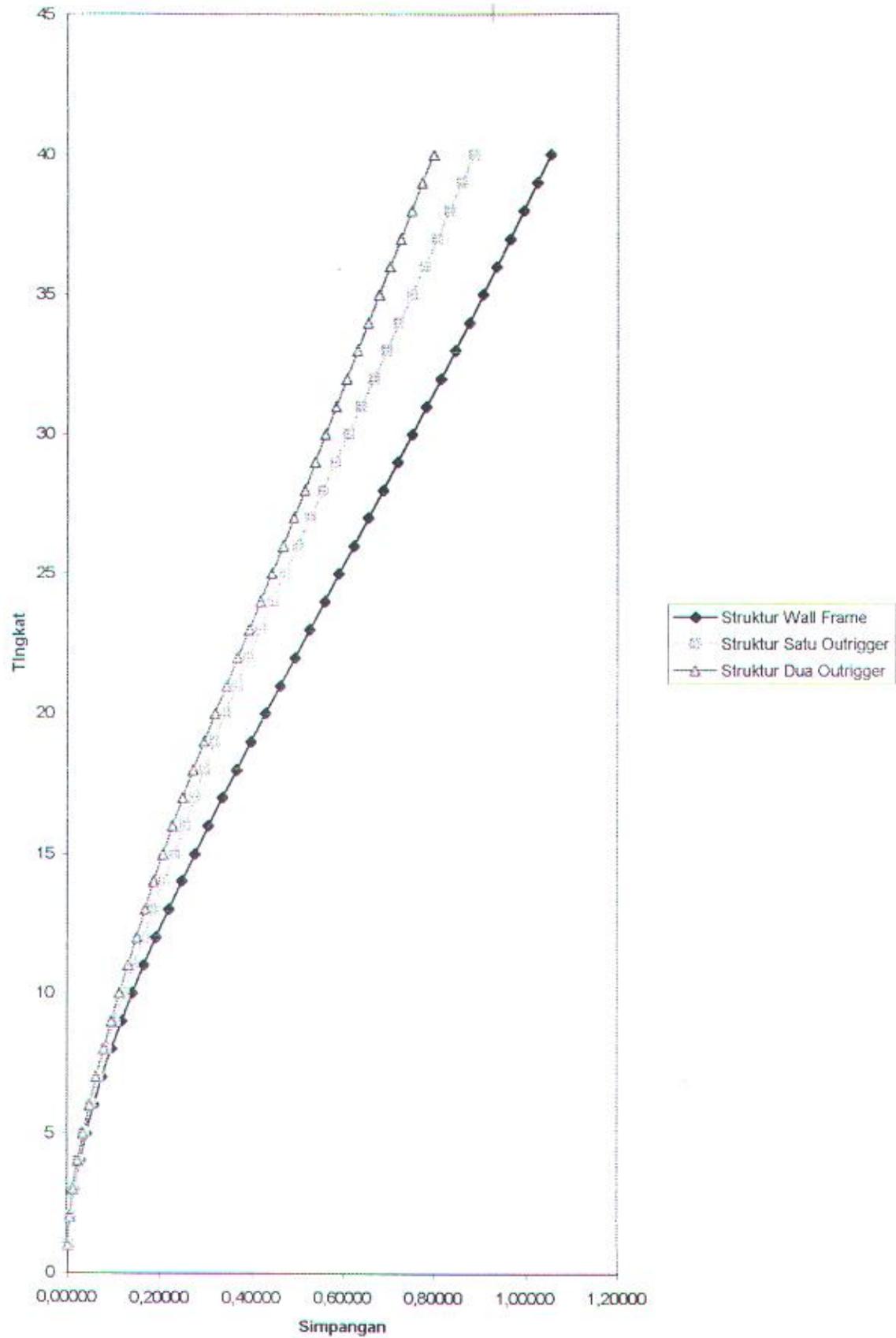
Gambar 4.8 Grafik Simpangan Struktur 30 Lantai



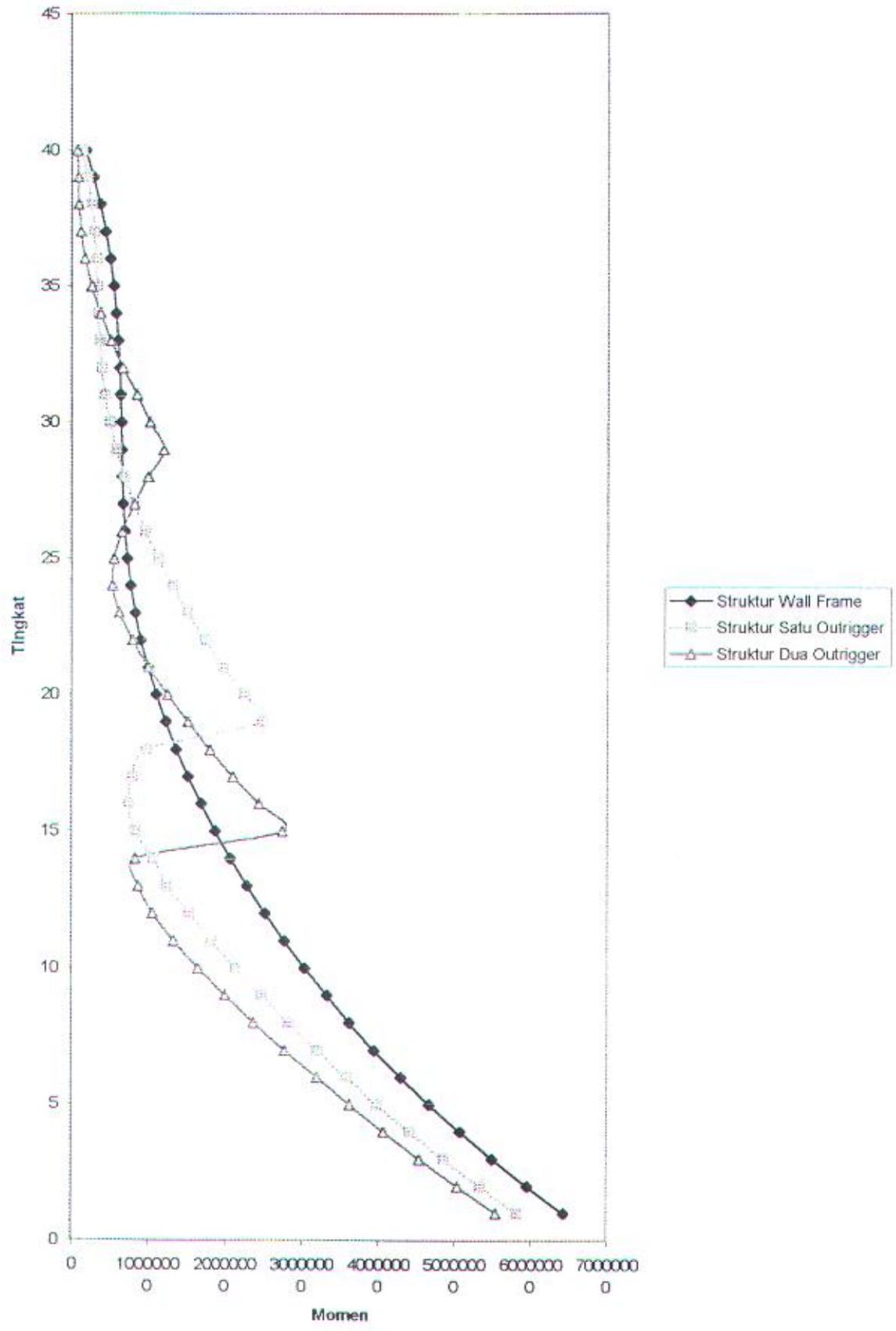
Gambar 4.9 Grafik Momen Base Core Struktur 30 Lantai



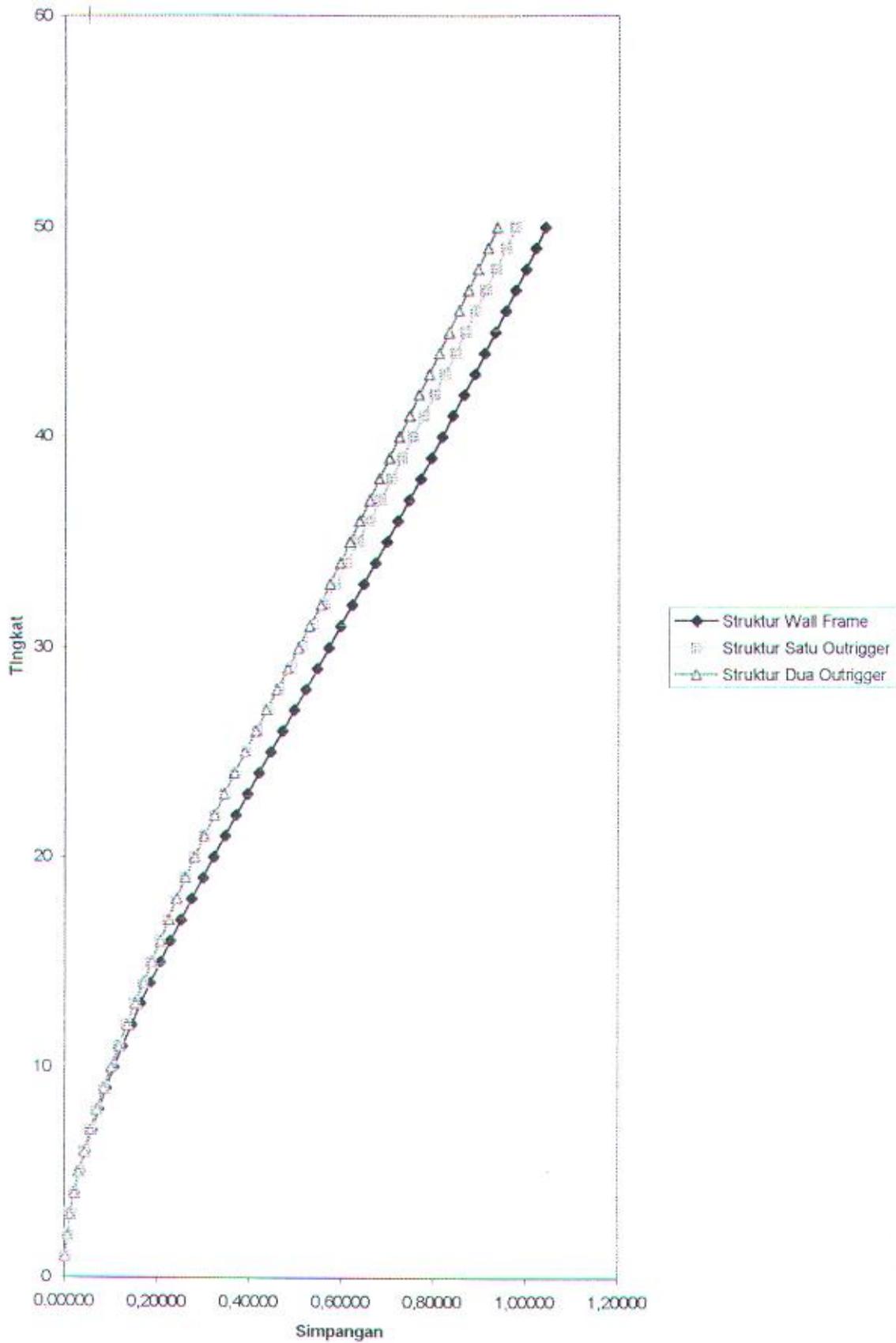
Gambar 4.10 Grafik Simpangan Struktur 40 Lantai



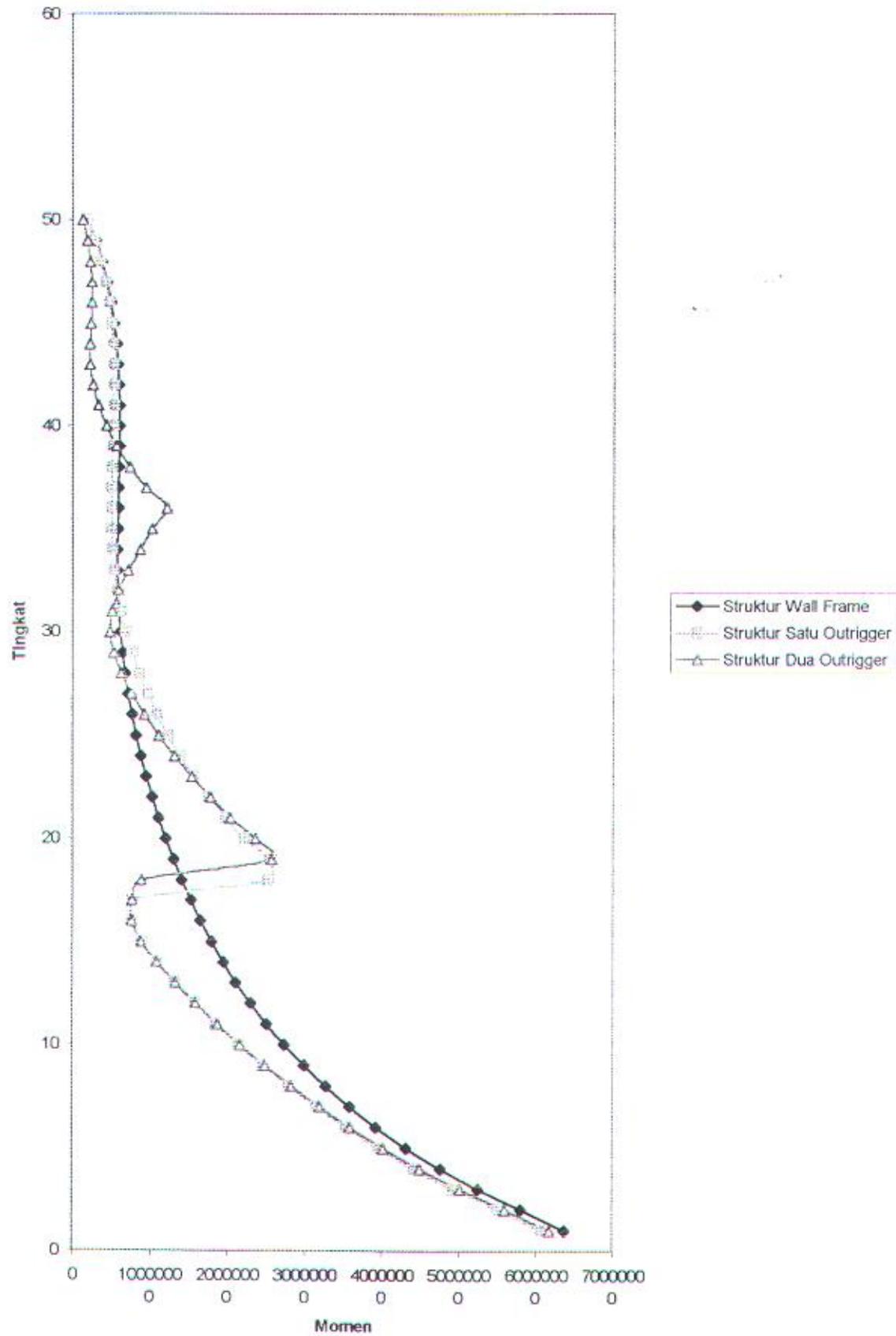
Gambar 4.11 Grafik Momen Base Core Struktur 40 Lantai

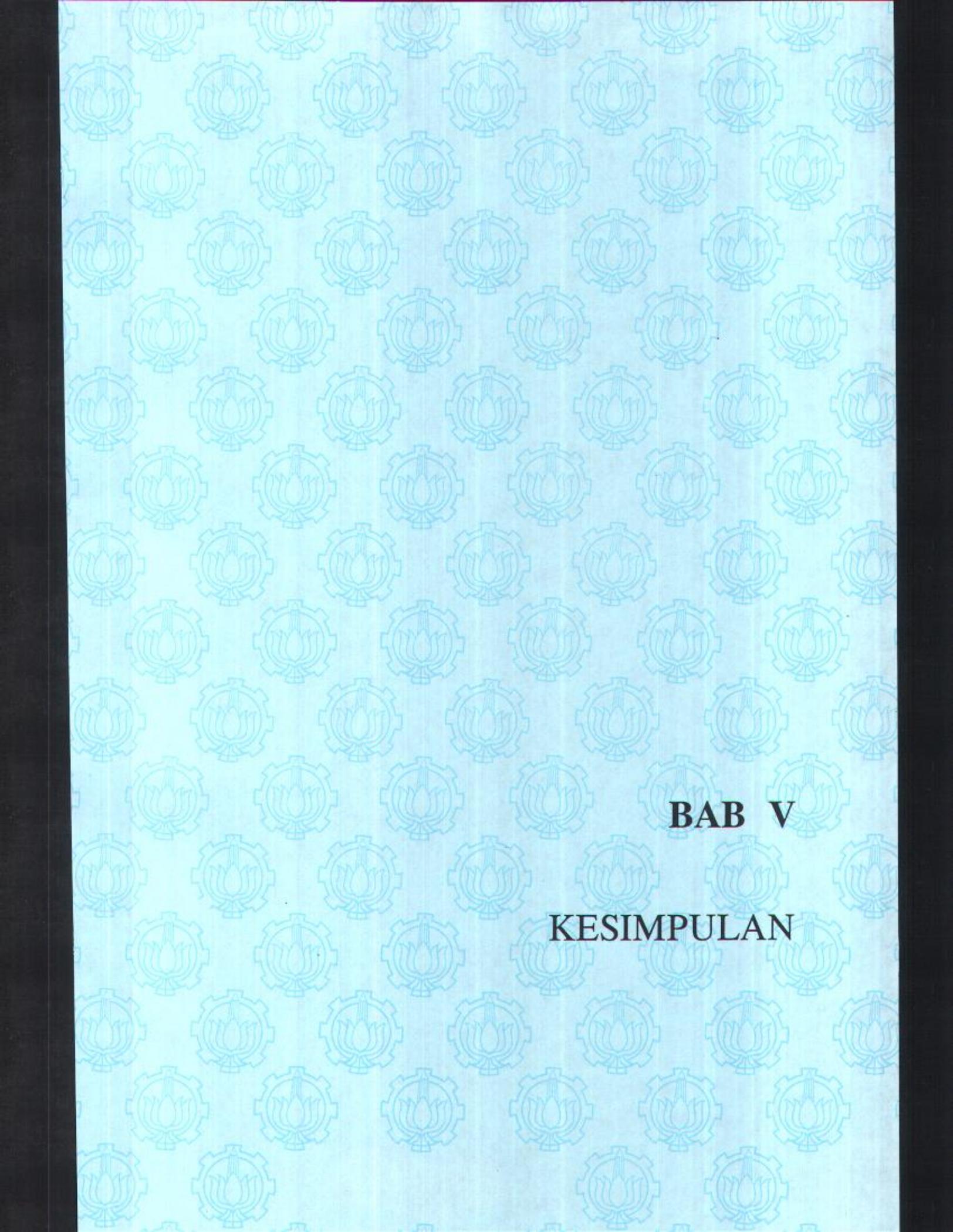


Gambar 4.12 Grafik Simpangan Struktur 50 lantai



Gambar 4.13 Grafik Momen Base Core Struktur 50 Lantai





BAB V

KESIMPULAN

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari studi analisa fiktif struktur outrigger dengan simulasi komputer yang diperbandingkan dengan struktur wall frame yang disini dianggap struktur yang lebih konvensional dan studi literatur dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dibuktikan dalam tugas akhir ini bahwa sistem struktur outrigger dapat meningkatkan kekakuan struktur sehingga struktur lebih mampu menahan beban lateral. Dalam tugas akhir ini beban lateral yang dipakai adalah beban gempa yang belum pernah dibahas dan dipelajari pada buku-buku referensi yang ada saat ini.
2. Meningkatnya kekakuan struktur karena mekanisme lengan outrigger menyebabkan terjadinya reduksi pada simpangan struktur yang besarnya pada tugas akhir ini dapat tercapai 37,1% untuk struktur 30 lantai yang dipasangi satu outrigger pada letak optimalnya.
3. Pemasangan outrigger - dengan ukuran kekakuan yang besar karena dimensi outrigger yang besar - pada struktur menyebabkan kekakuan struktur pada beberapa tingkat disekitar tingkat outrigger meningkat yang menyebabkan reduksi pada momen core pada level-level tersebut dan secara keseluruhan menyebabkan reduksi momen core didasar struktur. Reduksi maksimal momen base core yang didapatkan dari outrigger di letak optimalnya pada tugas akhir adalah sebesar 23,26% yang terjadi pada struktur 40 lantai yang dipasangi 4 outrigger.

4. Pada lokasi outrigger yang optimal – kata optimal disini lebih dimaksudkan untuk letak outrigger yang optimal untuk mereduksi simpangan – selalu terjadi reduksi simpangan struktur dan momen base core.
5. Reduksi simpangan struktur paling besar terjadi pada lokasi optimal outrigger.
6. Reduksi maksimal momen base core biasanya terjadi apabila outrigger diletakkan di daerah dasar struktur.
7. Dari kesimpulan no. 4, 5 dan no. 6 dapat disimpulkan 1 poin penting bahwa dalam perencanaan struktur yang akan menggunakan outrigger perlu ditentukan terlebih dahulu apakah simpangan struktur dan atau momen base core yang utama untuk direduksi.
8. Untuk dapat menggunakan outrigger secara efektif perlu diperhatikan faktor-faktor utama yang mempengaruhi yaitu fleksibilitas outrigger, letak outrigger dan jumlah outrigger.
9. Fleksibilitas outrigger yang berkebalikan arti dengan kekakuan outrigger sangat mempengaruhi penentuan letak optimal dan besarnya reduksi terhadap simpangan dan momen base core. Karakteristik fleksibilitas outrigger adalah (1) untuk fleksibilitas outrigger yang besar akan mengakibatkan letak optimal outrigger lebih tinggi dari dasar struktur dan sebaliknya (2) untuk fleksibilitas yang tinggi mengakibatkan reduksi yang lebih rendah terhadap simpangan dan momen base core dan sebaliknya. Dengan mengetahui karakter ini maka untuk mendapatkan simpangan struktur yang kecil dan reduksi momen core yang besar dapat diambil nilai fleksibilitas yang rendah. Kesimpulan ini diambil dari analisa yang telah dibahas secara khusus pada sub bab 4.6 dan dari hasil analisa pada sub bab 4.5 sampai dengan 4.9.
10. Jumlah outrigger sangat mempengaruhi peningkatan kekakuan struktur. Dengan lebih banyak jumlah outrigger yang dipasang maka struktur lebih

kaku walaupun nilai fleksibilitas antara yang lebih banyak dan yang lebih sedikit adalah sama. Karakteristik ini membuat semakin banyak jumlah outrigger semakin besar reduksi simpangan dan momen base core yang terjadi.

11. Penambahan outrigger tidak selalu efisien karena semakin banyak banyak outrigger yang dipasang maka untuk setiap outrigger yang dipasang tersebut hanya menyumbangkan reduksi terhadap simpangan struktur lebih rendah daripada outrigger yang sebelumnya telah dipasang.
12. Pemakaian outrigger tidak mereduksi gaya geser core dan gaya geser lantai karena yang terjadi adalah struktur yang memakai outrigger menghasilkan gaya-gaya tersebut lebih besar. Semakin banyak outrigger yang dipakai semakin besar gaya geser core dan lantai yang terjadi.
13. Pemasangan outrigger pada struktur mampu memperkecil gaya aksial tarik yang terjadi pada kolom. Efek yang sama juga terjadi dengan bertambah banyaknya outrigger yang dipasang pada struktur.
14. Pemasangan outrigger dari hasil analisa secara keseluruhan dapat disimpulkan efektif untuk mengurangi simpangan dan atau momen base core dengan alasan :
 - Pemasangan outrigger di lokasi optimalnya pada struktur mampu memberikan reduksi terhadap simpangan struktur dan momen base core sekaligus.
 - Hasil simulasi mampu memberikan angka persentase reduksi simpangan dan momen base core yang termasuk besar karena dapat tercapai reduksi simpangan sampai 37% dan momen sampai 23% pada lokasi optimal outrigger.
 - Pengaruh terhadap total gaya geser core dan lantai akibat dipasangnya outrigger pada struktur adalah bertambah besarnya gaya-gaya tersebut tetapi meningkatnya gaya-

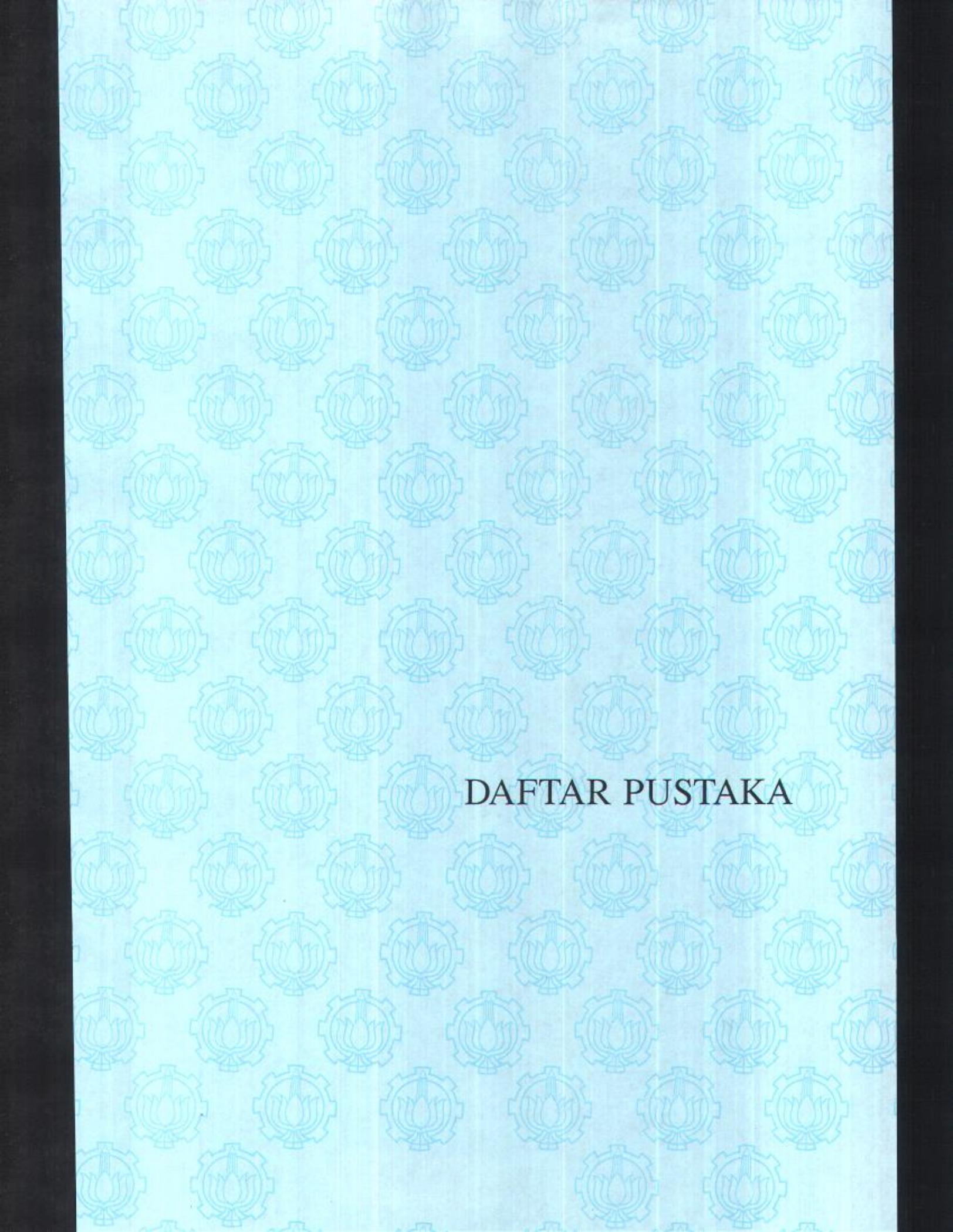
gaya tersebut sampai maksimal masih sangat kecil dibanding reduksi yang mampu diberikan oleh outrigger.

15. Pemodelan struktur pada tugas akhir dengan menggunakan sambungan rigid pada setiap sambungan elemen-elemen utama yaitu pada outrigger, kolom dan core wall serta balok menghasilkan simpangan yang lebih kecil daripada asumsi sambungan teori.
16. Letak optimal outrigger pada struktur yang dibebani beban segi tiga terbalik (gempa) lebih rendah dibanding apabila struktur dibebani beban merata (beban angin yang merata).
17. Setiap Struktur memerlukan jumlah outrigger dan letak optimal yang berbeda karena pengaruh tinggi dan dimensi elemen struktur.

5.2 Saran

Beberapa saran dari hasil tugas akhir ini adalah :

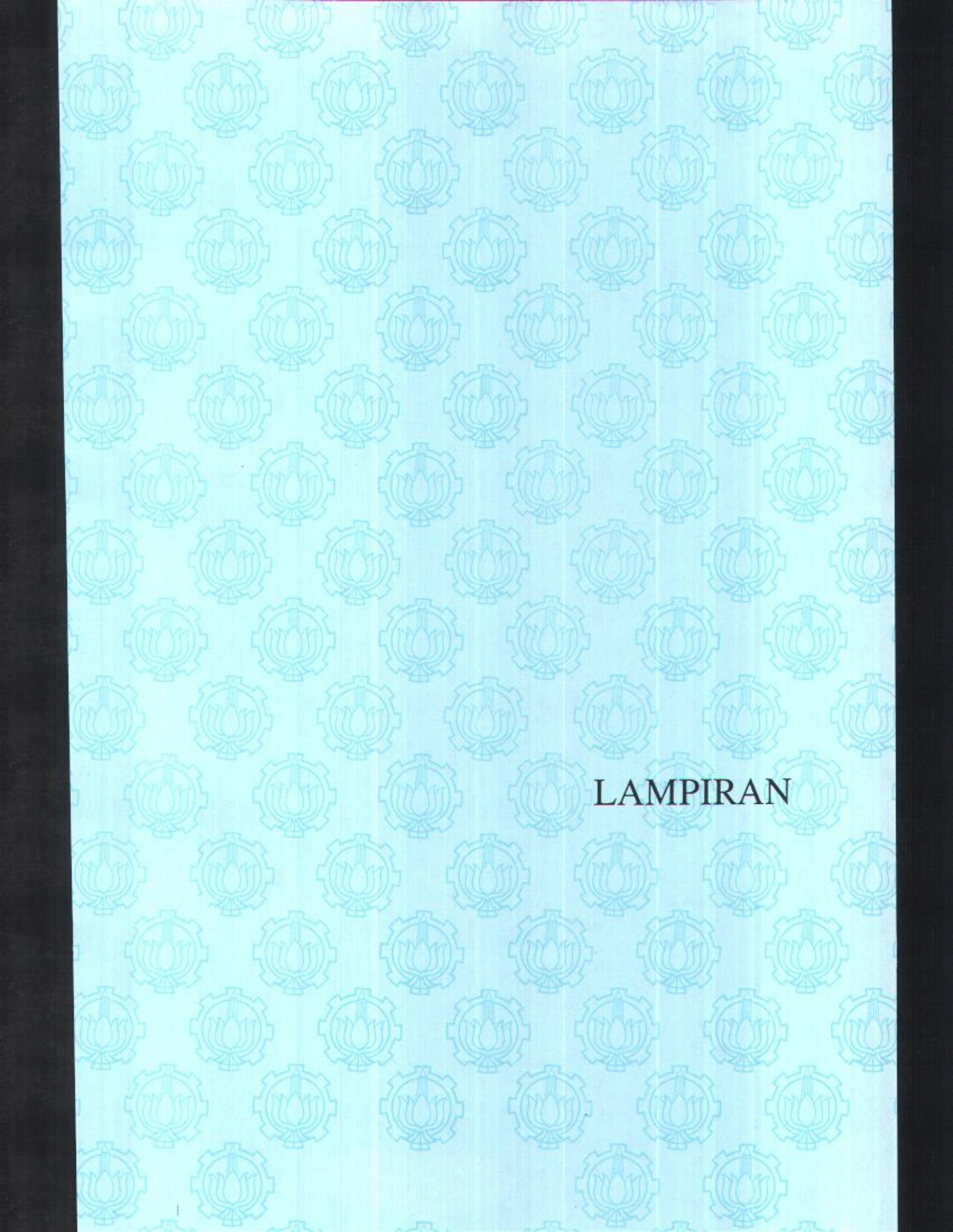
1. Untuk melengkapi studi ini dan sebagai studi lanjutan maka apa yang telah disimpulkan dapat digunakan untuk percobaan disain struktur bangunan pencakar langit yang telah berdiri di Indonesia untuk mengetahui lebih lanjut aplikasi di lapangan.
2. Untuk studi lebih lanjut dapat dilakukan analisa pada struktur yang lebih tinggi karena potensi struktur outrigger ini seperti hasil yang telah dilihat ini dan berdasarkan keterangan buku referensi bahwa sistem struktur ini masih bisa dipakai untuk struktur yang lebih dari 70 lantai.
3. Pada tugas akhir ini struktur outrigger tidak dianalisa bersama dengan tambahan pangakunya yang terkadang perlu yaitu belt truss dimana apabila dipakai akan meningkatkan kekakuan outrigger 25 – 30% (Bungale S. Taranath, 1988). Untuk studi lanjutan hal ini dapat dilakukan.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Smith, Bryan Stafford dan Coull, Alex. "Tall Building Structures: Analysis And Design". John Wiley & Sons, Inc, 1991, Hal. 355-371.
2. Taranath, Bungale.S, "Structural Analysis & Design Of Tall Building". Prentice Hall 1988, Hal. 257-276.
3. Taranath, B.S. "Optimum Belt Truss locations for High-Rise Structures". AISC Engineering Journal, Vol. 11, First Quarter, 1974, Hal. 18-21.
4. Mc Nabb, JW dan Muvdi, BB. "Drift Reduction Factors for Belted High Rise Structures". AISC, Engeneering Journal, Third Quarter, 1975, Hal. 88-90.
5. Smith, Bryan Stafford dan Salim, Irawan. " Parameter Study of Outrigger-Braced Tall Building Structures". Proceeding of ASCE, Vol.107, No. ST10, Oktober 1981, Hal. 2001-2014.
6. Smith, Bryan Stafford dan Nwaka, I.O. "Behaviour of Multioutrigger Braced Tall Building". ACI Special Publication SP-63, 1980, Hal. 515-541.
7. Coull, A dan Lau, W.H.O. "Outrigger-Braced Structures Subjected to Equivalent Static Seismic Loading". Proc. 4th. Int. Conf. On Tall Buildings, Hong Kong and Shanghai, Y.K. Cheung and P.K.K. Lee (eds), Vol.1, Hong Kong, 1988, Hal. 395-401.



LAMPIRAN

Lampiran 1

Persamaan Kompatibilitas Struktur Outrigger

Persamaan kompatibilitas ini disusun berdasarkan asumsi I seperti yang dinyatakan pada sub bab 2.4. Untuk asumsi ini disusun persamaan kompatibilitas untuk sistem dua outrigger dimana untuk analisa outrigger tunggal atau multi outrigger dapat dibangun secara mudah dari persamaan kompatibilitas dua outrigger ini.

Persamaan kompatibilitas akan dibangun untuk rotasi dari core dan outrigger pada tingkat outrigger seperti pada gambar 2.2(a). Diagram momen untuk core terdiri dari diagram momen lentur bebas yang dibebani oleh beban eksternal yang dikurangi oleh momen tahanan outrigger, yang besarnya sama secara merata dari tingkat outrigger sampai dasar struktur seperti gambar 2.2(c) dan 2.2(d). Resultan diagram momen lentur ditunjukkan pada gambar 2.2(e).

Rotasi core pada tingkat 1 dan 2 pada gambar 2(a) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan dengan metoda momen area sbb :

$$\theta_1 = (1/EI) \int_{x_2}^{x_1} ((wx^2/2) - M_1) dx + (1/EI) \int_{x_2}^{x_1} ((wx^2/2) - M_1 - M_2) dx \dots (1a)$$

dan $\theta_2 = (1/EI) \int_{x_2}^{x_1} ((wx^2/2) - M_1 - M_2) dx \dots \dots \dots (1b)$

Persamaan yang menyatakan rotasi dari outrigger pada lokasi 1 dan 2 akan dibangun untuk membentuk kompatibilitas dengan core. Rotasi dari ujung bagian dalam dari outrigger yang berhubungan langsung dengan core terdiri atas dua komponen, pertama terhadap deformasi aksial dari kolom dan yang kedua terhadap lentur outrigger pada ujungnya karena gaya kolom. Komponen rotasi pada lokasi 1 dan 2 karena deformasi aksial dari kolom dinyatakan sbb :

$$\theta_{a1} = 2M_1(H - X_1) / d^2(EA)_c + 2M_2(H - X_2) / d^2(EA)_c \dots \dots \dots (2a)$$

dan $\theta_{a2} = 2(M_1 + M_2)(H - X_2) / d^2(EA)_c \dots \dots \dots (2b)$

dimana persamaan untuk rotasi lentur outrigger diberikan sbb :

$$\theta_{b1} = (M_1 d) / 12(EI)_o \dots \dots \dots (3a)$$

dan $\theta_{b2} = (M_2 d) / 12(EI)_o \dots \dots \dots (3b)$

Persamaan 1a, 2a, dan 3a dapat digunakan menyatakan kompatibilitas dari core dan rotasi outrigger pada tingkat outrigger yang lebih tinggi, sehingga dengan demikian :

$$\theta_{a1} + \theta_{b1} = \theta_1$$

$$2M_1(H - X_1) / d^2(EA)_c + 2M_2(H - X_2) / d^2(EA)_c + (M_1 d) / 12(EI)_o$$

$$= (1/EI) \int_0^{x_1} ((wx^2/2) - M_1) dx + (1/EI) \int_0^{x_2} ((wx^2/2) - M_1 - M_2) dx \dots (4a)$$

dan persamaan 1b, 2b, dan 3b untuk kompatibilitas dari rotasi pada tingkat outrigger yang lebih rendah :

$$\theta_{a2} + \theta_{b2} = \theta_2$$

$$2(M_1 + M_2)(H - X_2) / d^2(EA)_c + (M_2 d) / 12(EI)_o =$$

$$(1/EI) \int_0^{x_2} ((wx^2/2) - M_1 - M_2) dx \dots (4b)$$

Harus diperhatikan bahwa $(EI)_o$ adalah kekakuan lentur efektif outrigger, seolah-olah panjangnya terbentang dari kolom sampai pusat dari core (gambar 2.4). $(EI)_o$ dapat dihitung dari kekakuan lentur outrigger yang sebenarnya yaitu $(EI')_o$ dengan mengubah kekakuan lentur dari balok-kolom seperti gambar 2.4(a) menjadi kekakuan lentur dari ekuivalen panjang balok (gambar 2.4 (b)), sehingga dengan demikian :

$$(EI)_o = (1 + a/b)^3 (EI')_o \dots (5)$$

Penulisan kembali momen core, gaya pada kolom dan momen pada outrigger yaitu persamaan 4a dan b seperti dibawah :

$$M_1(S_1 + S(H - X_1)) + M_2S(H - X_2) = (w/6EI)(H^3 - X_1^3) \dots (6a)$$

$$\text{dan } M_1S(H - X_2) + M_2(S_1 + S(H - X_2)) = (w/6EI)(H^3 - X_2^3) \dots (6b)$$

dimana S dan S_1 adalah parameter-parameter yang diberikan sbb :

$$S = (1/EI) + (2/d^2(EA)_c) \dots (7)$$

$$\text{dan } S_1 = d/12(EI)_o \dots (8)$$

Pemecahan simultan dari persamaan 6a dan b memberikan persamaan untuk momen tahanan yang outrigger kerjakan pada core :

$$M_1 = (w/6EI)[(S_1(H^3 - X_1^3) + S(H - X_2)(X_2^3 - X_1^3))] / [S_1^2 + S_1S(2H - X_1 - X_2) + S^2(H - X_2)(X_2 - X_1)] \dots (9a)$$

dan

$$M_2 = (w/6EI) [(S_1(H^3 - X_2^3) + S(H - X_1)(H^3 - X_2^3) - (H - X_2)(H^3 - X_1^3))] : [S_1^2 + S_1S(2H - X_1 - X_2) + S^2(H - X_2)(X_2 - X_1)] \dots\dots\dots(9b)$$

Resultan momen core pada suatu tingkat, pada jarak x dari puncak (gambar 2.2(e)) dinyatakan dengan :

$$M_x = (wx^2/2) - M_1 - M_2 \dots\dots\dots(10)$$

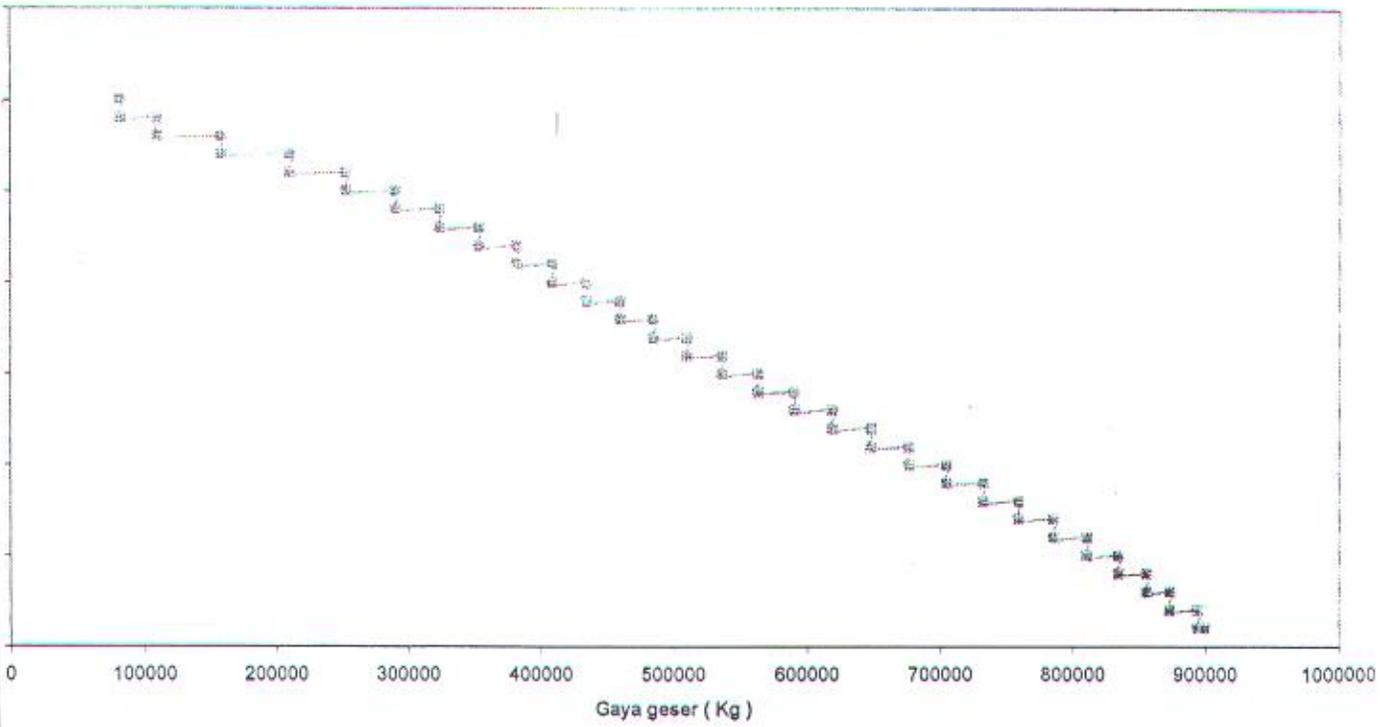
dimana, untuk $0 < x < X_1$, $M_1 = M_2 = 0$, dan untuk $X_1 < x < X_2$, $M_2 = 0$.

Gaya pada kolom karena aksi perkuatan adalah M_1 / d untuk $X_1 < x < X_2$ dan $(M_1 + M_2) / d$ untuk $x > X_2$. Oleh karena itu momen lentur maksimum pada sebuah outrigger adalah hasil dari resultan gaya kolom pada ujung outrigger dan bagian yang bebas dari panjang outrigger.

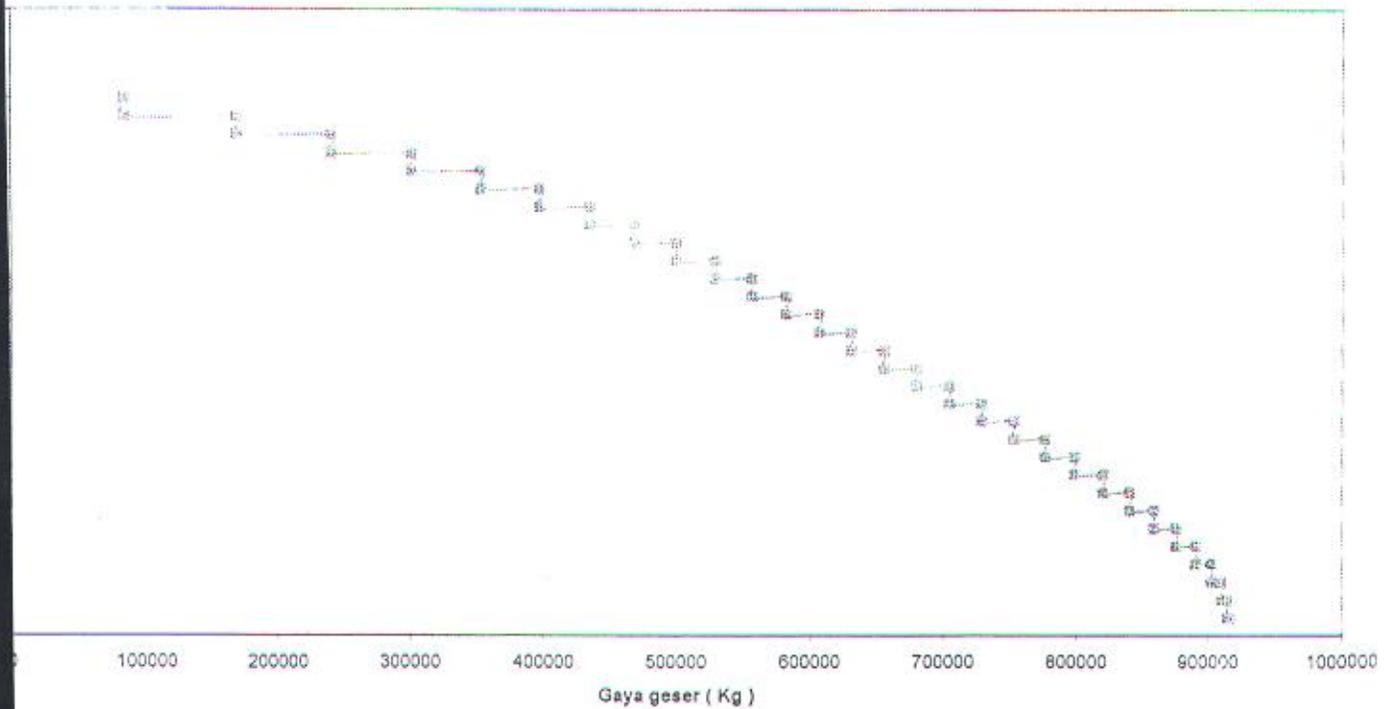


Lampiran 2

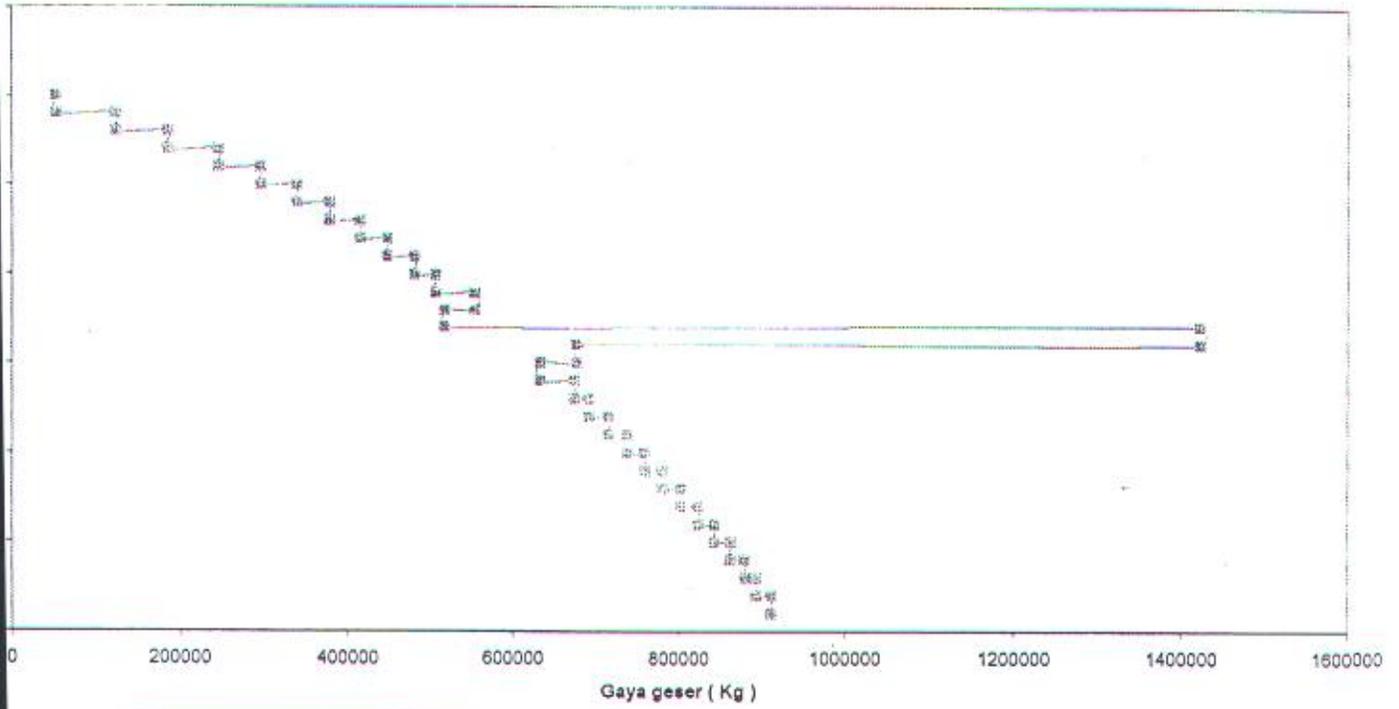
Gaya geser core struktur wall frame 30 lantai



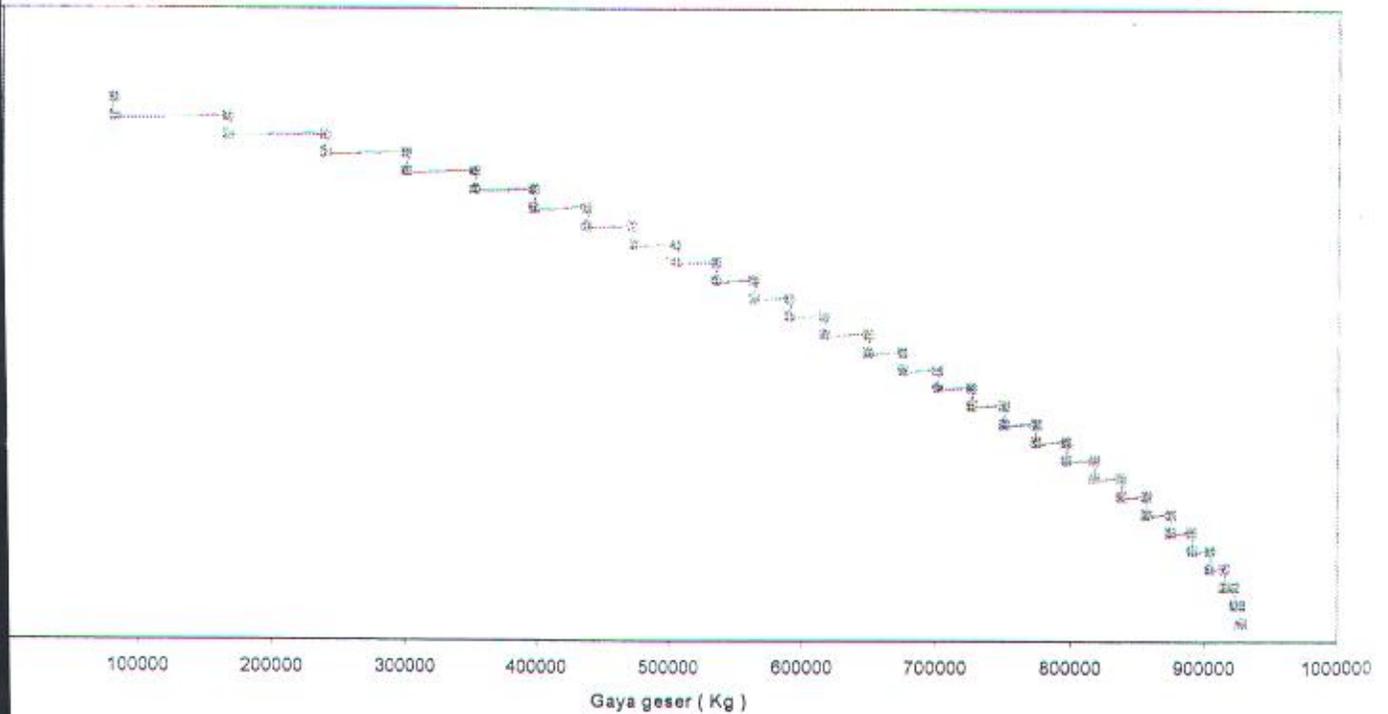
Gaya geser lantai struktur wall frame 30 lantai



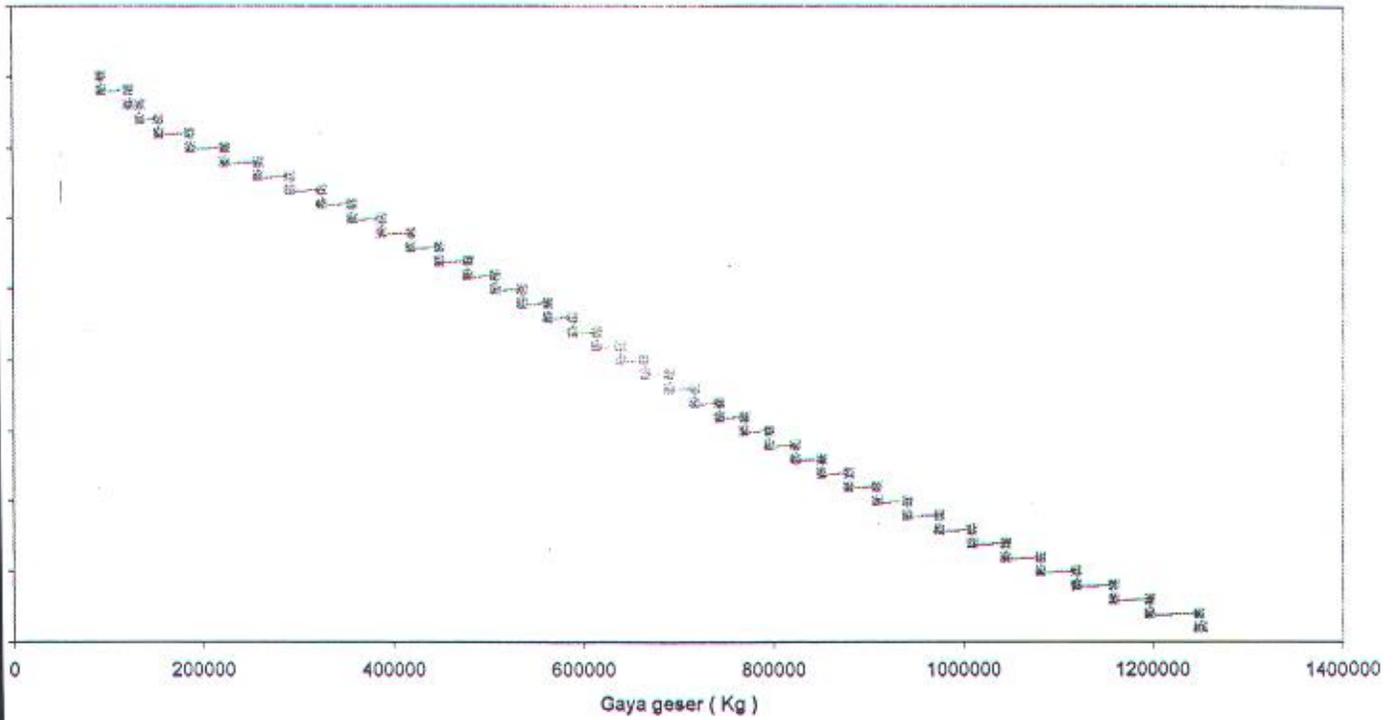
Gaya geser core struktur 30 lantai satu outrigger



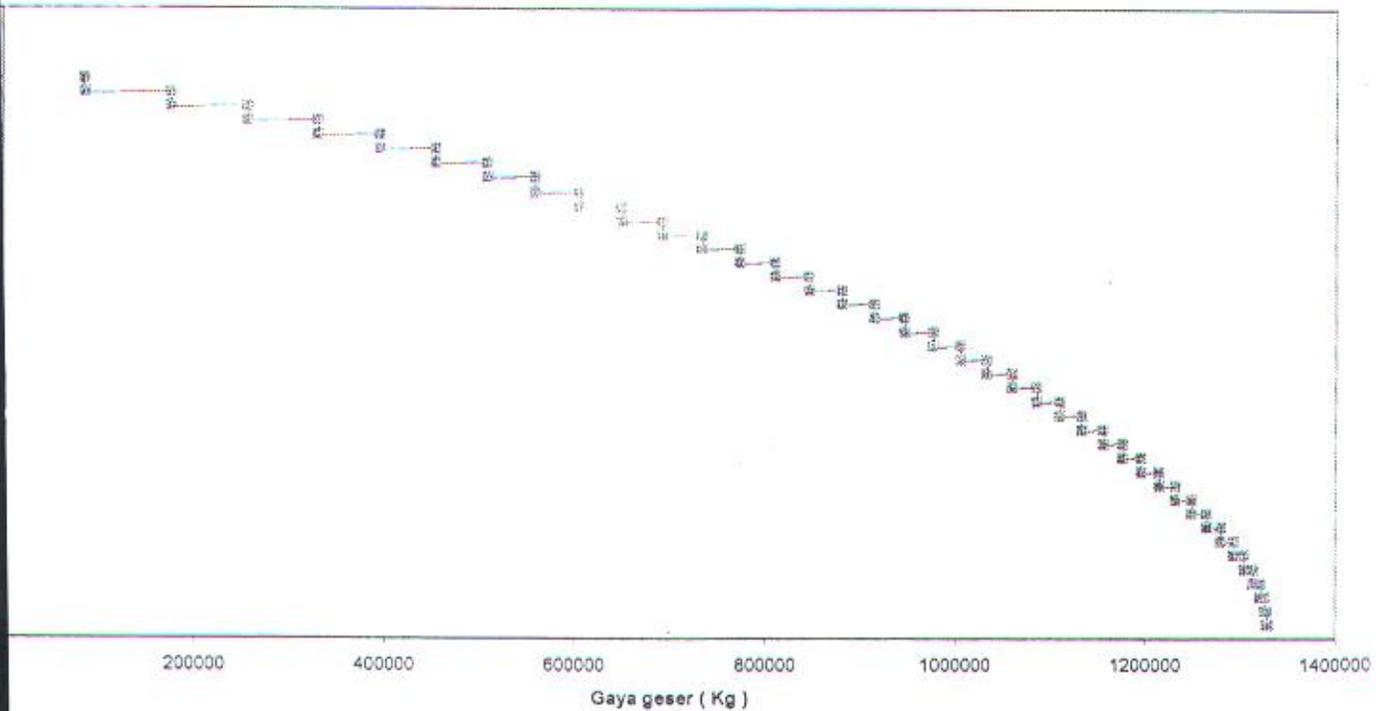
Gaya geser lantai struktur 30 lantai satu outrigger



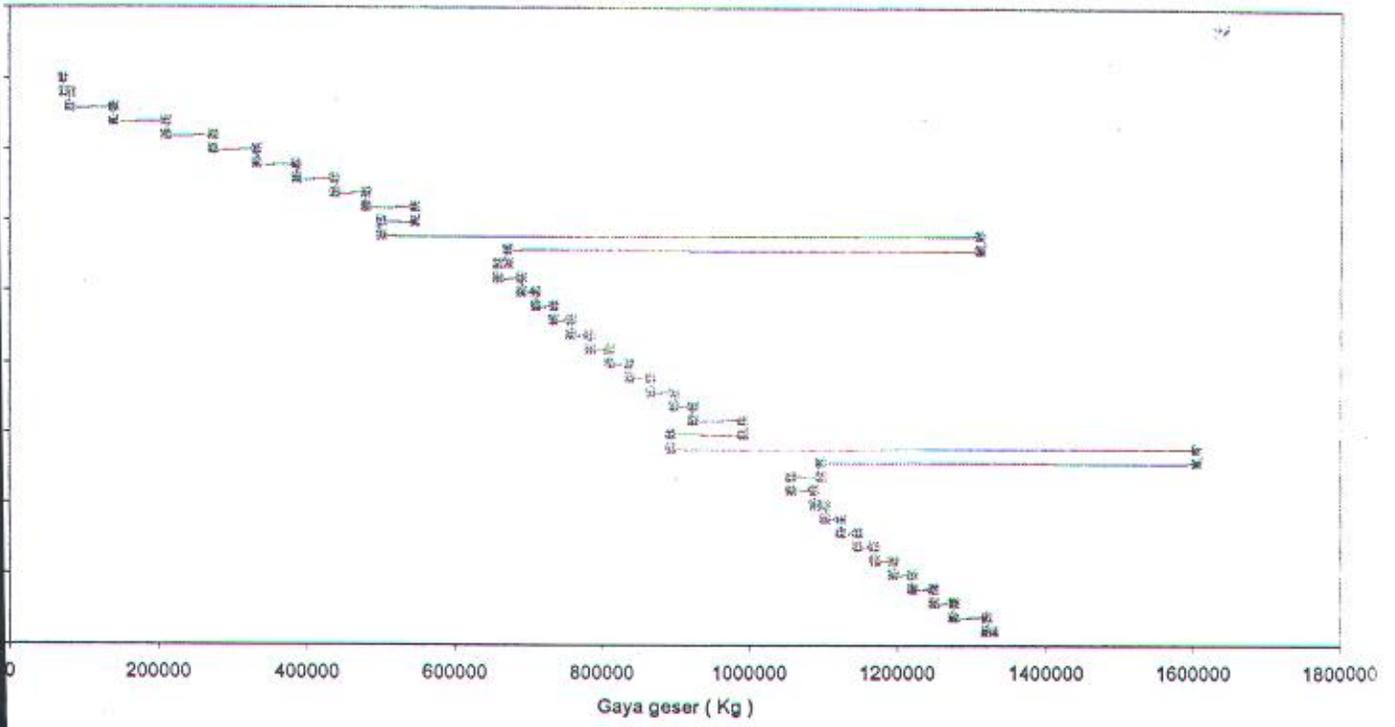
Gaya geser core struktur wall frame 40 lantai



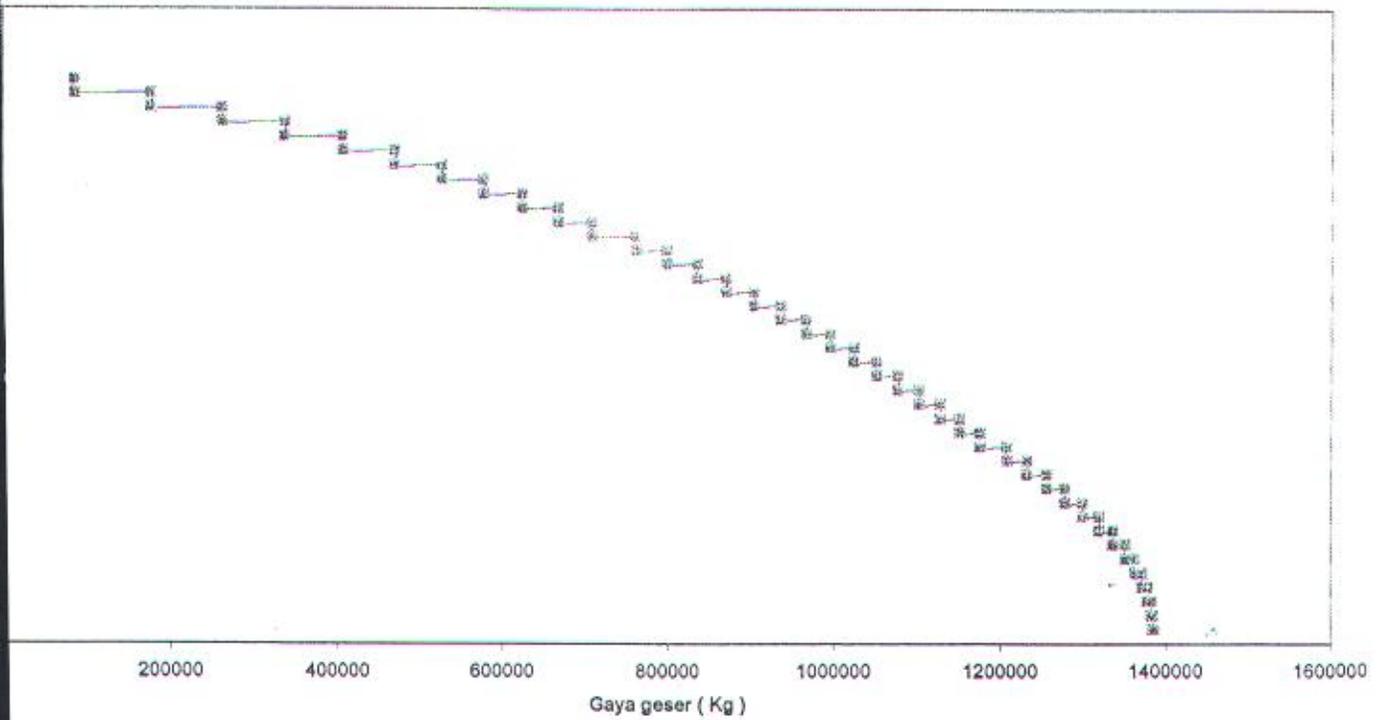
Gaya geser lantai struktur wall frame 40 lantai



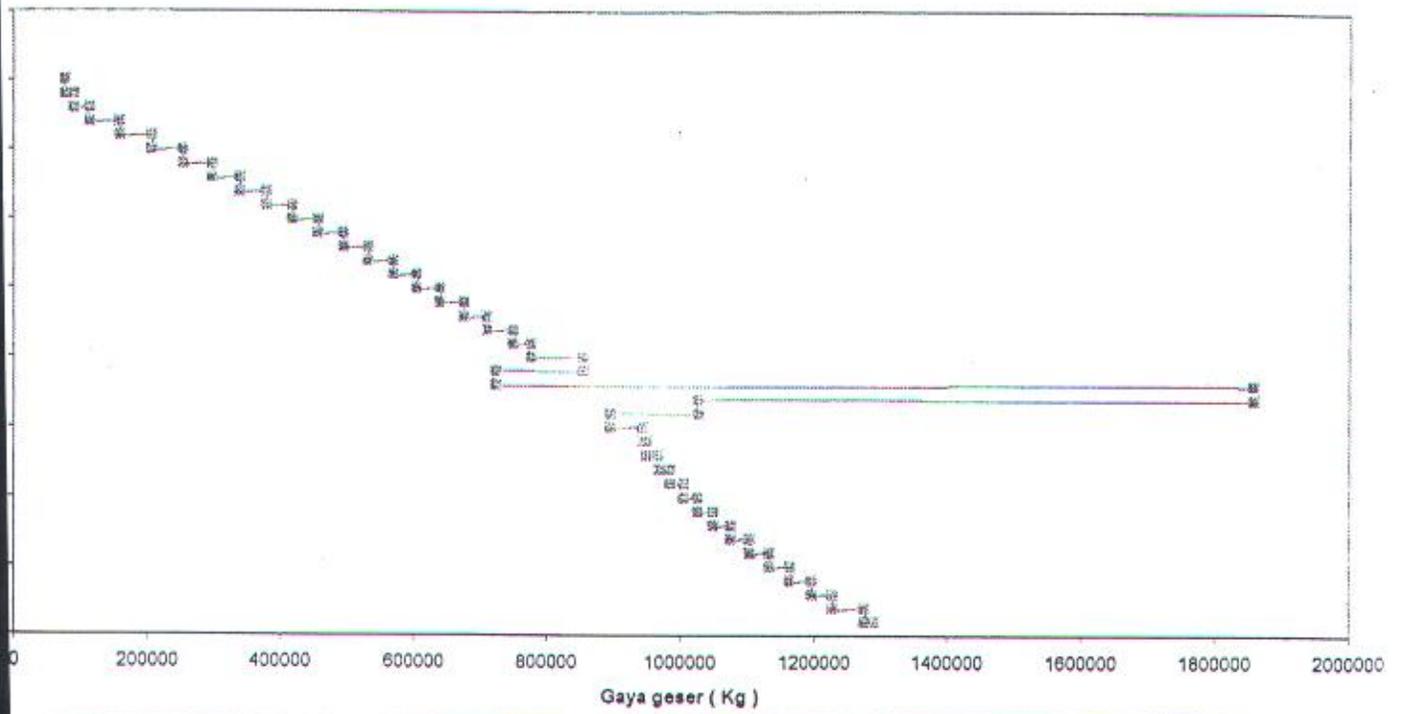
Gaya geser core struktur 40 lantai dua outrigger



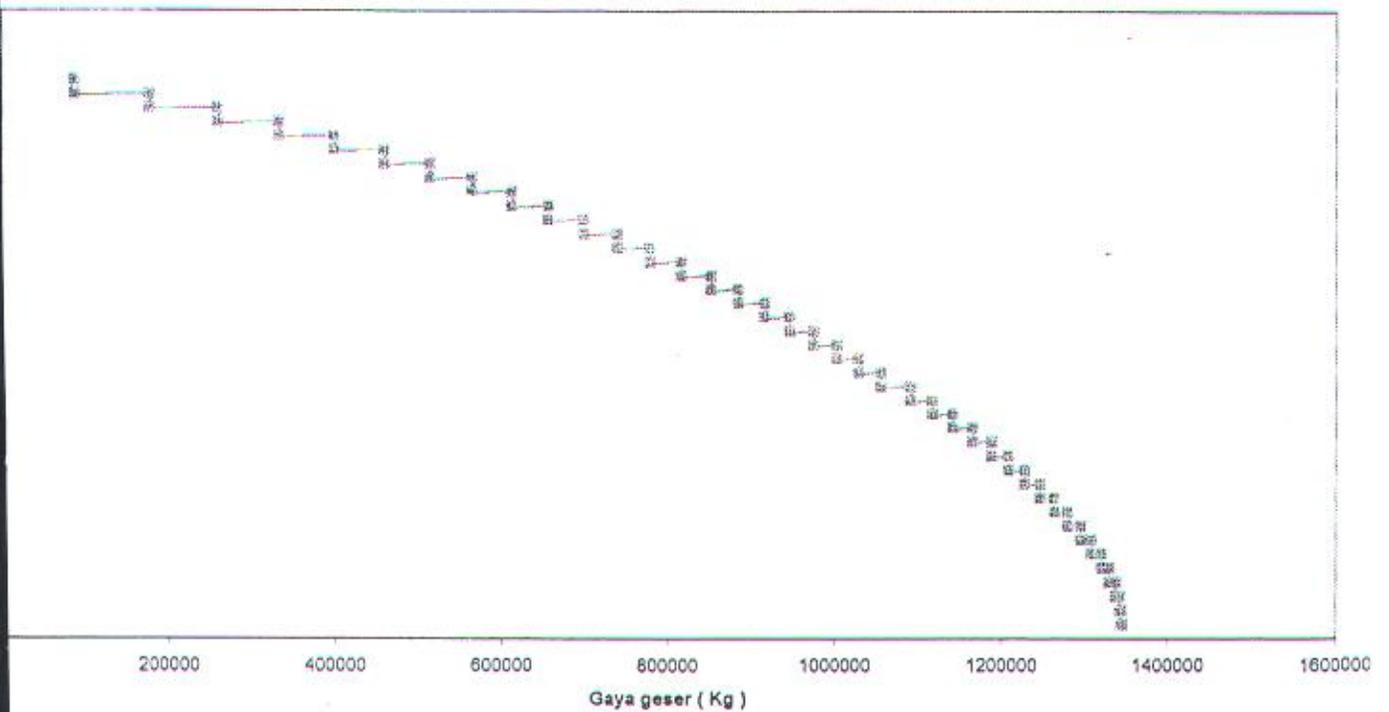
Gaya geser lantai struktur 40 lantai dua outrigger



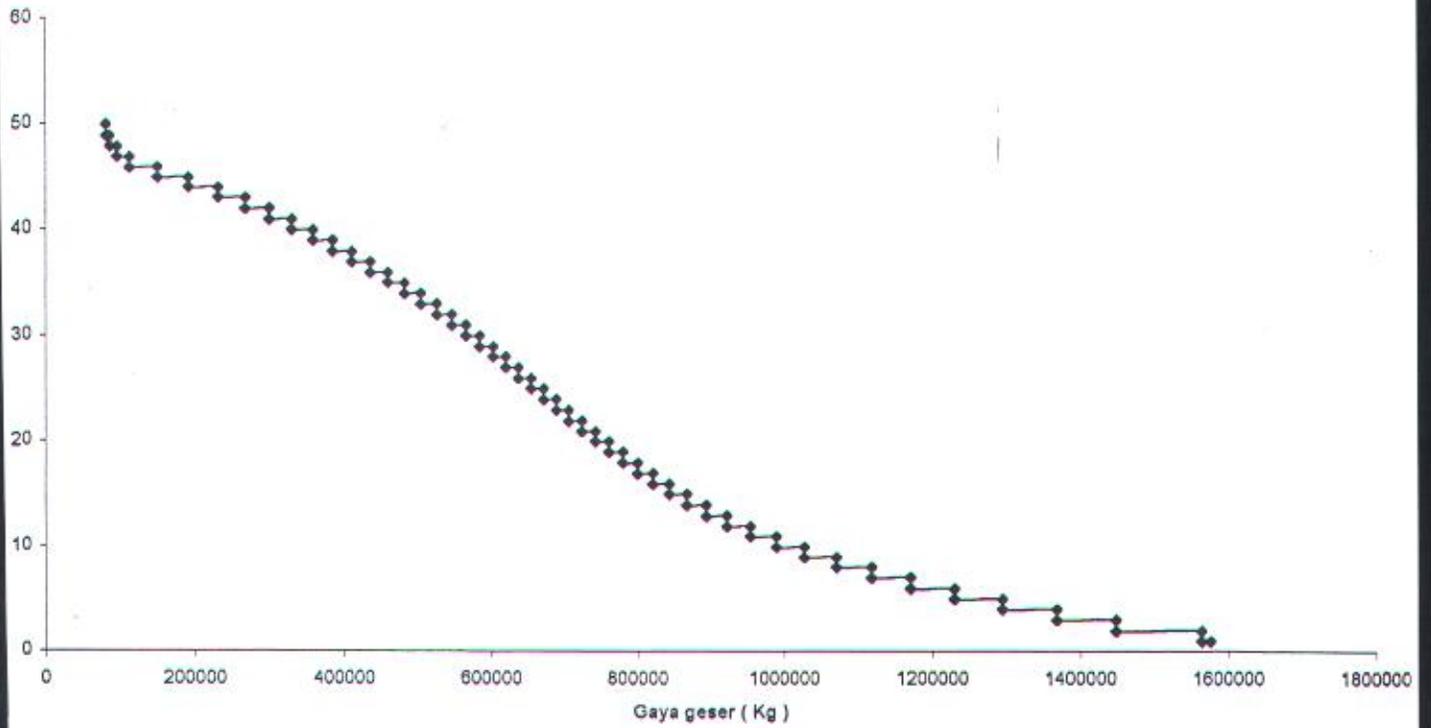
Gaya geser core struktur 40 lantai satu outrigger



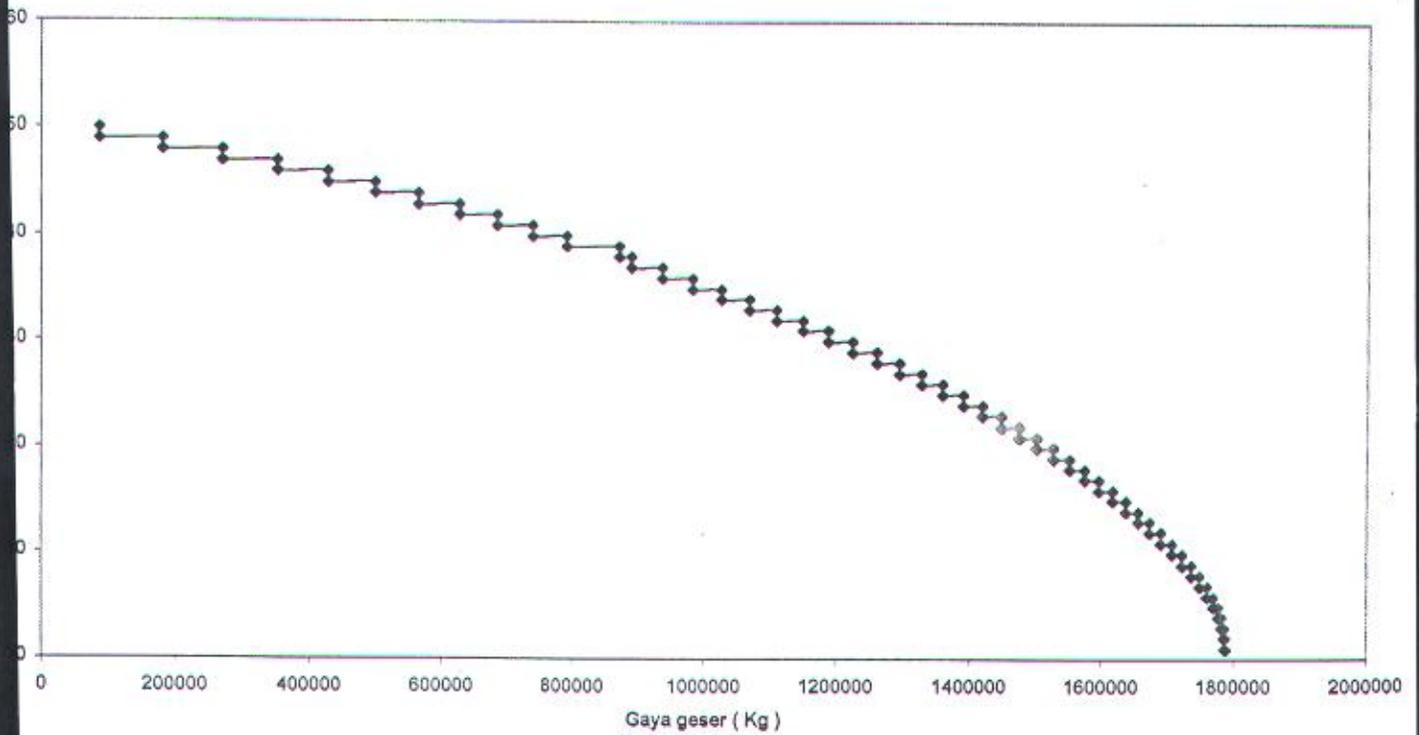
Gaya geser lantai struktur 40 lantai satu outrigger



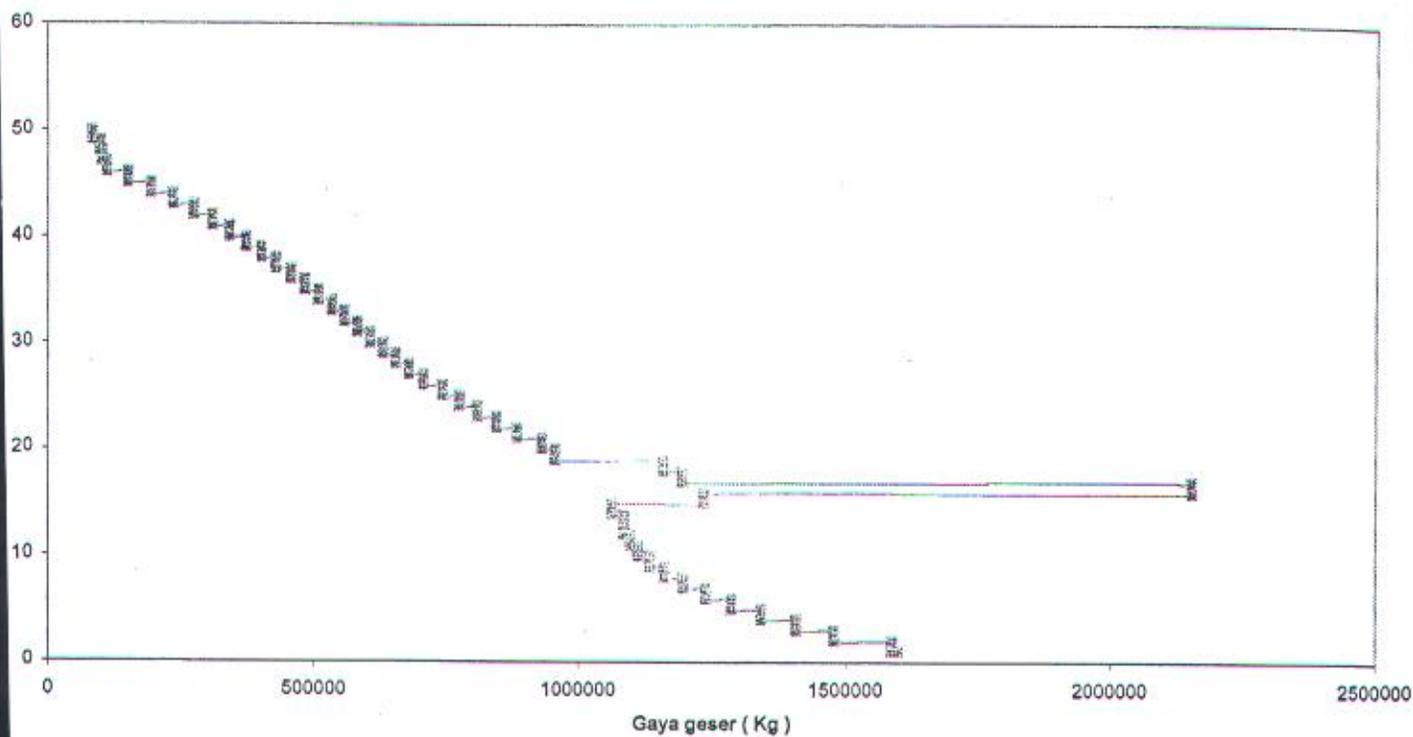
Gaya geser core struktur wall frame 50 lantai



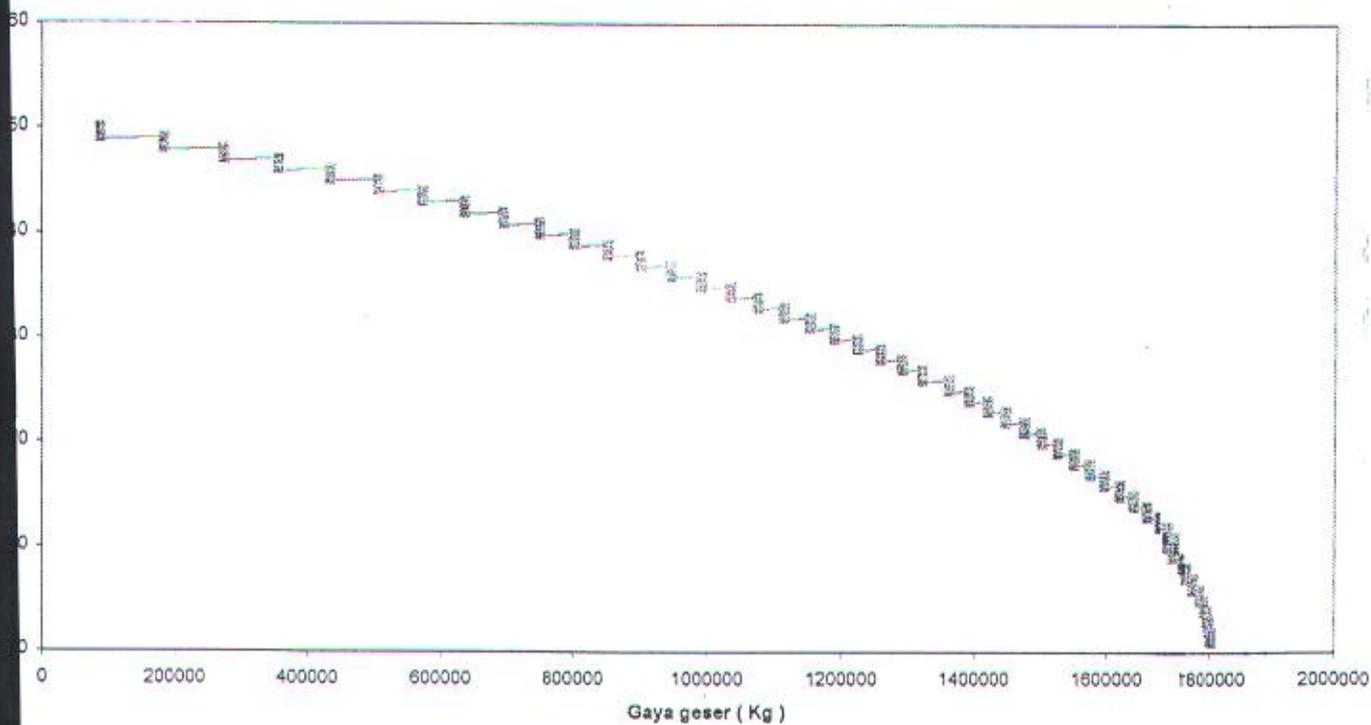
Gaya geser lantai struktur wall frame 50 lantai



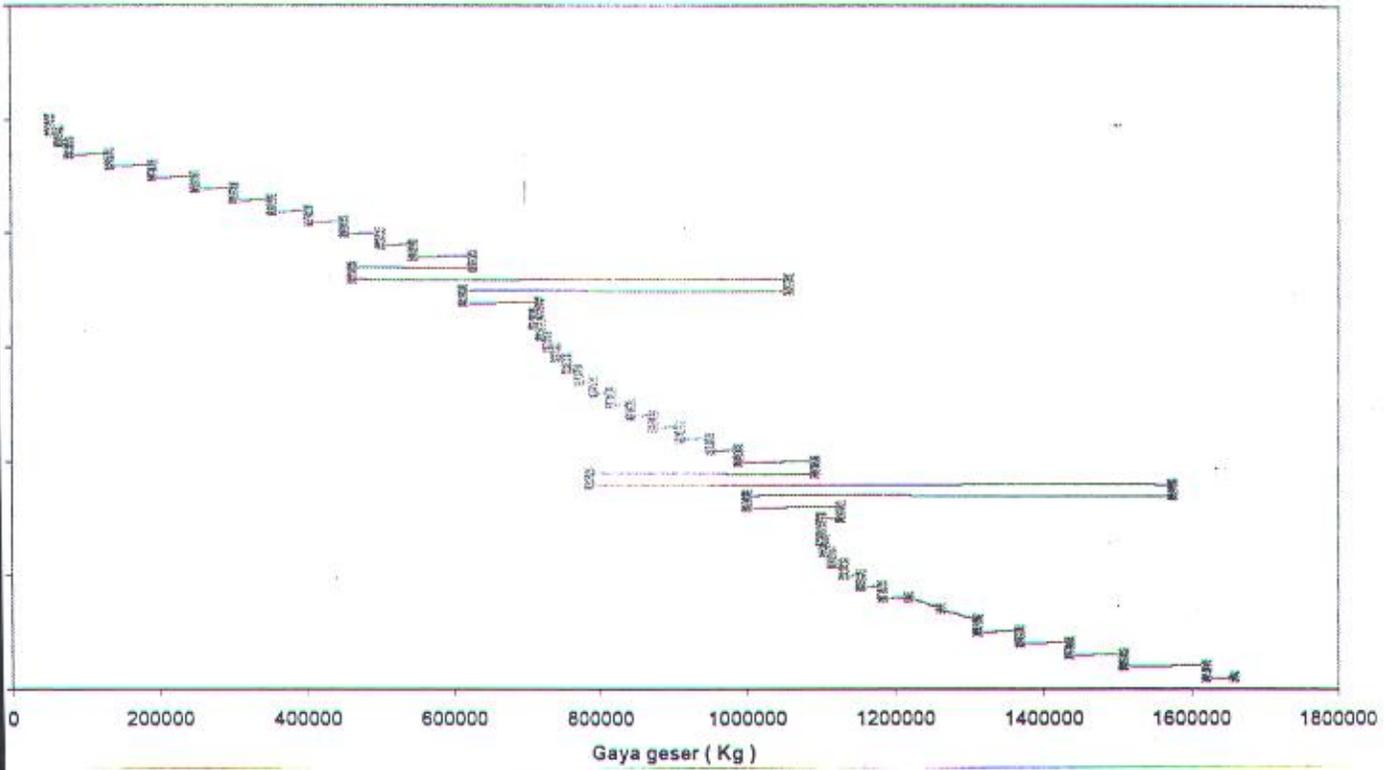
Gaya geser core struktur lantai satu outrigger



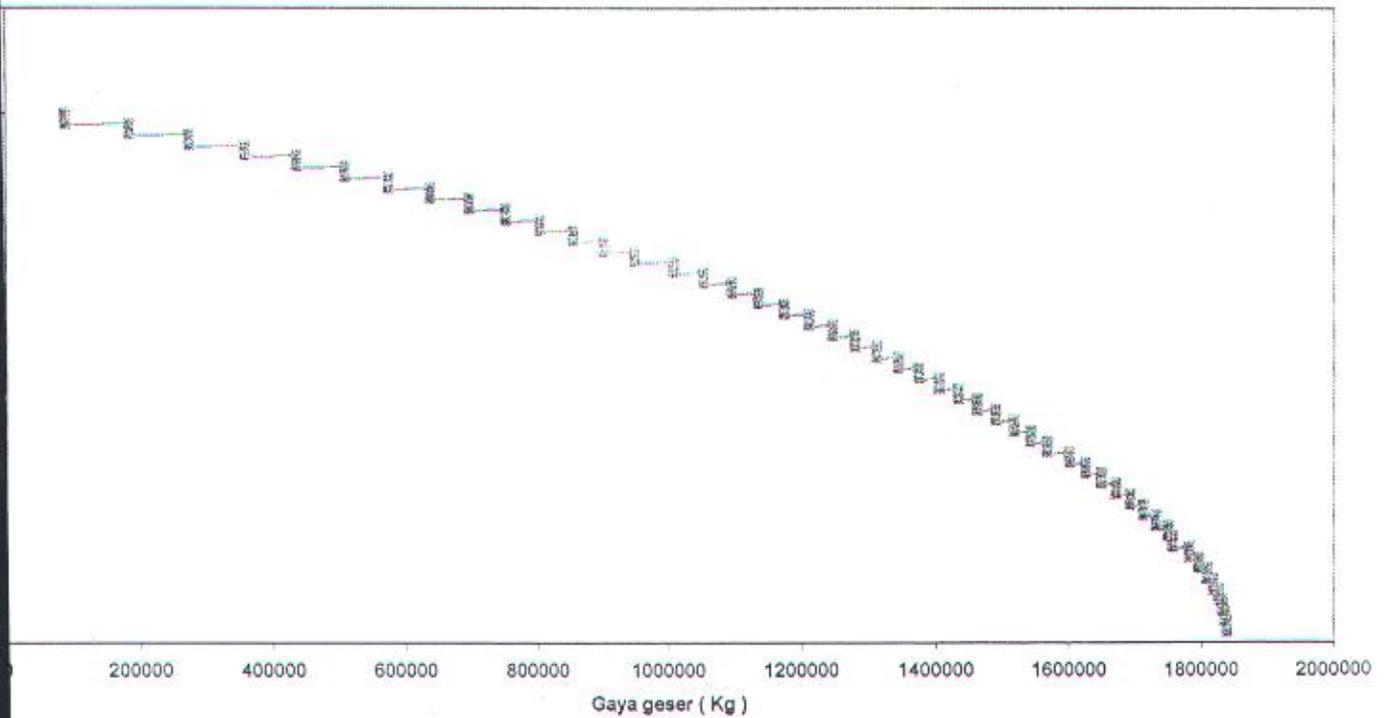
Gaya geser lantai struktur 50 lantai satu outrigger



Gaya geser core struktur 50 lantai dua outrigger



Gaya geser lantai struktur 50 lantai dua outrigger



Lampiran 3

rogram - Fifty stories - Three Dimensional
 c Response Spectrum Analysis units: Kg-M-Second

TROL DATA

```

  N
  M  N N      N N      N N N
  N A N P M N N N N L D N N R D S N
  T S L E A C B D P A Y S P G S L M
  F S D R T P P P P T N D D D P F D
  1 3 2 9 2 1 2 0 1 0 2 0 0 0 0 1 1
  
```

ELLANEIOUS PARAMETERS

DATA - AUTOMATIC CALCULATION OF STORY DATA

NSEG	SF	XC	YC	BB	DD	
46	1/9.8					
R MASS : TOP STORY						
IN						
77	0.5	0.5	0.5	0	0	\$C1
77	8.5	0.5	0.5	0	0	\$C2
77	14.5	0.5	0.5	0	0	\$C3
77	22.5	0.5	0.5	0	0	\$C4
77	0.5	8.5	8.5	0	0	\$C5
77	22.5	8.5	8.5	0	0	\$C6
77	0.5	16.5	16.5	0	0	\$C7
77	22.5	16.5	16.5	0	0	\$C8
77	0.5	24.5	24.5	0	0	\$C9
77	22.5	24.5	24.5	0	0	\$C10
77	0.5	32.5	32.5	0	0	\$C11
77	8.5	32.5	32.5	0	0	\$C12
77	14.5	32.5	32.5	0	0	\$C13
77	22.5	32.5	32.5	0	0	\$C14
SECTION BEAM						
2	4.5	8.5	8.5	8	0	\$B1
2	18.5	8.5	8.5	8	0	\$B2
2	4.5	16.5	16.5	8	0	\$B3
2	18.5	16.5	16.5	8	0	\$B4
2	4.5	24.5	24.5	8	0	\$B5
2	18.5	24.5	24.5	8	0	\$B6
2	4.5	0.5	0.5	8	0	\$B11
2	11.5	0.5	0.5	6	0	\$B12
2	18.5	0.5	0.5	8	0	\$B13
2	4.5	32.5	32.5	8	0	\$B14
2	11.5	32.5	32.5	6	0	\$B15
2	18.5	32.5	32.5	8	0	\$B16
SECTION BEAM						
2	8.5	4.5	4.5	0	8	\$B7
2	14.5	4.5	4.5	0	8	\$B8
2	8.5	28.5	28.5	0	8	\$B9
2	14.5	28.5	28.5	0	8	\$B10
2	0.5	4.5	4.5	0	8	\$B17
2	0.5	12.5	12.5	0	8	\$B18
2	0.5	20.5	20.5	0	8	\$B19
2	0.5	28.5	28.5	0	8	\$B20
2	22.5	4.5	4.5	0	8	\$B21
2	22.5	12.5	12.5	0	8	\$B22
2	22.5	20.5	20.5	0	8	\$B23
2	22.5	28.5	28.5	0	8	\$B24
SECTION PANEL						
	11.5	8.5	8.5	6	0	
	11.5	16.5	16.5	6	0	

	11.5	24.5	6	0	
SECTION PANEL					
	8.5	12.5	0	8	
	8.5	20.5	0	8	
	14.5	12.5	0	8	
	14.5	20.5	0	8	
E					
2	11.5	16.5	22	32	
NSEG	SF				
46	1/9.8				
	XC	YC	BB	DD	
R MASS : FLOOR WITHOUT OUTRIGGER					
MN					
.77	0.5	0.5	0	0	\$C1
.77	8.5	0.5	0	0	\$C2
.77	14.5	0.5	0	0	\$C3
.77	22.5	0.5	0	0	\$C4
.77	0.5	8.5	0	0	\$C5
.77	22.5	8.5	0	0	\$C6
.77	0.5	16.5	0	0	\$C7
.77	22.5	16.5	0	0	\$C8
.77	0.5	24.5	0	0	\$C9
.77	22.5	24.5	0	0	\$C10
.77	0.5	32.5	0	0	\$C11
.77	8.5	32.5	0	0	\$C12
.77	14.5	32.5	0	0	\$C13
.77	22.5	32.5	0	0	\$C14
SECTION BEAM					
.2	4.5	8.5	8	0	\$B1
.2	18.5	8.5	8	0	\$B2
.2	4.5	16.5	8	0	\$B3
.2	18.5	16.5	8	0	\$B4
.2	4.5	24.5	8	0	\$B5
.2	18.5	24.5	8	0	\$B6
.2	4.5	0.5	8	0	\$B11
.2	11.5	0.5	6	0	\$B12
.2	18.5	0.5	8	0	\$B13
.2	4.5	32.5	8	0	\$B14
.2	11.5	32.5	6	0	\$B15
.2	18.5	32.5	8	0	\$B16
SECTION BEAM					
.2	8.5	4.5	0	8	\$B7
.2	14.5	4.5	0	8	\$B8
.2	8.5	28.5	0	8	\$B9
.2	14.5	28.5	0	8	\$B10
.2	0.5	4.5	0	8	\$B17
.2	0.5	12.5	0	8	\$B18
.2	0.5	20.5	0	8	\$B19
.2	0.5	28.5	0	8	\$B20
.2	22.5	4.5	0	8	\$B21
.2	22.5	12.5	0	8	\$B22
.2	22.5	20.5	0	8	\$B23
.2	22.5	28.5	0	8	\$B24
SECTION PANEL					
	11.5	8.5	6	0	
	11.5	16.5	6	0	
	11.5	24.5	6	0	
SECTION PANEL					
	8.5	12.5	0	8	
	8.5	20.5	0	8	

	14.5	12.5	0	8	
	14.5	20.5	0	8	
E					
2	11.5	16.5	22	32	
NSEG	SF				
46	1/9.8				
	XC	YC	BB	DD	
R MASS : FLOOR WITH OUTRIGGER					
MN					
.77	0.5	0.5	0	0	\$C1
.77	8.5	0.5	0	0	\$C2
.77	14.5	0.5	0	0	\$C3
.77	22.5	0.5	0	0	\$C4
.77	0.5	8.5	0	0	\$C5
.77	22.5	8.5	0	0	\$C6
.77	0.5	16.5	0	0	\$C7
.77	22.5	16.5	0	0	\$C8
.77	0.5	24.5	0	0	\$C9
.77	22.5	24.5	0	0	\$C10
.77	0.5	32.5	0	0	\$C11
.77	8.5	32.5	0	0	\$C12
.77	14.5	32.5	0	0	\$C13
.77	22.5	32.5	0	0	\$C14
RECTION BEAM					
2	4.5	8.5	8	0	\$B1
2	18.5	8.5	8	0	\$B2
2	4.5	16.5	8	0	\$B3
2	18.5	16.5	8	0	\$B4
2	4.5	24.5	8	0	\$B5
2	18.5	24.5	8	0	\$B6
2	4.5	0.5	8	0	\$B11
2	11.5	0.5	6	0	\$B12
2	18.5	0.5	8	0	\$B13
2	4.5	32.5	8	0	\$B14
2	11.5	32.5	6	0	\$B15
2	18.5	32.5	8	0	\$B16
RECTION BEAM					
2	8.5	4.5	0	8	\$B7
2	14.5	4.5	0	8	\$B8
2	8.5	28.5	0	8	\$B9
2	14.5	28.5	0	8	\$B10
2	0.5	4.5	0	8	\$B17
2	0.5	12.5	0	8	\$B18
2	0.5	20.5	0	8	\$B19
2	0.5	28.5	0	8	\$B20
2	22.5	4.5	0	8	\$B21
2	22.5	12.5	0	8	\$B22
2	22.5	20.5	0	8	\$B23
2	22.5	28.5	0	8	\$B24
RECTION PANEL					
	11.5	8.5	6	0	
	11.5	16.5	6	0	
	11.5	24.5	6	0	
RECTION PANEL					
	8.5	12.5	0	8	
	8.5	20.5	0	8	
	14.5	12.5	0	8	
	14.5	20.5	0	8	
	11.5	16.5	22	32	

MN LINE LOCATION

XC	YC	TC
0.5	0.5	0
8.5	0.5	0
14.5	0.5	0
22.5	0.5	0
0.5	8.5	0
22.5	8.5	0
0.5	16.5	0
22.5	16.5	0
0.5	24.5	0
22.5	24.5	0
0.5	32.5	0
8.5	32.5	0
14.5	32.5	0
22.5	32.5	0
8.5	8.5	0
14.5	8.5	0
8.5	16.5	0
14.5	16.5	0
8.5	24.5	0
14.5	24.5	0

CONNECTIVITY

IC	JC
5	15
16	6
7	17
18	8
9	19
20	10
2	15
3	16
19	12
20	13
1	2
2	3
3	4
11	12
12	13
13	14
1	5
5	7
7	9
9	11
4	6
6	8
8	10
10	14
15	17
17	19
16	18
18	20
15	16
17	18
19	20

SPAN LOADING

NCON	W	FI	FJ	MI	MJ
0	2512	\$D1	(DEATH LOAD -	FOR TOP STORY)
0	1256	\$D2=D4			
0	2404.0625	\$D3			

0	LT40	1	22	0
0	LT17	2	0	0
0	LT16	1	15	0
7				
0	LT40	1	22	0
0	LT17	2	0	0
0	LT16	1	15	0
9				

L LOCATION DATA

SD	IC	JC	ID	IG
LT40	15	16	1	39
LT40	17	18	1	39
LT40	19	20	1	39
LT40	15	17	1	39
LT40	17	19	1	39
LT40	16	18	1	39
LT40	18	20	1	39

ENMENT OF VERTICAL BEAM LOADING DATA

NSM	SD	L1	L2	L3	IG
0	LT40	1	6	0	0
1					
1					
1					
1					
1					
0	LT40	3	8	0	0
7					
7					
7					
7					
7					
0	LT40	2	7	0	0
11					
11					
11					
11					
11					
11					
11					
11					
11					
0	LT40	4	9	0	0
12					
0	LT40	5	10	0	0
29					
29					
0	LT39	11	15	0	38
1					
1					
1					
1					
1					
0	LT39	13	18	0	38
7					
7					

7
 7
 7
 7
 7
 0 LT39 12 17 0 38
 11
 11
 11
 11
 11
 11
 11
 11
 11
 11
 11
 0 LT39 14 19 0 38
 12
 0 LT39 15 20 0 38
 29
 29

LOCATION DATA

IFC	XN	YN	TN	PHED
0	0	0	0	/3D-FRAME ANALYSIS

DYNAMIC ANALYSIS

R	NPC	ICQC	SF	DAMP
6	ANG2	ANG3	9.8	0.05
90				

CENTRO RESPONSE SPECTRUM

SA
 0.13
 0.13
 0.13
 0.065
 0.065
 0.065

CASE DATA

LABS	X1	X2	X3	XA	XB	XD1	XD2	XD3
0	1	1	0	0	0	1	0.3	
0	1	1	0	0	0	0.3	1	

INPUT DATA