

941/FT.01/SKRIP/07/2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERILAKU STRUKTUR KOMPOSIT BANGUNAN RUMAH
SAKIT TERHADAP RESPON ANALISA *PUSHOVER***

SKRIPSI

ANTHON M. M. SINAGA

0606072074

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**

941/FT.01/SKRIP/07/2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERILAKU STRUKTUR KOMPOSIT BANGUNAN RUMAH
SAKIT TERHADAP RESPON ANALISA *PUSHOVER***

SKRIPSI

Di ajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

**ANTHON M. M. SINAGA
0606072074**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**

941/FT.01/SKRIP/07/2010



UNIVERSITY OF INDONESIA

**HOSPITAL BUILDING COMPOSITE STRUCTURE
BEHAVIOR DUE TO PUSHOVER ANALYSIS RESPONSE**

FINAL REPORT

**Submitted as one of the requirements needed to obtain the Engineer
Bachelor Degree**

**ANTHON M. M. SINAGA
0606072074**

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM**

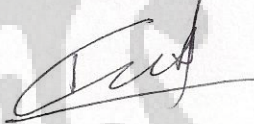
**DEPOK
JULY 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Anthon M. M. Sinaga

NPM : 0606072074

Tanda Tangan : 

Tanggal : 08 Juli 2010

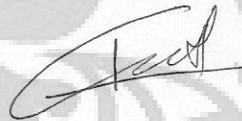
PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT

I declare that this undergraduate thesis is the result of my own research,
and all of the references either quoted or cited here
have been stated clearly.

Name : Anthon M. M. Sinaga

NPM : 0606072074

Signature :



Date : July 08th 2010

HALAMAN PENGESAHAN

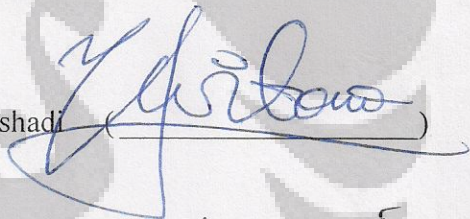
Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Anthon M. M. Sinaga
NPM : 0606072074
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perilaku Struktur Komposit Bangunan Rumah Sakit
Terhadap Respon Analisa *Pushover*

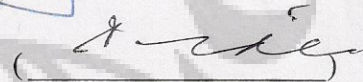
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

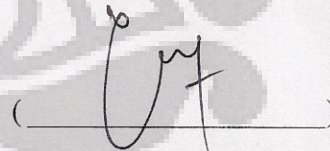
Pembimbing : Dr.-Ing., Ir. Henki Wibowo Ashadi



Penguji : Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng



Penguji : Mulia Orientilize ST., M.Eng



Ditetapkan di : Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia,
Depok

Tanggal : 08 Juli 2010

STATEMENT OF LEGITIMATION

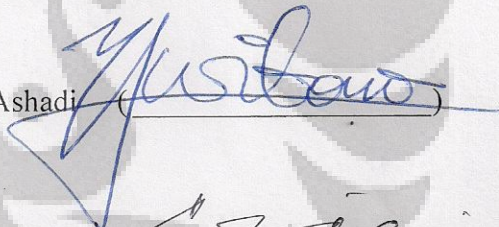
This final report proposed by :

Name : Anthon M. M. Sinaga
NPM : 0606072074
Study Program : Civil Engineering
Title : Hospital Building Composite Structure Behavior
Due to Pushover Analysis Response

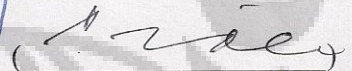
Has been successfully defended in front of the Examiners and was accepted as part of necessary requirements to obtain Engineering Bachelor Degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

COUNCIL EXAMINERS

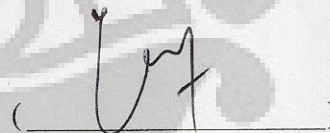
Counsellor : Dr.-Ing., Ir. Henki Wibowo Ashadi



Examiner : Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng



Examiner : Mulia Orientilize ST., M.Eng



Approved at : Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Indonesia, Depok.

Date : 08th July 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas kasih karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr-Ing. Ir. Henki W. Ashadi, selaku dosen pembimbing atas bimbingan, bantuan, pengarahan dan pencerahan dalam penyelesaian skripsi ini;
2. Para dosen penguji, atas waktu dan masukannya dalam perbaikan skripsi saat sidang seminar maupun sidang skripsi;
3. Orang tua dan keluarga, yang senantiasa member dukungan moril maupun materil yang berlimpah kepada penulis;
4. Yosua, Tiwi, dan Ipeh, yang senantiasa bersama-sama saling mendukung dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Sahabat dan teman-teman Sipil UI (khususnya angkatan 2006) yang member semangat, dukungan dan bantuan baik dalam perkuliahan maupun dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Staf dan karyawan Departemen Sipil UI atas bantuannya dalam kelancaran administrasi dan perkuliahan;
7. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, atas kerjasama dan bantuan dalam penyelesaian skripsi;
8. Yohanes Arif Siregar alias Anes, yang membantu sekali dalam penyelesaian skripsi ini;
9. Novita Angela M. alias Enjel, yang selalu memberi dukungan moril (mungkin juga materil yang tidak dapat diingat oleh penulis).

Akhir kata, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Penulis mohon maaf bila ada kekeliruan dan kesalahan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pengembangan ilmu teknik sipil.

Depok, Juli 2010

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anthon M. M. Sinaga
NPM : 0606072074
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PERILAKU STRUKTUR KOMPOSIT BANGUNAN RUMAH SAKIT
TERHADAP RESPON ANALISA *PUSHOVER***

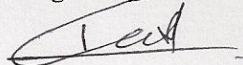
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 08 Juli 2010

Yang menyatakan



(Anthon M. M. Sinaga)

ABSTRAK

Nama : Anthon M. M. Sinaga
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Perilaku Struktur Komposit Bangunan Rumah Sakit Terhadap Respon Analisa *Pushover*

Skripsi ini membahas tentang perilaku struktur rumah sakit 14 lantai dengan menggunakan material komposit baja beton (*Rectangular Hollow Section*). Analisis yang digunakan adalah analisis statik nonlinier / analisis *pushover*, berdasarkan prinsip *performance-based design*. *Performance-based design* merupakan perencanaan berbasis performa yang dilakukan dengan menetapkan berbagai tingkat kinerja. Saat ini terdapat tiga metode evaluasi kinerja dengan analisis statik nonlinier, yaitu metode spectrum kapasitas ATC-40, metode koefisien perpindahan FEMA 356, dan metode koefisien perpindahan yang diperbaiki FEMA 440. Penelitian ini adalah penelitian simulasi numeric dengan bantuan program komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis *pushover* dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur dan juga memberikan informasi seberapa besar momen dan simpangan yang terjadi pada struktur sehingga dapat dilakukan optimalisasi atau efisiensi dalam merancang sebuah bangunan.

Kata kunci:
rumah sakit, material komposit baja beton, analisis statik nonlinier, evaluasi kinerja

ABSTRACT

Name : Anthon M. M. Sinaga
Study Program : Civil Engineering
Title : Hospital Building Composite Structure Behavior due to Pushover
Analysis Response

This thesis discusses the behavior of the hospital structure with 14 floors using steel concrete composite material (Rectangular Hollow Section). The analysis method is a nonlinear static analysis / pushover analysis, based on the principle of performance-based design. Performance-based design is a performance-based planning is done by assigning different levels of performance. Currently there are three methods of performance evaluation by nonlinear static analysis, namely the capacity spectrum method ATC-40, FEMA 356 method transfer coefficient, and an improved method of transfer coefficient FEMA 440. This research is a numerical simulation with the aid of a computer program. The results showed that the pushover analysis can provide information on the extent to which an earthquake will affect the structure and also provide information on how big the moment and the deflection that occurred in the structure so it can be done optimization or efficiency in designing a building.

Keywords:

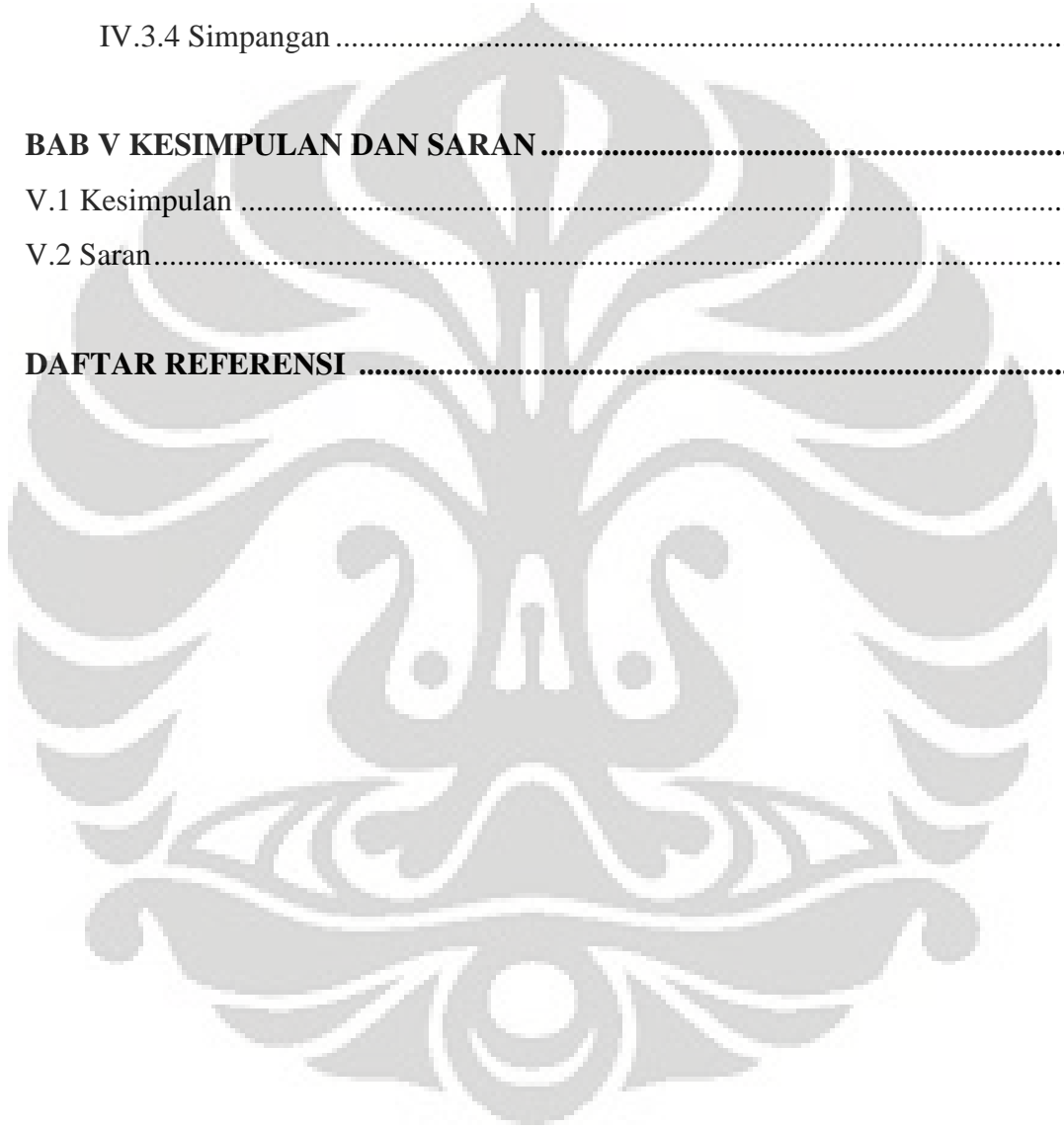
hospital, steel concrete composite materials, nonlinear static analysis, performance evaluation

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL(BAHASA INDONESIA)	i
HALAMAN JUDUL(BAHASA INGGRIS)	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS (BAHASA INDONESIA)	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS (BAHASA INGGRIS)	iv
HALAMAN PENGESAHAN (BAHASA INDONESIA)	v
HALAMAN PENGESAHAN (BAHASA INGGRIS)	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ix
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan Penulisan.....	2
I.3 Batasan Permasalahan.....	3
I.4 Metodologi Penelitian.....	3
I.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TEORI DASAR	6
II.1 Beton	6
II.2 Baja.....	11
II.3 Hollow Structural Section	19
II.4 Komposit	25
II.5 Pushover Analysis	27
II.5.1 Pola Beban Dorong	28

II.5.2 Target Perpindahan.....	29
II.5.3 Metoda Spektrum Kapasitas (<i>CSM</i>).....	30
II.5.3.1 Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas	32
II.5.3.2 Spektrum Demand (<i>Demand Spectrum</i>)	34
II.5.4 Metode Koefisien Perpindahan (<i>DCM</i>).....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	42
III.1 Prosedur Analisis	42
III.1.1 Tahapan Analisis	42
III.1.2 Modelisasi Awal Struktur.....	43
III.1.3 Input Data Struktur	45
III.1.4 Input Properti Material	45
III.1.5 Input Pembebanan	46
III.2 Prosedur Pushover dengan SAP2000 V14.....	46
BAB IV ANALISA	51
IV.1 Analisa Beban Gempa.....	51
IV.2 Model Struktur dengan Balok 40x70 cm.....	53
IV.2.1 Analisis Pushover pada Elemen Struktur	53
IV.2.2 Evaluasi Kinerja Struktur	55
IV.2.3 Gaya Dalam Momen.....	58
IV.2.3.1 Gaya Momen Kolom Tengah	59
IV.2.3.2 Gaya Momen Kolom Pinggir	60
IV.2.3.3 Gaya Momen Balok pada Kolom Tengah.....	61
IV.2.3.4 Gaya Momen Balok pada Kolom Pinggir	63
IV.2.4 Simpangan	65
IV.3 Model Struktur dengan Balok 40x70 cm dan 40x40 cm	71
IV.3.1 Analisis Pushover pada Elemen Struktur	71
IV.3.2 Evaluasi Kinerja Struktur	73

IV.3.3 Gaya Dalam Momen.....	75
IV.3.3.1 Gaya Momen Kolom Tengah	77
IV.3.3.2 Gaya Momen Kolom Pinggir	78
IV.3.3.3 Gaya Momen Balok pada Kolom Tengah	79
IV.3.3.4 Gaya Momen Balok pada Kolom Pinggir	81
IV.3.4 Simpangan	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	89
V.1 Kesimpulan	89
V.2 Saran.....	90
DAFTAR REFERENSI	91



DAFTAR GAMBAR

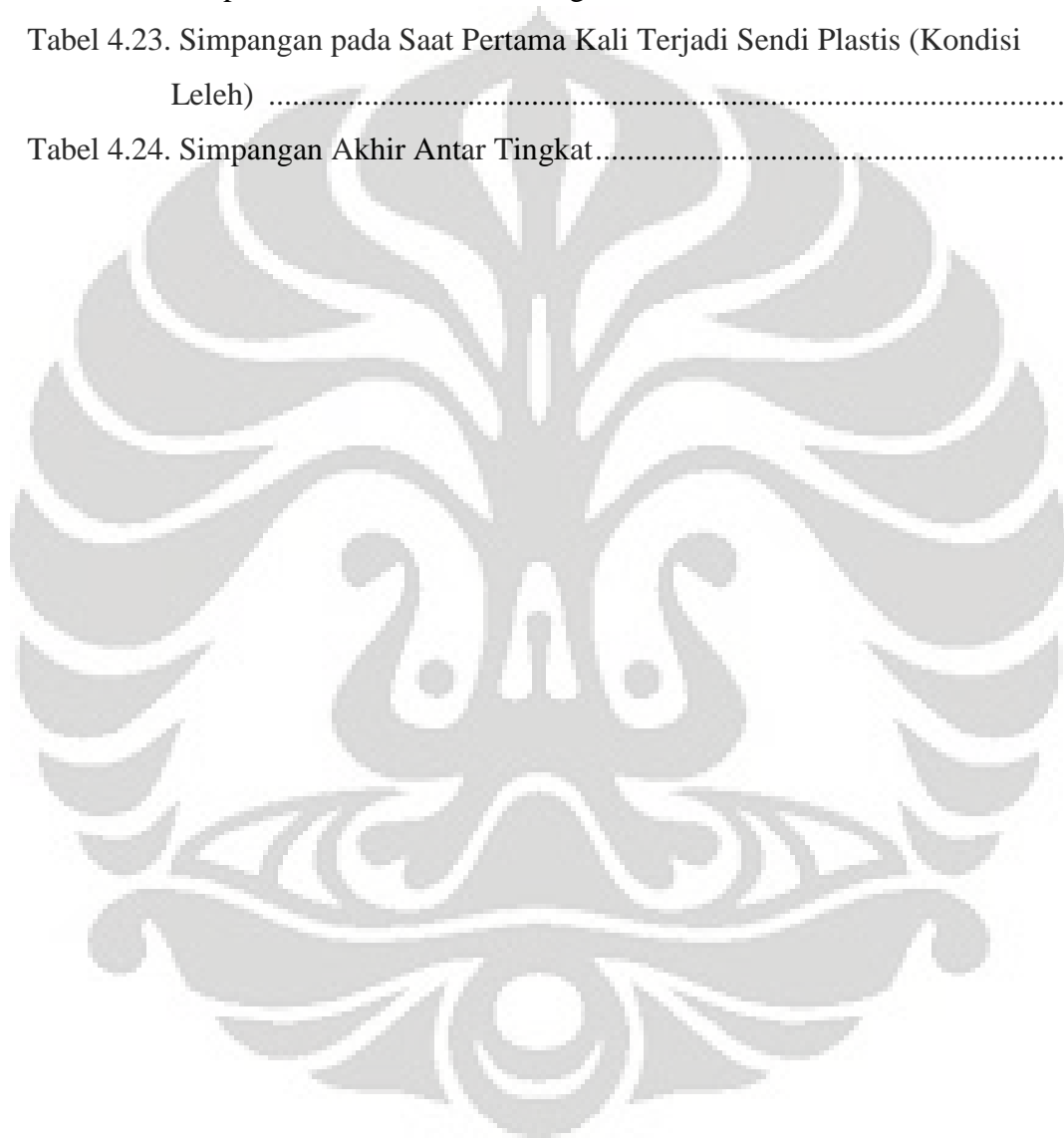
Gambar 2.1. Kurva Tegangan dan Regangan	8
Gambar 2.2. Beban Aksial yang Bekerja dan Menyebabkan Regangan.....	13
Gambar 2.3. Kurva Tegangan dan Regangan	13
Gambar 2.4. Penampang Komposit Rectangular	27
Gambar 2.5. Pola Beban Lateral	30
Gambar 2.6. Performance Point pada Capacity Spectrum Method	31
Gambar 2.7. Beberapa Titik Kinerja pada Satu Grafik Dalam CSM.....	32
Gambar 2.8. Kurva Kapasitas	33
Gambar 2.9. Spektrum Respon yang Ditampilkan Dalam Format Tradisional dan ADRS	35
Gambar 2.10. Reduksi Respon Spektrum	36
Gambar 2.11. Penentuan Titik Kinerja Menurut Spektrum Kapasitas.....	37
Gambar 2.12. Periode Getar Alami dari Kurva Pushover.....	38
Gambar 2.13. Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan (<i>FEMA 440</i>)	41
Gambar 3.1. Denah Struktur Lantai 1-14.....	44
Gambar 3.2. Model Struktur dalam 3D.....	44
Gambar 3.3. Contoh Model Struktur Sederhana.....	47
Gambar 3.4. Data <i>Hinge Properties</i>	47
Gambar 3.5. Menentukan Sendi Plastis	48
Gambar 3.6. Data <i>Loadcase Pushover</i>	48
Gambar 3.7. Kurva <i>Pushover</i>	49
Gambar 3.8. Data Tabular untuk Kurva <i>Pushover</i>	49
Gambar 3.9. Kurva Spektrum Kapasitas.....	50
Gambar 3.10. Deformasi dan Gaya Member <i>Step by Step</i>	50
Gambar 4.1. Grafik Kurva Kapasitas	53
Gambar 4.2. Spektrum Kapasitas.....	56
Gambar 4.3. Posisi Balok dan Kolom yang Ditinjau Untuk Gaya Dalam.....	58

Gambar 4.4. Posisi Kolom yang Ditinjau Untuk Gaya Dalam	59
Gambar 4.5. Grafik Momen Kolom Tengah.....	60
Gambar 4.6. Grafik Momen Kolom Pinggir	61
Gambar 4.7. Posisi Balok pada Kolom Tengah	62
Gambar 4.8. Grafik Momen Balok pada Kolom Tengah.....	63
Gambar 4.9. Posisi Balok pada Kolom Pinggir	64
Gambar 4.10. Grafik Momen Balok Pada Kolom Pinggir.....	65
Gambar 4.11. Grafik Displacement pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)	67
Gambar 4.12. Grafik Displacement Akhir Antar Tingkat.....	68
Gambar 4.13. Grafik Simpangan pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)	69
Gambar 4.14. Grafik Simpangan Akhir Antar Tingkat.....	70
Gambar 4.15. Grafik Kurva Kapasitas	71
Gambar 4.16. Spektrum Kapasitas.....	73
Gambar 4.17. Posisi Balok dan Kolom yang Ditinjau Untuk Gaya Dalam	76
Gambar 4.18. Posisi Kolom yang Ditinjau Untuk Gaya Dalam	76
Gambar 4.19. Grafik Momen Kolom Tengah.....	77
Gambar 4.20. Grafik Momen Kolom Pinggir	79
Gambar 4.21. Posisi Balok pada Kolom Tengah	80
Gambar 4.22. Grafik Momen Balok pada Kolom Tengah.....	81
Gambar 4.23. Posisi Balok pada Kolom Pinggir	82
Gambar 4.24. Grafik Momen Balok pada Kolom Pinggir	83
Gambar 4.25. Grafik Displacement pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)	84
Gambar 4.26. Grafik Displacement Akhir Antar Tingkat.....	85
Gambar 4.27. Grafik Simpangan pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)	86
Gambar 4.28. Grafik Simpangan Akhir Antar Tingkat.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Rasio Kuat Tekan Silinder-Kubus	7
Tabel 2.2. <i>Perbandingan Kuat Tekan Antara Silinder dan Kubus</i>	7
Tabel 2.3. Sifat Mekanis Baja Struktural	15
Tabel 2.4. Faktor Reduksi (ϕ) untuk Keadaan Kekuatan Batas	18
Tabel 2.5. Klasifikasi dari Bentuk HSS dengan Rasio Kelangsingan, λ	21
Tabel 4.1. Pengecekan Rasio Gaya Geser Dasar Dinamik-Statik.....	52
Tabel 4.2. Pengecekan Rasio Gaya Geser Dasar Dinamik-Statik.....	53
Tabel 4.3. Pembentukan Sendi Plastis	54
Tabel 4.4. Evaluasi Kinerja Sesuai ATC-40	56
Tabel 4.5. <i>Performance Level</i> Elemen Struktur pada Gedung Rumah Sakit 14 Lantai.....	57
Tabel 4.6. Gaya Dalam Momen Kolom Tengah.....	59
Tabel 4.7. Gaya Dalam Momen Kolom Pinggir	60
Tabel 4.8. Gaya Dalam Momen Balok pada Kolom Tengah.....	62
Tabel 4.9. Gaya Dalam Momen Balok pada Kolom Pinggir	64
Tabel 4.10. Displacement pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)	66
Tabel 4.11 Displacement Akhir Antar Tingkat.....	67
Tabel 4.12. Simpangan pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)	68
Tabel 4.13. Simpangan Akhir Antar Tingkat.....	69
Tabel 4.14. Pembentukan Sendi Plastis	72
Tabel 4.15. Evaluasi Kinerja Sesuai ATC-40	74
Tabel 4.16. <i>Performance Level</i> Elemen Struktur pada Gedung Rumah Sakit 14 Lantai.....	75
Tabel 4.17. Gaya Dalam Momen Kolom Tengah.....	77
Tabel 4.18. Gaya Dalam Momen Kolom Pinggir	78

Tabel 4.19. Gaya Dalam Momen Balok pada Kolom Tengah.....	80
Tabel 4.20. Gaya Dalam Momen Balok pada Kolom Pinggir	82
Tabel 4.21. Displacement pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)	84
Tabel 4.22. Displacement Akhir Antar Tingkat.....	85
Tabel 4.23. Simpangan pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)	86
Tabel 4.24. Simpangan Akhir Antar Tingkat.....	87



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah 2005-2009, disimpulkan bahwa saat ini dibutuhkan percepatan transformasi universitas, dari milik Negara menjadi universitas yang mandiri dan transparan. Salah satu langkah yang dilakukan untuk menghadapi kebijakan tersebut adalah dengan menyediakan fasilitas dan infrastruktur yang mendukung kegiatan pendidikan di lingkungan universitas.

Universitas Indonesia sebagai salah satu universitas terbaik di Indonesia memulai pembangunan di dalam lingkungan kampus yang terletak di Depok, Jawa Barat. Walaupun sejak tahun 1987 telah mulai merelokasi kampus yang semula berada di Salemba (Jakarta Pusat) ke kampus baru Depok, namun Fakultas Kedokteran dan Fakultas Kedokteran Gigi masih berada di Kampus Salemba. Hal ini disebabkan karena mereka masih menggunakan RSCM (Rumah Sakit Cipto Mangunkusumo) sebagai *teaching hospital*.

Sekarang ini, di wilayah Indonesia, mahasiswa fakultas kesehatan (kedokteran) mengambil pelatihan klinis (ilmu pengobatan) di rumah sakit umum (kelas A atau B*) yang disahkan sebagai *teaching hospital*. Di tahun 2005, hanya 22 rumah sakit yang telah disahkan oleh Menteri Kesehatan ataupun Pemerintah Propinsi. Dalam rangka meningkatkan pendidikan dan kapasitas penelitian, *Directorate General of Higher Education (DGHE)* atau Dewan Umum Pendidikan Tinggi, telah memulai kebijakan baru dalam pendidikan medis (kedokteran) serta sistem penelitian dengan “rumah sakit universitas”, yang dimiliki oleh universitas dan diatur oleh *DGHE*. Dengan mengikuti kebijakan tersebut, beberapa universitas umum dan swasta yang memiliki fakultas kesehatan (kedokteran) termasuk Universitas Indonesia merencanakan untuk membangun

* *International Building Code 2006 Chapter 3 _ Section 304 (Business Group B)*

rumah sakit universitas sendiri. *DGHE* memandang rumah sakit Universitas Indonesia sebagai sebuah model yang baik yang dapat dicontoh oleh universitas negeri lainnya.

Rumah sakit universitas yang direncanakan dapat menampung 300 tempat tidur. Hal ini sesuai dengan kesepakatan antara Universitas Indonesia dan misi *JBIC*, bahwa rumah sakit Universitas Indonesia yang dibangun akan menjadi rumah sakit praktek berukuran minimum (kecil) yang merupakan kelas B*, 300 tempat tidur. Struktur dari rumah sakit tersebut dan fakultasnya harus didesain berdasarkan desain tahan gempa, keselamatan terhadap bahaya kebakaran dan keselamatan terhadap banjir. Rumah sakit tersebut juga harus didesain dan dioperasikan berdasarkan keselamatan pasien. Selain itu, bangunan-bangunan tersebut harus didesain berdasarkan aspek penghijauan (*green design philosophy*), serta memperkecil energi yang telah digunakan dan menjadikan bangunan tersebut dapat mengatur pembuangannya sendiri.

Mengingat pentingnya bangunan rumah sakit ini, maka keamanan bangunan terhadap gempa dan pencegahan kerusakan bangunan akibat gempa sangat perlu diperhatikan. Perhatian khusus perlu diberikan terhadap perilaku inelastic dari struktur.

Pada saat ini Response History Analysis (RHA) dianggap sebagai prosedur yang paling tepat dan teliti untuk menghitung beban gempa. Namun para praktisi teknik sipil saat ini lebih memilih untuk menggunakan Non-linear Static Procedure (NSP) atau *pushover analysis*. Maka dari itu penulis tertarik untuk membuat analisa bangunan rumah sakit tersebut, yang menggunakan material baja dan beton yang tahan terhadap gempa. Penulis menggunakan program SAP2000 dalam merancang struktur rumah sakit dan juga dalam menganalisa struktur dengan *pushover analysis*.

1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dilakukannya penulisan skripsi ini adalah:

Universitas Indonesia

- Melakukan desain struktur bangunan rumah sakit Universitas Indonesia dengan material baja-beton berdasarkan *International Building Code 2006 (IBC_ICC)*.
- Melakukan analisa respon/perilaku struktur bangunan rumah sakit Universitas Indonesia dengan metode *push-over analysis*.

1.3 BATASAN PERMASALAHAN

Penelitian ini membatasi masalah dalam hal:

- Desain bangunan rumah sakit Universitas Indonesia 14 lantai dengan menggunakan material baja dan beton yang perhitungannya berdasarkan *International Building Code 2006 (IBC_ICC)*.
- Desain bangunan rumah sakit Universitas Indonesia yang terdiri dari beban gempa dan beban rumah sakit yang melingkupinya, berdasarkan *International Building Code 2006 (IBC_ICC)*.
- Menganalisa respon bangunan rumah sakit Universitas Indonesia dengan metode *pushover analysis* dan menggunakan program *SAP2000 V14*.

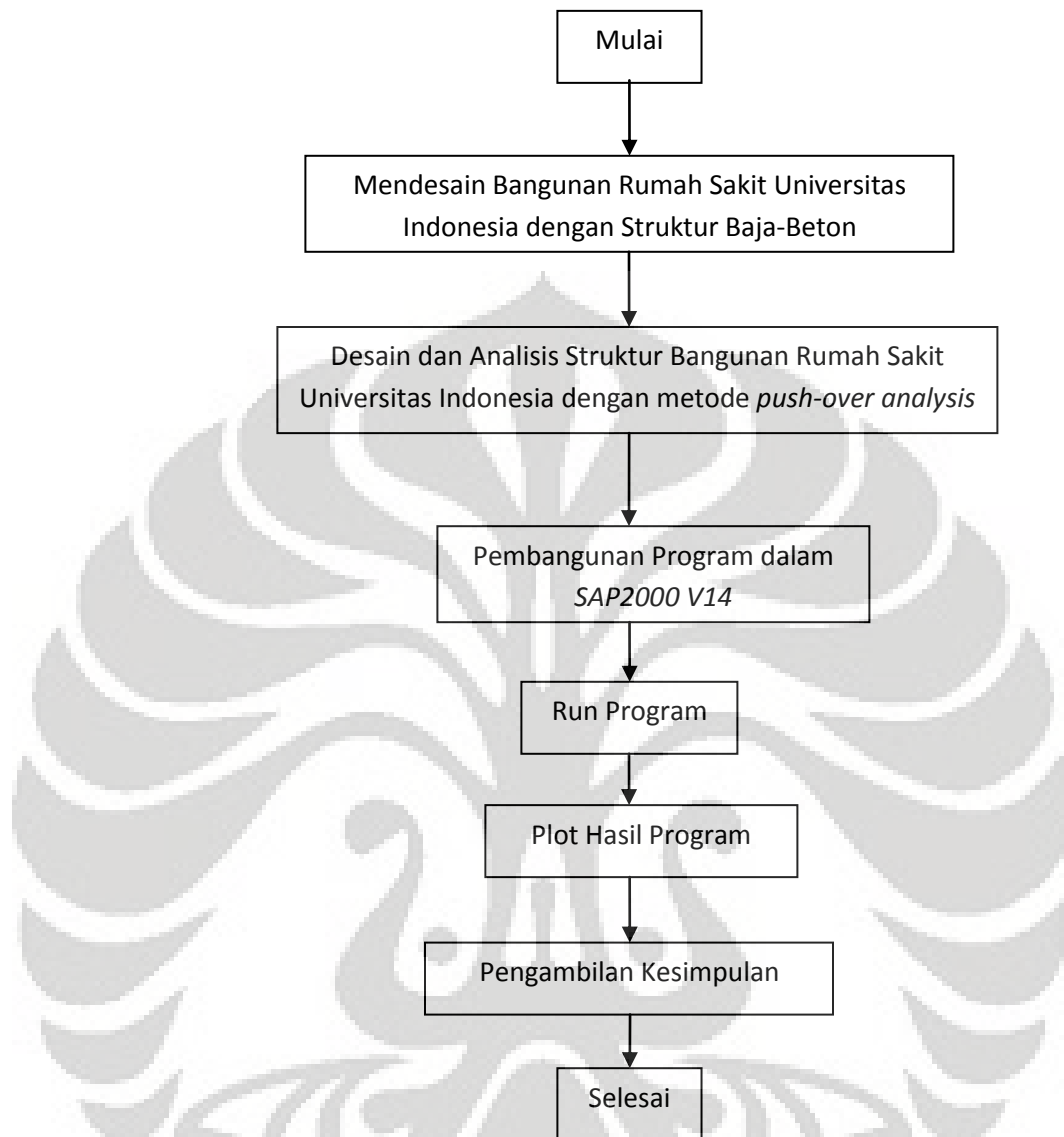
1.4 METODOLOGI PENELITIAN

Metode penulisan skripsi ini menggunakan metode deskriptif, yaitu memeberikan gambaran dan menguraikan langkah-langkah yang dilakukan secara terperinci. Adapun sumber-sumber informasi/data untuk membuat skripsi ini berasal dari:

- Hasil diskusi dengan dosen pembimbing, berupa asistensi yang serta diskusi mengenai apa saja yang harus dilakukan untuk penulisan skripsi ini.
- Data kepustakaan yang berasal dari berbagai macam buku serta website yang dijadikan sebagai referensi tambahan.

Berikut uraian langkah-langkah yang ditempuh dalam pembahasan penulisan skripsi ini secara umum yaitu :

Universitas Indonesia



1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini secara garis besar adalah:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang permasalahan yang akan dibahas, tujuan penulisan, batasan permasalahan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Bab ini menguraikan teori yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan. Dasar teori yang digunakan mengenai struktur baja dan beton secara umum, keuntungan material baja dan beton sebagai bahan konstruksi.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan metode yang digunakan untuk mendesain serta memodelkan struktur bangunan rumah sakit Universitas Indonesia agar dapat dianalisa hasil yang diperoleh.

BAB IV : ANALISA

Bab ini berisikan pemasukan data yang diberikan serta menganalisa hasil keluaran dari program *SAP2000 V14* mengenai metode analisa *pushover*.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari penjelasan-penjelasan yang telah dipaparkan dari bab-bab sebelumnya serta saran-saran dari hasil analisa yang telah dilakukan.

BAB II

TEORI DASAR

II.1 Beton

Dewasa ini pemakaian beton semakin banyak dijumpai untuk berbagai macam konstruksi bangunan. Hal ini dikarenakan beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi. Karena beton lebih kuat terhadap tekan daripada tarik, maka dalam hal ini kuat tekan beton merupakan gambaran dari mutu beton yang ada. Keuntungan lainnya dari beton antara lain perawatan yang murah, tahan terhadap temperature tinggi termasuk api, dan dapat dicor sesuai dengan bentuk dan ukuran yang dikehendaki. Namun beton juga memiliki kekurangan yaitu sebagai berikut :

- Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
- Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
- Berat
- Daya pantul suara yang besar

Beton merupakan elemen pembentuk struktur yang merupakan campuran dari semen, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya. Dalam hal pencapaian mutu pekerjaan beton terdapat beberapa faktor yang memengaruhi hasil dari pekerjaan beton. Faktor-faktor tersebut dapat kita kelompokkan menjadi faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal mencakup mutu bahan-bahan campuran beton. Faktor eksternal mencakup proses pelaksanaan.

Sifat dan karakteristik dari beton :

1. Kuat Tekan

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan listrik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan

kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 Part 115; Part 116 pada umur 28 hari. Kekuatan tekan relatif antara benda uji silinder dan kubus ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2 (menurut standar ISO).

Tabel 2.1. Rasio Kuat Tekan Silinder – Kubus

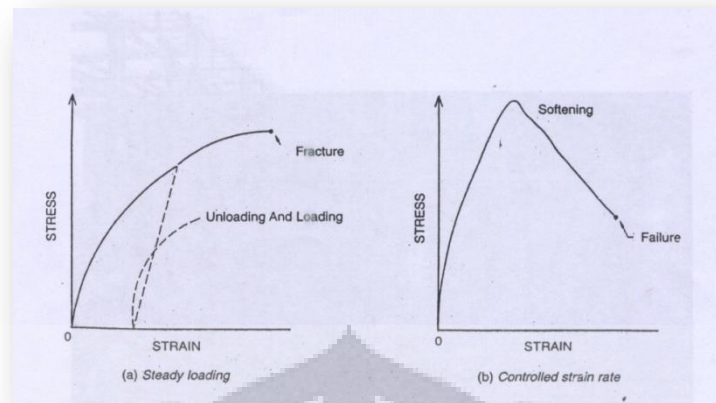
Kuat Tekan Silinder (Mpa)	2	4	6	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Kuat Tekan Kubus (Mpa)	3	5	8	10	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55

Tabel 2.2 Perbandingan Kuat Tekan Antara Silinder dan Kubus

Edition, Pitman Publishing, London, 1981, p.544)

Kuat Tekan (Mpa)	7	15.2	20	24.10	26.2	34.5	36.5	40.7	44.1
Kuat Rasio Silinder/Kubus	0.76	0.77	0.81	0.87	0.91	0.94	0.87	0.92	0.91

Salah satu cara mengendalikan mutu beton adalah dengan menguji sampel atau benda uji. Ada dua tipe cara pengujian, yaitu *steady loading* yang dilakukan dengan cara mengontrol pembebanan dan *controlled strain rate* dengan mengontrol regangan.



Gambar 2.1. Kurva Tegangan dan Regangan

2. Kemudahan Pengerjaan

Kemudahan pengerjaan beton merupakan salah satu *workability* utama yang dibutuhkan. Walaupun suatu struktur beton dirancang agar mempunyai kuat tekan yang tinggi, tetapi jika rancangan tersebut tidak dapat diimplementasikan dilapangan karena sulit untuk dikerjakan maka rancangan tersebut menjadi percuma. Kemajuan teknologi membawa dampak yang nyata untuk mengatasi hal ini, yaitu dengan penggunaan bahan tambah untuk memperbaiki *workability*.

3. Modulus Elastisitas Statis

Beton tidak memiliki modulus elastisitas yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik dan perbandingan semen dan agregat. Nilai modulus elastisitas dari beton yang memiliki berat normal 2400 kg/m^3 dalam SI tergantung dari mutu beton dan dirumuskan sebagai berikut :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (\text{dalam Mpa})$$

Sedangkan dalam ACI menyebutkan bahwa rumus berikut ini dapat digunakan untuk menghitung modulus elastisitas beton yang memiliki berat normal 145 lb/ft³ yaitu :

$$E_c = 57000\sqrt{f'_c}$$

4. Modulus Elastisitas Dinamis

Modulus elastisitas dinamis berkorespons dengan regangan-tegangan yang sangat kecil, biasanya diperoleh dari uji sonik. Nilainya biasanya lebih besar 20% sampai 40% daripada nilai modulus elastisitas statis. Modulus elastisitas dinamis ini biasanya dipakai pada analisis struktur dengan beban gempa atau tumbukan.

5. Rangkak dan Susut

Setelah beton mulai mengeras, beton akan mengalami pembebanan. Pada beton yang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastisitas murni pada waktu pembebanan singkat, sedangkan pada pembebanan yang tidak singkat beton akan mengalami regangan dan tegangan sesuai dengan lama pembebanannya. Rangkak (*creep*) atau *lateral material flow* didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. (Nawy, 1985:49). Deformasi awal akibat pembebanan disebut sebagai regangan elastis, sedangkan regangan tambahan akibat beban yang sama disebut regangan rangkak. Anggapan praktis ini cukup dapat diterima karena deformasi awal pada beton hampir tidak dipengaruhi oleh waktu. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan berakhir setelah beberapa tahun. Nilai rangkak untuk beton mutu tinggi lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu rendah. Umumnya, rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur tetapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi

tegangan pada beban yang bekerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan (*deflection*). Rangkak tidak dapat langsung dilihat. Rangkak hanya dapat diketahui apabila regangan elastis dan susut serta deformasi totalnya diketahui. Meskipun susut dan rangkak adalah fenomena yang saling terkait, dalam hal ini superposisi regangan dianggap berlaku sehingga regangan total adalah regangan elastis ditambah rangkak dan susut.

Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Jika dihalangi secara merata, proses susut dalam beton akan menimbulkan deformasi yang umumnya bersifat menambah deformasi rangkak.

Berbagai eksperimen menunjukkan bahwa deformasi rangkak akan sebanding dengan tegangan yang bekerja. Hal ini berlaku pada keadaan tegangan yang rendah. Batas atas tidak dapat ditentukan dengan pasti, tetapi berkisar antar 0,2 dan 0,5 dari kekuatan batas kekuatan tekannya (f_c). Variasi batas ini diakibatkan oleh besarnya retak mikron diatas sekitar 40% dari beban batas (Nawy, 1985:50).

Proses rangkak selalu dihubungkan dengan susut karena keduanya terjadi bersamaan dan sering kali memberikan pengaruh yang sama terhadap deformasi. Pada umumnya, beton yang semakin tahan terhadap susut akan mempunyai kedenderungan rangkak yang rendah, sebab kedua fenomena ini berhubungan dengan proses hidrasi pada semen. Rangkak dipengaruhi oleh komposisi beton, kondisilingkungan, ukuran benda uji atau elemen struktur. Pada prinsipnya rangkak merupakan fenomena yang bergantung pada beban sebagai fungsi waktu.

Komposisi beton pada dasarnya dapat didefinisikan dengan faktor Air Semen (FAS), jenis semen, jenis agregat serta kandungan semen dan agregat. Seperti halnya susut, rangkak akan semakin besar dengan

meningkatnya faktor air semen dan kandungan semen. Demikian pula, semakin banyak agregat yang digunakan semakin sedikit susut yang terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkai dan susut dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat)
- Rasio air terhadap jumlah semen (*water content ratio*)
- Suhu pada saat pengerasan (*temperature*)
- Kelembaban nisbi pada saat beban bekerja
- Nilai slump (*slump test*)
- Lama pembebanan
- Nilai tegangan
- Nilai rasio permukaan komponen struktur

6. Kuat Tarik

Kuat tarik beton bervariasi antara 8% sampai 15% dari kuat tekannya. Alasan utama dari kuat tarik yang kecil ini adalah kenyataan bahwa beton dipenuhi oleh retak-retak halus. Retak-retak ini tidak berpengaruh besar bila beton menerima beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyakuran tekanan. Jelas ini tidak terjadi bila balok menerima beban tarik.

Meskipun biasanya diabaikan dalam perhitungan desain, kuat tarik tetap merupakan sifat penting yang mempengaruhi ukuran beton dan seberapa retak yang terjadi. Selain itu, kuat tarik dari batang beton diketahui selalu akan mengurangi jumlah lendutan. Karena kuat tarik beton tidak besar, maka diperkirakan Modulus Elastisitas tarik beton sama dengan modulus elastisitas tekan betonnya.

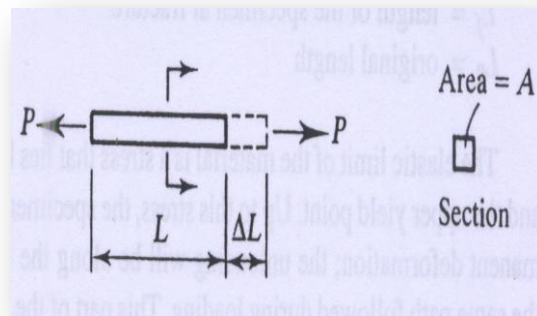
II.2 Baja

Dewasa ini, baja dapat diproduksi dengan bermacam-macam kekuatan yang dinyatakan dengan kekuatan tegangan tarik leleh f_y atau oleh tegangan tarik batas f_u . Meskipun dari jenis yang paling rendah kekuatannya, bahan baja tetap memiliki perbandingan kekuatan per volume lebih tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya. Hal ini memungkinkan perencanaan konstruksi baja, memiliki beban mati yang lebih kecil untuk bentang yang lebih panjang, sehingga dapat memberikan kelebihan ruang yang dapat dimanfaatkan akibat langsingnya profil-profil yang digunakan. Keuntungan baja lainnya adalah keseragaman bahan, kemudahan pembuatan, dan proses pemasangan yang cepat di lapangan. Disamping keuntungan tersebut, bahan baja juga memiliki kelemahan mudahnya bahan ini mengalami korosi dan berkurangnya kekuatan pada temperature tinggi.

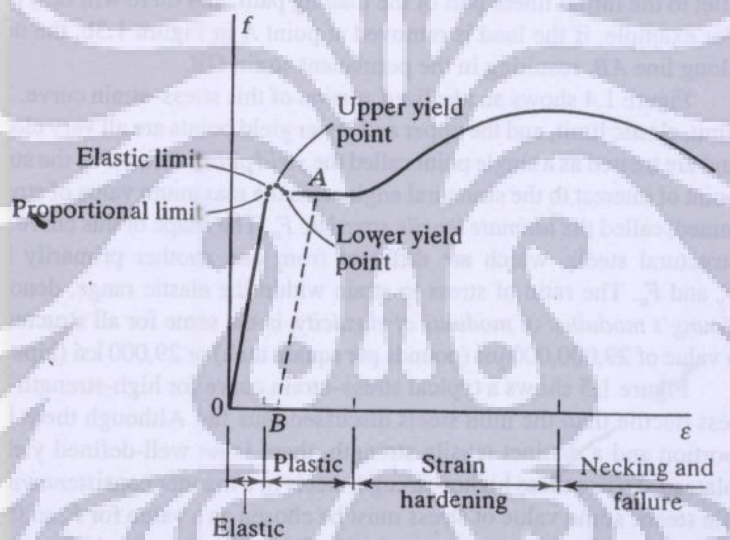
Adanya sifat daktilitas yang dimiliki oleh baja, membuat suatu struktur baja mampu mencegah runtuhnya bangunan secara tiba-tiba. Sifat ini sangat menguntungkan dilihat dari segi keamanan penghuni bangunan, sebab memberikan peringatan dini pada pemakai melalui deformasinya yang besar.

Balok baja untuk pemakaian struktural dibuat dari profil giling (*rolled shapes*). Baja jenis ini terdiri dari baja karbon, baja paduan rendah berkekuatan tinggi, dan baja paduan. Baja paduan rendah kekuatan tinggi memiliki sifat tahan karat yang lebih besar dari baja karbon struktural, baik dengan atau tanpa penambahan tembaga. Sifat karat pada baja tergantung pada beberapa factor yaitu susunan kimia, derajat polusi pada atmosfer, serta frekuensi pembasahan dan pengeringan.

Dari hasil uji tarik (pada gambar 2) didapat kurva tegangan-regangan seperti dibawah ini :



Gambar 2.2. Beban Aksial yang Bekerja dan Menyebabkan Regangan



Gambar 2.3. Kurva Tegangan dan Regangan

Kurva tegangan dan regangan didapat dari :

$$f = \frac{P}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Dimana : f = tegangan aksial

A = luas penampang properties

ϵ = regangan aksial

L = panjang penampang

ΔL = perubahan panjang

Keterangan dari kurva tersebut :

- ***Elastic Range***

Ketika baja dibebani, baja akan bertambah tegangannya tanpa mengalami regangan permanen, sehingga jika beban dihilangkan maka baja akan kembali ke kondisi semula. Pada kondisi ini baja masih bersifat elastic.

- ***Plastic Range***

Pada plastic range elemen akan mengalami pertambahan regangan tanpa diikuti oleh penambahan tegangan.

- ***Strain Hardening***

Setelah *plastic range* baja akan mengalami *strain hardening* yaitu adanya pertambahan regangan seiring dengan pertambahan tegangan. Kemiringan kurva pada daerah *strain hardening* (E_d) besarnya kira-kira 0.04 E. Sedangkan regangan *strain hardening* besarnya adalah 10 kali dari regangan leleh (ϵ_y).

Berikut ini adalah karakteristik dari material baja:

1. Sifat Mekanis Baja

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel dibawah ini:

Tabel 2.3. Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

2. Tegangan leleh

Tegangan leleh untuk perencanaan (f_y) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan tabel 1.

3. Tegangan putus

Tegangan putus untuk perencanaan (f_u) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan tabel 1.

4. Sifat-sifat mekanis lainnya

Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

- Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ Mpa}$
- Modulus geser : $G = 80.000 \text{ Mpa}$
- Nisbah poisson : $\mu = 0,3$
- Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10E-6 \text{ } ^\circ\text{C}$

5. Syarat Penerimaan baja

Laporan uji material baja di pabrik yang disahkan oleh lembaga yang berwenang dapat dianggap sebagai bukti yang cukup untuk memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar ini.

6. Baja yang tidak teridentifikasi

Baja yang tidak teridentifikasi boleh digunakan selama memenuhi ketentuan berikut ini:

- bebas dari cacat permukaan
- sifat fisik material dan kemudahannya untuk dilas tidak mengurangi kekuatan dan kemampuan layan strukturnya
- dites sesuai ketentuan yang berlaku. *Tegangan leleh* (f_y) untuk perencanaan tidak boleh diambil lebih dari 170 MPa sedangkan *tegangan putus* (f_u) tidak boleh diambil lebih dari 300 MPa.

Perencanaan suatu struktur untuk keadaan-keadaan stabil batas, kekuatan batas, dan kemampuan-layan batas harus memperhitungkan pengaruh-pengaruh dari aksi sebagai akibat dari beban-beban berikut ini:

1. beban hidup dan mati seperti disyaratkan pada SNI 03-1727-1989 atau penggantinya;
2. untuk perencanaan *Crain* (alat pengangkat), semua beban yang relevan yang disyaratkan pada SNI 03-1727-1989, atau penggantinya;
3. untuk perencanaan pelataran tetap, lorong pejalan kaki, tangga, semua beban yang relevan yang disyaratkan pada SNI 03-1727-1989, atau penggantinya;
4. untuk perencanaan lift, semua beban yang relevan yang disyaratkan pada SNI 03-1727-1989, atau penggantinya;
5. pembebanan gempa sesuai dengan SNI 03-1726-1989, atau penggantinya;
6. beban-beban khusus lainnya, sesuai dengan kebutuhan.

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan di bawah ini:

- $1,4D$
- $1,2D + 1,6 L + 0,5 (La \text{ atau } H)$
- $1,2D + 1,6 (La \text{ atau } H) + (\gamma L L \text{ atau } 0,8W)$
- $1,2D + 1,3 W + \gamma L L + 0,5 (La \text{ atau } H)$
- $1,2D \pm 1,0E + \gamma L L$
- $0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E)$

Keterangan:

D adalah beban mati yang diakibatkan oleh *berat konstruksi permanen*, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.

La adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.

H adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.

W adalah beban angin

E adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03–1726–1989, atau penggantinya.

$L = 0,5$ bila $L < 5$ kPa, dan $\gamma L = 1$ bila $L \geq 5$ kPa. Kekecualian: Faktor beban untuk L di dalam kombinasi pembebanan harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum, dan semua daerah di mana beban hidup lebih besar daripada 5 kPa.

Berikut ini adalah tabel untuk faktor reduksi untuk baja, dimana faktor reduksi adalah suatu faktor yang dipakai untuk mengalikan kuat nominal untuk mendapatkan kuat rencana:

Tabel 2.4. Faktor Reduksi (ϕ) untuk Keadaan Kekuatan Batas.

Kuat rencana untuk	Faktor Reduksi
<p><i>Komponen struktur yang memikul lentur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • balok • balok pelat berdingding penuh • pelat badan yang memikul geser • pelat badan pada tumpuan • pengaku 	<p>0,90</p> <p>0,90</p> <p>0,90</p> <p>0,90</p> <p>0,90</p>
<p><i>Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • kuat penampang • kuat komponen struktur 	<p>0,85</p> <p>0,85</p>
<p><i>Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • terhadap kuat tarik leleh • terhadap kuat tarik fraktur 	<p>0,90</p> <p>0,75</p>
<p><i>Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • kuat lentur atau geser • kuat tarik • kuat tekan 	<p>0,90</p> <p>0,90</p> <p>0,85</p>
<p><i>Komponen struktur komposit :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • kuat tekan • kuat tumpu beton 	<p>0,85</p> <p>0,60</p>

<ul style="list-style-type: none"> • kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik • kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik 	<p>0,85</p> <p>0,90</p>
<p><i>Sambungan baut :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • baut yang memikul geser • baut yang memikul tarik • baut yang memikul kombinasi geser dan tarik • lapis yang memikul tumpu 	<p>0,75</p> <p>0,75</p> <p>0,75</p> <p>0,75</p>
<p><i>Sambungan las :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • las tumpul penetrasi penuh • las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian • las pengisi 	<p>0,90</p> <p>0,75</p> <p>0,75</p>

II.3 Hollow Structural Section

Kriteria desain untuk lingkaran atau segi-empat *hollow structural sections* (HSS) digunakan sebagai bagian dari struktur dalam suatu bangunan di jelaskan dalam *AISC "Specification for the Design of Steel Hollow Structural Sections"*. Perlu diingat bahwa dalam spesifikasi HSS, pada saat mendesain, ketebalannya tidak diketahui maka digunakan 0,93 dari ketebalan nominal. Pada saat air dapat masuk ke dalam, baik pada saat proses konstruksi atau pada saat pemeliharaan, bagian dari HSS harus tertutup, dan memiliki lubang saluran pada dasar/atau bagian paling bawah.

1. Beban

Kombinasi pembebanan pada *AISC LRFD Specification* dapat di gunakan juga untuk HSS. Bagaimanapun, beban angin yang bekerja pada area HSS dapat dikurangi dengan pemakaian dari elemen yang tipis dari HSS tersebut. Dengan mengalikan beban angin dengan factor reduksi, R_f :

Untuk lingkaran HSS, $R_f = \frac{2}{3}$

Untuk segi-empat HSS dengan jari-jari bagian luar lebih besar dari atau sama dengan 0.05 kali lebar (B), maka beban angin akan bekerja pada bagian yang pendek (B),

$$R_f = 0.4 + 0.6B/H \leq 2/3, \text{ dimana H adalah kedalaman dari HSS}$$

Untuk segi-empat HSS untuk kondisi lain, $R_f = 1.0$

2. Axial Tension

LRFD design untuk *Axial Tension* untuk HSS sama dengan untuk material lainnya. Hal ini berdasarkan pada batas leleh (*limit states of yielding*) dari *gross section* dan retak (*fracture*) dari *effective net section*. Area efektif dapat dicari dengan mengalikan area (A) dengan faktor U. Untuk sambungan yang di las diseluruh bagian, $A = A_g$ dimana A_g adalah *Gross area* dan $U = 1$. Untuk sambungan dengan *concentric gusset plate* penyambung, $A = A_g$, dimana Net Area, A_n pada ujung dari pelat adalah *Gross area* dikurangi ketebalan dan total kedalaman dari material, dan $U = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0.9$. Dimana \bar{x} jarak garis tegak lurus dari las ke pusat dari area *cross-section*.

Untuk lingkaran HSS dengan *single concentric gusset plate*, $\bar{x} = D/\pi$.

Untuk segi-empat HSS dengan *single concentric gusset plate*,

$$\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$$

Untuk sambungan dengan segi-empat HSS dan sepasang *gusset plate*, $A = A_g$ dimana A_g adalah *gross area* dan nilai $U = 1 - (\bar{x}/L) \leq 0.9$

dikali dengan nilai $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$

Dimana :

L = panjang sambungan pada arah pembebanan

D = diameter luar dari lingkaran HSS

B = lebar dari segi-empat HSS

H = tinggi dari segi-empat HSS

Nilai yang lebih besar dari U diijinkan pada saat telah dinyatakan dalam tes atau kriteria yang rasional. Untuk susunan *end-connection* yang lain, nilai U harus diperoleh dari tes atau kriteria rasional.

3. Local Buckling dari HSS

Seperti material lainnya HSS juga mengalami *local buckling* pada saat tertekan oleh gaya aksial atau momen. Tabel 5 menunjukkan batas untuk *compact section*, λ_r dan *non-compact section*, λ_p . λ_r menunjukkan *slender-element section*. Untuk desain dengan analisa plastis, λ_p dibutuhkan untuk *compact section* dimana lebih keras seperti yang terlihat pada tabel 5. Selain itu, untuk menghitung efek siklis, maka dibutuhkan AISC “*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*” yang akan diaplikasi pada gaya seismik.

Tabel 2.5. Klasifikasi dari Bentuk HSS dengan Rasio Kelangsingan, λ

Deskripsi ^a	<i>Compact</i> , λ_p	<i>Noncompact</i> , λ_r
Lingkaran HSS, D/t,^b		
Pada tegangan aksial	$0.0714E / F_y$	$0.0114E / F_y$
Pada flexure	$0.0448E / F_y$	$0.309E / F_y$
Pada desain plastis		
Dinding dari persegi HSS, b/t atau h/t;		
In uniform compression	$1.12\sqrt{E / F_y}$	$1.40\sqrt{E / F_y}$
Pada desain plastis	$0.939\sqrt{E / F_y}$	

Dinding dari persegi**HSS, h/t;**

Pada tegangan flexural	$3.76\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$
Pada kombinasi tegangan aksial dan flexural	c	$5.70\sqrt{E/F_y} \left(1 - \frac{0.75P_u}{\phi_b P_y}\right)$

^adefinisi : D = diameter luar, t = ketebalan dinding, b = jarak bersih antara badan kurang jari-jari bagian dalam pada setiap badan, h = jarak bersih antara sayap kurang jari-jari bagian dari tiap badan. Jika sudut jari-jari tidak diketahui, maka b sebagai lebar keseluruhan -3t dan h sebagai tinggi keseluruhan -3t

^bD/t harus lebih kecil dari atau sama dengan 0.448E/F_y

^cuntuk $P_u/\phi_b P_y \leq 0.125$

$$3.76\sqrt{E/F_y} \left(1 - \frac{2.75P_u}{\phi_b P_y}\right)$$

untuk $P_u/\phi_b P_y > 0.125$

$$1.12\sqrt{E/F_y} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y}\right) \geq 1.49\sqrt{E/F_y}$$

dimana, E = modulus elastisitas (29.000ksi), F_y = tegangan leleh (ksi), P_u = kekuatan yang diperlukan (kips), P_y = F_yA (kips), dan $\phi_b=0.9$

4. Axial Compression

Faktor panjang efektif juga dapat dihitung dari analisa rasional atau dapat diambil dari yang sudah ditetapkan dalam AISC untuk spesifikasi HSS. Kekuatan desain untuk *flexural buckling* dapat dihitung dengan prosedur dengan menggunakan persamaan :

$$\phi P_n = 0.85 A_g F_{cr}$$

Dimana untuk kolom komposit

$$\lambda_c \leq 1.5 \quad ; \quad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_{my}$$

$$\lambda_c > 1.5 \quad ; \quad F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} F_{my}$$

$$\text{dimana : } \lambda_c = \left(\frac{KL}{r_m \pi} \right) \sqrt{F_{my} / E_m}$$

$$F_{my} = F_y + c_1 F_{yr} \left(\frac{A_r}{A_g} \right)$$

$$E_m = E + c_3 E_c \left(\frac{A_c}{A_g} \right)$$

r_m = jari-jari girasi dari baja, $\text{in} \leq 0.3$ dari ketebalan keseluruhan dari luas komposit pada bagian dari buckling untuk baja

A_c = luas dari beton, (in^2)

A_r = area dari *longitudinal reinforcement*, (in^2)

E_c = modulus elastisitas dari beton, (ksi)

F_{yr} = tegangan leleh minimum dari *longitudinal reinforcement*, (ksi)

$c_1 = 1.0$, $c_2 = 0.85$, $c_3 = 0.4$ (untuk komposit segi-empat)

Tetapi, dalam mencari nilai tegangan kritis, F_{cr} , faktor Q juga mempengaruhi efek dari *local buckling*. Ketentuan untuk spesifikasi HSS adalah sebagai berikut ;

$$\text{untuk } \lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5 \quad ; \quad F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$$

$$\text{untuk } \lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \quad ; \quad F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$$

untuk semua HSS dengan nilai $\lambda \leq \lambda_r$, maka $Q = 1$

untuk lingkaran HSS dengan nilai $\lambda > \lambda_r$, tetapi $< 0.448E/F_y$ maka

$$Q = \frac{0.0379E}{F_y \left(\frac{D}{t} \right)} + \frac{2}{3}$$

untuk segi-empat HSS dengan nilai $\lambda > \lambda_r$, maka $Q = \frac{A_{eff}}{A_g}$. A_{eff} adalah

jumlah dari efektif area dari sisi. Efektif area dari tiap sisi sama dengan ketebalan lebar efektif, b_e yaitu ;

$$b_e = 1.91t \sqrt{\frac{E}{f} \left[1 - \frac{0.381}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right]} \leq b, \text{ dimana } b \text{ adalah jarak antara sisi}$$

yang berlawanan dikurangi dengan 2 kali jari-jari dalam dan $f = P_u/A_g$.

5. Flexure

Kekuatan desain *flexural* dari HSS adalah $\phi_b M_n$ dimana $\phi_b = 0.9$. Baik untuk bentuk lingkaran atau persegi, $\phi_b M_n = M_p = F_y Z$ pada saat $\lambda < \lambda_p$

Kekuatan bentuk persegi dalam kisaran kelangsingan dari compact dan non-compact ditunjukkan dalam tahap momen plastis M_p dan momen leleh $M_r = F_y S$.

$$\text{Untuk } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad ; M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda - \lambda_r} \right) \right]$$

$$\text{Untuk } \lambda > \lambda_r \quad ; M_n = F_y S_{eff},$$

dimana S_{eff} = *Section modulus* efektif dengan lebar efektif dari sayap tertekan yaitu;

$$b_e = 1.91t \sqrt{\frac{E}{F_y} \left[1 - \frac{0.381}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right]} \leq b$$

Tidak ada batas atau *unbraced length* dari *flexural* untuk struktur HSS yang didesain dengan analisa elastic. Untuk desain dengan analisa plastis, *AISC "Specification for the Design of Steel Hollow Structural Section"* menentukan pembatasan pada *unbraced length* berdekatan dengan

lokasi engsel plastis untuk bentuk persegi bengkok terhadap sumbu utama. Untuk desain seperti ini memerlukan bentuk yang *compact*.

6. Transverse Shear

Kekuatan desain geser dari HSS adalah $\phi_v V_n$ dimana $\phi_b = 0.9$. Untuk bentuk persegi, dicari terlebih dahulu *web area*, $A_w = 2Ht$ dimana H adalah tinggi keseluruhan.

Kekuatan geser nominal ; $V_n = F_y A_w$

Ketahanan geser dari tegangan geser, F_n diperoleh sebagai berikut, tergantung rasio dari tinggi per ketebalan sisi, h/t

$$\text{Untuk } \frac{h}{t} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad ; F_n = 0.6F_y$$

$$\text{Untuk } 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad ; F_n = \frac{0.6F_y (2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}})}{h/t}$$

$$\text{Untuk } 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260 \quad ; F_n = \frac{0.458\pi^2 E}{(h/t)^2}$$

7. Torsi

Kekuatan desain torsi adalah $\phi_T T_n$ dimana $\phi_b = 0.9$.

$T_n = F_{cr} C$, dimana C adalah konstanta torsi untuk HSS dan F_{cr} adalah tegangan geser kritis.

Untuk bentuk segi-empat ; $C \approx 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3$

Dan nilai F_{cr} tergantung pada nilai h/t berikut ini :

$$\text{Untuk } \frac{h}{t} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad ; F_n = 0.6F_y$$

$$\text{Untuk } 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad ; F_n = \frac{0.6F_y (2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}})}{h/t}$$

$$\text{Untuk } 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260 \quad ; F_n = \frac{0.458\pi^2 E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2}$$

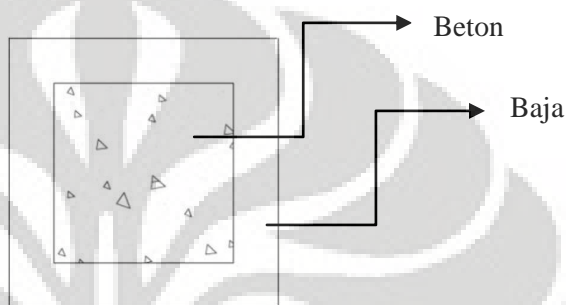
II.4 Komposit

Sistem struktur komposit terbentuk akibat interaksi antara komponen struktur baja dan beton yang karakteristik dasar masing-masing bahan dimanfaatkan secara optimal. Karakteristik yang dimiliki oleh struktur baja adalah kekuatan tinggi, modulus elastisitas tinggi, serta daktilitas tinggi. Sedangkan karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur beton adalah ketahanan yang baik terhadap api, mudah dibentuk, dan murah.

Struktur baja komposit dalam aplikasinya dapat merupakan elemen dari bangunan, baik sebagai balok, kolom, dan pelat. Struktur balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit dengan penghubung geser dan balok komposit yang diselubungi beton. Kolom komposit dapat merupakan tabung atau pipa baja yang dicor beton atau baja profil yang diselubungi beton dengan tulangan longitudinal dan diikat dengan tulangan lateral. Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang.

Aksi komposit terjadi apabila dua batang structural pemikul beban, seperti pada pelat beton dan balok baja sebagai penyangganya, dihubungkan secara menyeluruh dan mengalami defleksi sebagai satu kesatuan. Pada balok non komposit, pelat beton dan balok baja tidak bekerja secara bersama-sama sebagai satu kesatuan karena tidak terpasang alat penghubung geser. Apabila balok non komposit mengalami defleksi pada saat dibebani, maka permukaan bawah pelat beton akan tertarik dan mengalami perpanjangan sedangkan permukaan atas dari balok baja akan tertekan dan mengalami perpendekan. Karena penghubung geser tidak terpasang pada bidang pertemuan antara pelat beton dan balok baja maka pada bidang kontak tersebut tidak ada gaya yang menahan perpanjangan

serat bawah pelat dan perpendekan serat atas balok baja. Dalam hal ini, pada bidang kontak tersebut hanya bekerja gaya geser vertical. Sedangkan pada balok komposit, pada bidang pertemuan antara pelat beton dan balok baja dipasang alat penghubung geser sehingga pelat beton dan balok baja bekerja sebagai satu kesatuan. Pada bidang kontak tersebut bekerja gaya geser vertical dan horizontal, dimana gaya geser horizontal tersebut akan menahan perpanjangan serat bawah pelat dan perpendekan serat atas balok baja.



Gambar 2.4. Penampang Komposit Rectangular

II.5 Pushover Analysis

Analisis pushover merupakan analisis statik nonlinier yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur terhadap beban lateral. Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai suatu target perpindahan lateral yang ditetapkan.

Analisis pushover menghasilkan kurva pushover yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan pada titik yang ditinjau (*control node*), dalam hal ini atap (D). Pada analisis pushover, struktur didorong sampai mengalami leleh di satu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinier.

Kurva pushover dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Tujuan analisis pushover adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja dari struktur yang kritis.

Tahapan umum dalam analisis Pushover:

1. Menentukan titik kontrol (*control node*) untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekuivalen dengan distribusi dari gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (*target perpindahan*). Titik control didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlahnya relatif sangat banyak, oleh karena itu proses ini sepenuhnya harus dikerjakan oleh komputer (*fasilitas pushover* dan evaluasi kinerja yang terdapat secara *built-in* pada program SAP2000, mengacu pada FEMA - 356).

II.5.1 Pola Beban Dorong

Hasil analisis pushover sangat dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan. Oleh karena itu, analisa beban dorong statik

memerlukan berbagai kombinasi pola distribusi yang berbeda untuk menangkap kondisi yang paling ekstrim untuk perencanaan, sebagai cerminan sifat beban gempa yang acak dan tidak pasti. Pola pembebanan gaya lateral yang diberikan pada model struktur disesuaikan dengan proporsi distribusi gaya inersia pada diafragma lantai sepanjang tinggi struktur. Beban lateral harus diberikan pada pusat massa setiap tingkat, dan diberikan secara bertahap dalam satu arah (monotonik). FEMA 273 mensyaratkan sedikitnya digunakan dua pola pembebanan lateral. Yang pertama yaitu distribusi *Uniform*, dimana gaya lateral pada suatu lantai sama dengan total massa pada lantai tersebut, $s_j^* = m_j$. Pola yang kedua adalah salah satu dari dua pilihan berikut:

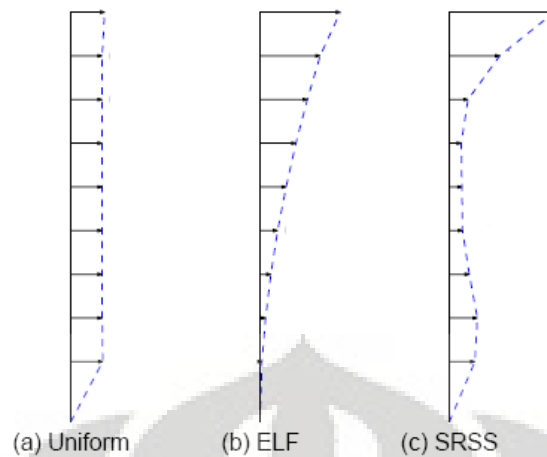
1. Pola beban lateral dapat diwakili oleh nilai $v_x C$ bilamana sedikitnya 75% massa berpartisipasi pada mode fundamental pada arah yang ditinjau (Equivalent Lateral Force).

$$C_{vx} = \frac{m_x \cdot h_x^k}{\sum_i m_i \cdot h_i^k} \quad ; k = 0.1 \text{ untuk } T \leq 0.5 \text{ detik}$$

$$= 2.0 \text{ untuk } T \geq 2.5 \text{ detik}$$

$$F_x = C_{vx} V$$

2. Pola beban lateral yang dihitung oleh kombinasi respon modal (SRSS) menggunakan (1) analisis respon spectrum dengan jumlah mode yang cukup dimana sedikitnya mencakup 90% partisipasi massa (2) spectrum gerakan tanah yang sesuai



Gambar 2.5. Pola Beban Lateral

II.5.2 Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen / elemen dihitung terhadap perpindahan tertentu di titik kontrol (*control node*) yang disebut sebagai “target perpindahan” dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana.

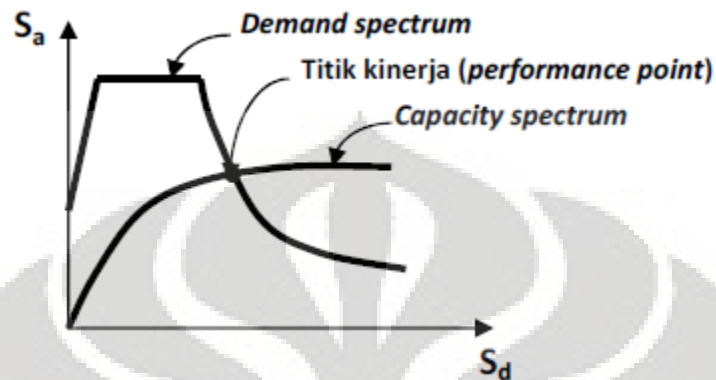
Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan δ_t . Jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja.

Untuk menentukan target perpindahan ini, dapat digunakan dua cara yang sudah dikenal yaitu *Capacity Spectrum Method* (FEMA-273/356/440 dan ATC 40) yang sudah built-in dalam SAP 2000, dan *Displacement Coefficient Method* (FEMA-274/440 dan ATC 40)

II.5.3 Metoda Spektrum Kapasitas (CSM)

Capacity spectrum method menyajikan secara grafis dua buah grafik yang disebut spektrum, yaitu spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya dorong total (*base shear*) dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di level atap bangunan), serta spektrum *demand* yang menggambarkan besarnya

demand (tuntutan kinerja) akibat gempa dengan periode ulang tertentu (gambar 5).

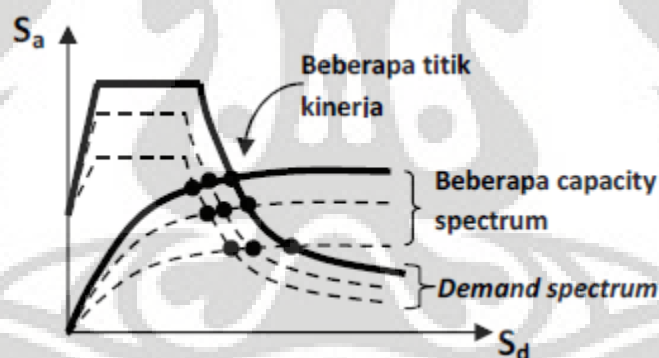


Gambar 2.6. Performance Point pada Capacity Spectrum Method

Spektrum kapasitas didapatkan dari kurva kapasitas (*capacity curve*) yang diperoleh dari analisis *static pushover*. Karena kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya dorong total yang diberikan ke suatu struktur berderajat kebebasan banyak (*multi-degree-of-freedom-system*, MDOF) terhadap perpindahan yang dipilih sebagai referensi (umumnya puncak/atap bangunan) sedangkan spektrum *demand* dibuat untuk struktur dengan kebebasan satu (*single-degree-of-freedom-system*, SDOF), maka kurva kapasitas dengan cara tertentu harus diubah menjadi spektrum kapasitas dengan satuan yang sama dengan spektrum *demand*. Spektrum *demand* didapatkan dengan mengubah spektrum respon yang biasanya dinyatakan dalam spektral kecepatan, S_a , dan Periode, T , menjadi format spektral percepatan, S_a , dan spektral perpindahan, S_d . Format yang terakhir ini disebut *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*. Kurva kapasitas yang merupakan produk dari *pushover* dinyatakan dalam satuan gaya (kN) dan perpindahan (m), sedangkan *demand spectrum* memiliki satuan percepatan ($m/detik^2$) dan perpindahan (m). Satuan dari kedua kurva

tersebut perlu diubah dalam format yang sama, yaitu spektral percepatan, S_a , dan spektral perpindahan, S_d , agar dapat ditampilkan dalam satu tampilan.

Penyajian secara grafis dapat memberikan gambaran yang jelas bagaimana sebuah bangunan merespon beban gempa. Perencana dapat membuat berbagai skenario kekuatan struktur (dengan cara mengganti kekakuan dari beberapa komponen struktur) dan melihat kinerjanya akibat beberapa level *demand* yang dikehendaki secara cepat dalam satu grafik (Gambar 14). Titik kinerja merupakan perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum *demand*. Dengan demikian titik kinerja merupakan representasi dari dua kondisi, yaitu: 1) karena terletak pada spektrum kapasitas, merupakan representasi kekuatan struktur pada suatu nilai perpindahan tertentu, dan 2) karena terletak pada kurva *demand*, menunjukkan bahwa kekuatan struktur dapat memenuhi *demand* beban yang diberikan.

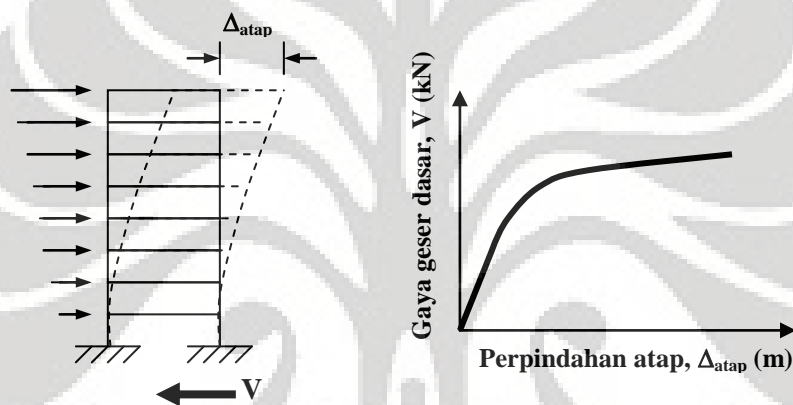


Gambar 2.7. Beberapa Titik Kinerja pada Satu Grafik Dalam CSM

II.5.3.1 Kurva Kapasitas Dan Spektrum Kapasitas

Kurva kapasitas yang didapatkan dari analisis *pushover* menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen-deformasi dari masing-masing komponen struktur. Cara termudah untuk membuat kurva ini adalah dengan mendorong struktur secara bertahap (*pushover*) dan mencatat hubungan antara gaya geser dasar

(*base shear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dikerjakan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu (Gambar 4). Pola pembebanan umumnya berupa respon ragam-1 struktur (atau bisa juga berupa beban statik ekuivalen) berdasarkan asumsi bahwa ragam struktur yang dominan adalah ragam-1. Hal ini berlaku untuk bangunan yang memiliki periode fundamental struktur yang relatif kecil. Untuk bangunan yang lebih fleksibel dengan periode struktur yang lebih besar, perencana sebaiknya memperhitungkan pengaruh ragam yang lebih tinggi dalam analisisnya.



Gambar 2.8. Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas diubah menjadi spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) dalam format ADRS melalui persamaan:

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (1)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{atap}}{PF_1 \phi_{atap,1}} \quad (2)$$

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (4)$$

dimana:

PF₁ = faktor partisipasi ragam (*modal participation factor*) untuk ragam ke-1

α_1 = koefisien massa ragam untuk ragam ke-1

w_i/g = massa lantai i

ϕ_{i1} = perpindahan pada lantai i ragam ke-1

N = jumlah lantai

V = gaya geser dasar

W = berat struktur (akibat beban mati dan beban hidup tereduksi)

Δ_{atap} = perpindahan atap (yang digunakan pada kurva kapasitas)

S_a = spektrum percepatan

S_d = spektrum perpindahan

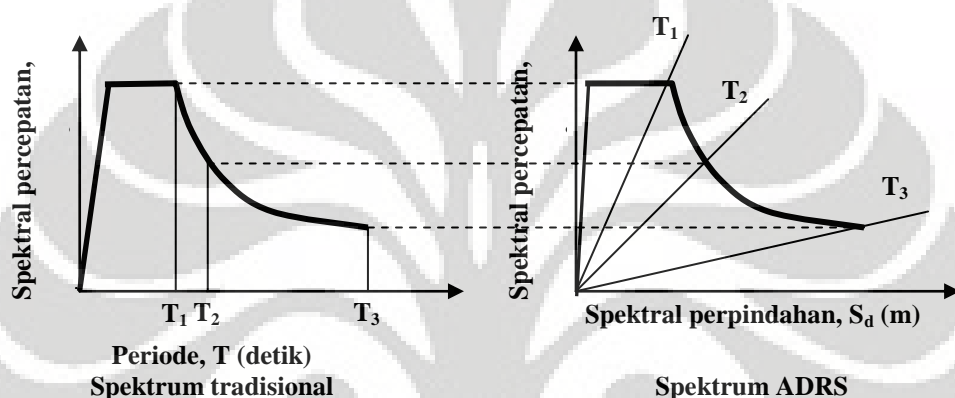
II.5.3.2 SPEKTRUM DEMAND (*DEMAND SPECTRUM*)

Spektrum demand didapatkan dari spektrum respons elastis yang pada umumnya dinyatakan dalam satuan percepatan, S_a (m/detik²) dan periode struktur, T (detik). Sama halnya dengan kurva kapasitas, spektrum respons ini juga perlu diubah dalam format ADRS menjadi spektrum demand. Gambar 5 menunjukkan spektrum yang sama yang ditampilkan dalam format tradisional (S_a dan T) dan format ADRS (S_a dan S_d). Pada format ADRS, periode struktur yang sama merupakan garis lurus radial dari

titik nol. Hubungan antara S_a , S_d , dan T , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [12]:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (5)$$

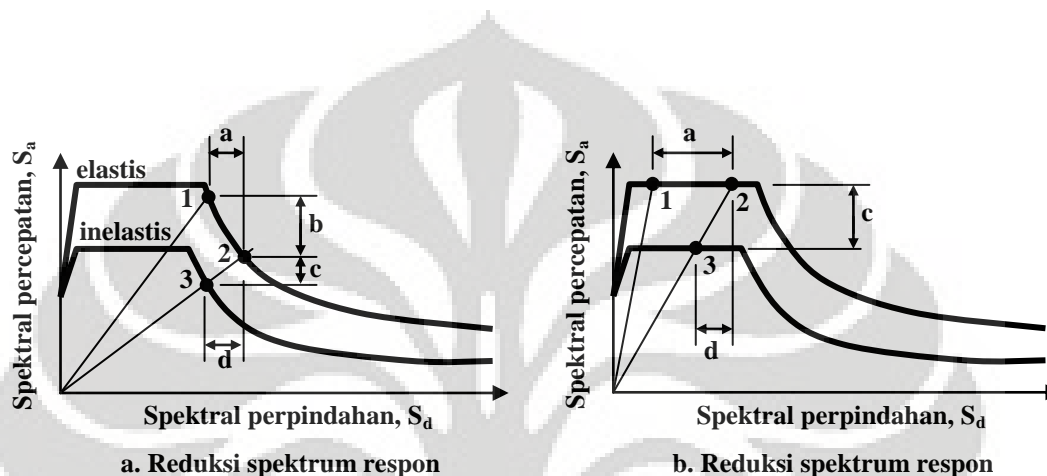
$$S_d = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 S_a \quad (6)$$



Gambar 2.9. Spektrum Respon yang Ditampilkan Dalam Format Tradisional dan ADRS

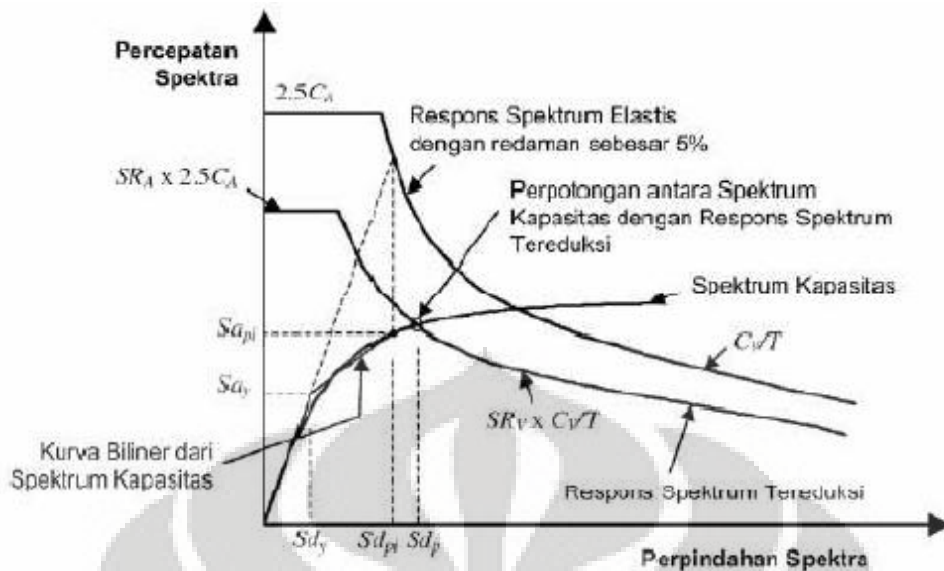
Karena pada saat gempa besar telah terjadi plastifikasi di banyak tempat, maka perlu dibuat spektrum demand dengan memperhatikan redaman (*damping*) yang terjadi karena plastifikasi tersebut. Gambar 6 memberikan penjelasan mengapa terjadi reduksi pada respon inelastis. Titik 1 menunjukkan *demand* elastis. Jika terjadi reduksi kekuatan struktur akibat perilaku inelastis, periode efektif struktur menjadi semakin besar seperti pada titik 2. Pada kondisi ini, perpindahan bertambah sebesar "a" dan percepatan berkurang sebesar "b". Jika struktur berperilaku inelastis (nonlinier), pada periode yang sama dengan titik 2, *demand* berkurang menjadi spektrum respon inelastis pada titik 3. Jadi, kembali terjadi

pengurangan percepatan sebesar "c" dan pengurangan perpindahan sebesar "d". Total pengurangan percepatan sebesar "b+c" dan perpindahan perlu dimodifikasi sebesar "a-d". Jika besarnya "a" diperkirakan sama dengan "d", maka perpindahan inelastis sama dengan perpindahan elastis (Gambar 6a). Jika "a" lebih besar daripada "d" maka perpindahan inelastis menjadi lebih kecil daripada perpindahan elastis (Gambar 6b).



Gambar 2.10. Reduksi Respon Spektrum

Karena waktu getar ekuivalen dan redaman merupakan fungsi dari perpindahan maka penyelesaian untuk mendapatkan perpindahan inelastik maksimum (titik kinerja) adalah bersifat iteratif.

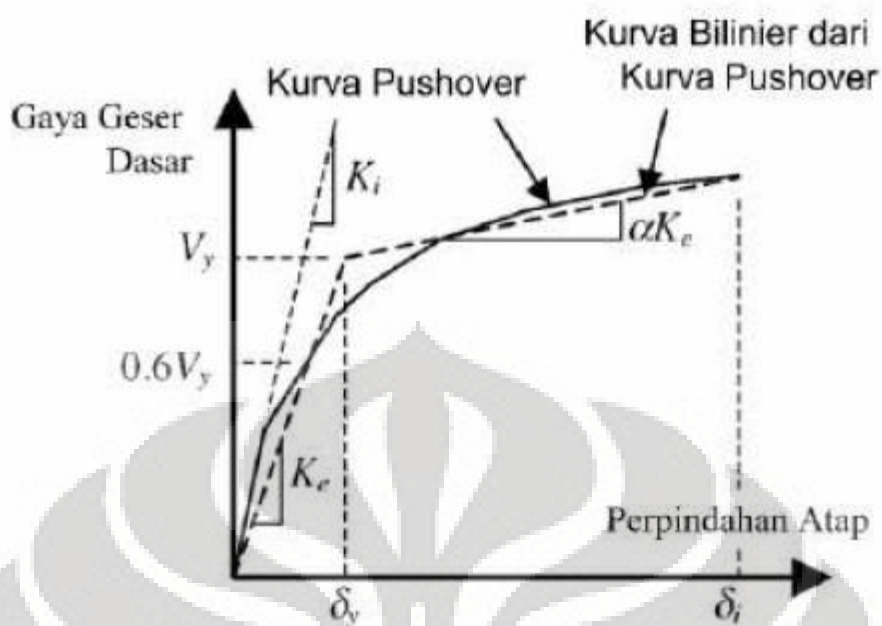


Gambar 2.11. Penentuan Titik Kinerja Menurut Spektrum Kapasitas

Metode spectrum kapasitas telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva respon spektrum rencana, yang terdapat dalam peraturan.

II.5.4 Metode Koefisien Perpindahan (DCM)

Displacement Coefficient Method merupakan prosedur statik nonlinier yang terdapat dalam FEMA 273/356. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut target perpindahan, δT . Proses dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif, T_e , yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan. Untuk memperoleh periode getar alami efektif dapat dilakukan dengan bantuan kurva hasil analisis *pushover*.



Gambar 2.12. Periode Getar Alami dari Kurva Pushover

Kurva pushover diubah terlebih dahulu menjadi kurva bilinear untuk mengestimasi kekakuan lateral efektif bangunan, K_e , dan kuat leleh bangunan, V_y . Kekakuan lateral efektif dapat diambil dari kekakuan secant yang dihitung dari gaya geser dasar sebesar 60% dari kuat leleh. Karena kuat leleh diperoleh dari titik potong kekakuan lateral efektif pada kondisi elastis (K_e) dan kondisi inelastic (αK_e), maka prosesnya dilakukan secara *trial and error*. Selanjutnya waktu getar alami efektif, T_e , dapat dihitung sebagai:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (7)$$

dimana K_i dan T_i adalah kekakuan awal pada arah yang ditinjau dan periode alami awal elastis (dalam detik).

Waktu getar alami efektif ini di-plot-kan pada spektrum respons sehingga diperoleh percepatan puncak, S_a . Rendaman yang digunakan 5% yang mewakili level yang diharapkan terjadi pada struktur yang mempunyai

respons pada daerah elastis. Spektral Peralihan puncak, S_d , berhubungan langsung dengan spectral akselerasi, S_a , melalui persamaan sebagai berikut:

$$S_d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} S_a \quad (8)$$

Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol δ_T , ditentukan dari rumus berikut :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (9)$$

dimana,

T_e = waktu getar alami efektif

C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama (*first mode participation factor*) atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C_1 = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.

$$C_1 = 1 + \frac{R - 1}{aT_e}$$

Konstanta a adalah sama dengan 130, 90 dan 60 untuk site kategori B, C dan D. Untuk waktu getar kurang dari 0.2 detik maka nilai C_1 pada 0.2 detik dapat dipakai. Untuk waktu getar lebih dari 1.0 detik maka C_1 dapat dianggap sama dengan 1

R = rasio kuat elastik perlu terhadap koefisien kuat leleh terhitung

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m$$

S_a = akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinear.

W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan bebandeformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{R - 1}{T_e} \right)^2$$

untuk waktu getar kurang dari 0.2 detik maka nilai C_2 pada 0.2 detik dapat dipakai. Untuk waktu getar lebih dari 0.7 detik maka C_2 dapat dianggap sama dengan 1.

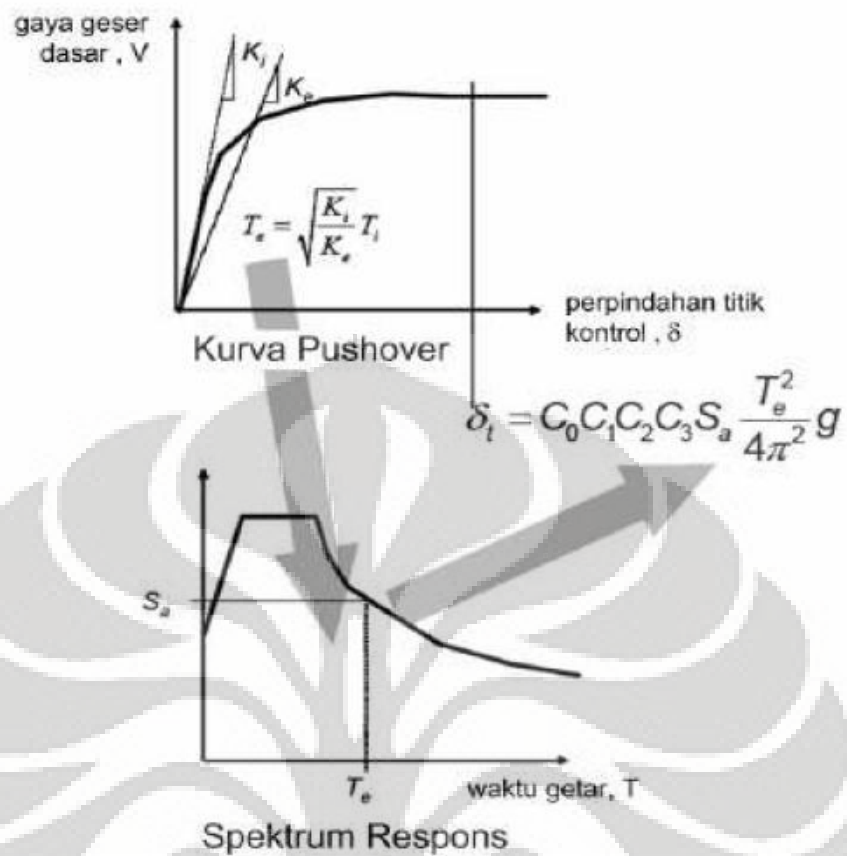
C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P- Δ . Koefisien diperoleh secara empiris dari studi statistik analisa riwayat waktu non-linier dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan *engineering judgement*, dimana jika perilaku hubungan gaya geser dasar – lendutan pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya negatif (kurva menurun) maka

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R - 1)^{3/2}}{T_e}$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gaya lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear

g = percepatan gravitasi 9.81 m/det².

Ilustrasi berikut dapat memberikan gambaran secara jelas penerapan Metode Koefisien Perpindahan dalam menetapkan target perpindahan dari struktur yang akan dievaluasi.



Gambar 2.13. Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan (*FEMA 440*)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Prosedur Analisis

III.1.1 Tahapan Analisis

Tahapan utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

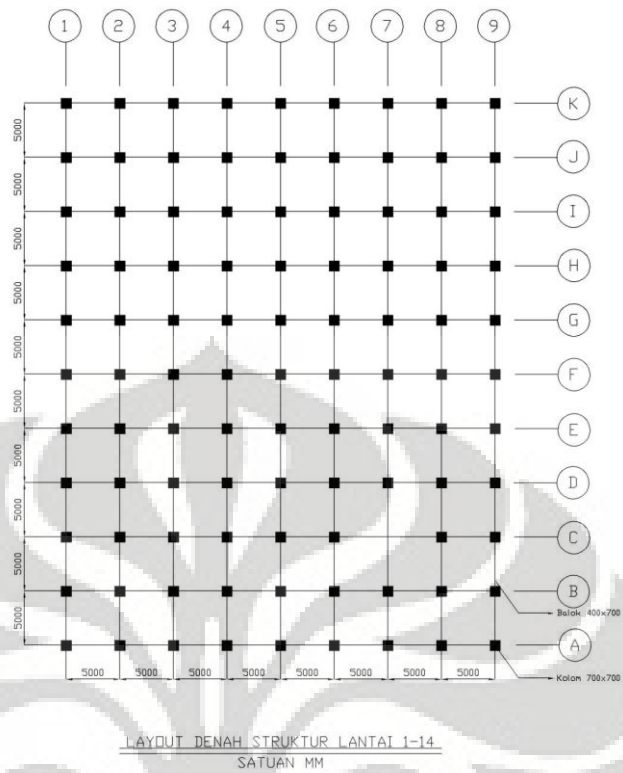
1. Membuat denah struktur dari gedung rumah sakit 14 lantai
2. Penentuan properti material yang akan digunakan, dalam hal ini adalah material komposit baja beton *Hollow Structural Section* dengan menggunakan *software* “MathCad 2000 Profesional”
3. Melakukan pemodelan struktur 3 dimensi yang memenuhi ketentuan perencanaan *IBC_ICC 2006*
4. Melakukan analisis beban gempa terhadap model struktur dengan analisis modal
5. Melakukan pengecekan terhadap model struktur untuk melihat apakah model memenuhi persyaratan untuk analisis statik non-linier serta persyaratan-persyaratan yang terdapat dalam peraturan, bila perlu dilakukan *redesign*.
6. Membuat pemodelan struktur 2D dari gedung yang ditinjau
7. Melakukan analisis pushover dengan SAP2000 V14. Analisis beban dorong dilakukan dalam dua tahap, yang pertama struktur diberi beban gravitasi (kombinasi beban mati dan beban hidup yang direduksi). Analisis tahap pertama belum memperhitungkan kondisi non-linier. Selanjutnya analisis dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral yang diberikan secara monotonik bertahap. Pola beban lateral minimal dua buah setiap arahnya sesuai ketentuan FEMA agar diperoleh kondisi yang paling kritis.
8. Proses pembebanan dilanjutkan sampai batas kinerja terdeteksi dari perpindahan titik kontrol pada atap.
9. Dari analisis pushover diperoleh kurva pushover. Kurva ini selanjutnya digunakan untuk menentukan target perpindahan

10. Selanjutnya akumulasi gaya dan deformasi dievaluasi pada target perpindahan untuk mengetahui kinerja setiap komponen.
 - a. Untuk perilaku yang dikontrol deformasi (misal, lentur balok), besarnya deformasi dibandingkan dengan deformasi ijin yang ada dalam FEMA 356.
 - b. Untuk perilaku yang dikontrol gaya (misal, geser balok), kapasitas kekuatan dibandingkan dengan gaya yang terjadi. Kapasitas kekuatan juga telah didefinisikan dalam FEMA-273/ 356.
11. Jika salah satu (a) **gaya perlu** dalam aksi atau komponen atau elemen yang dikontrol gaya, atau (b) **besarnya deformasi** yang terjadi dalam aksi, komponen atau elemen yang dikontrol deformasi, melebihi nilai-nilai yang ditetapkan maka dianggap kinerjanya tidak memenuhi syarat.

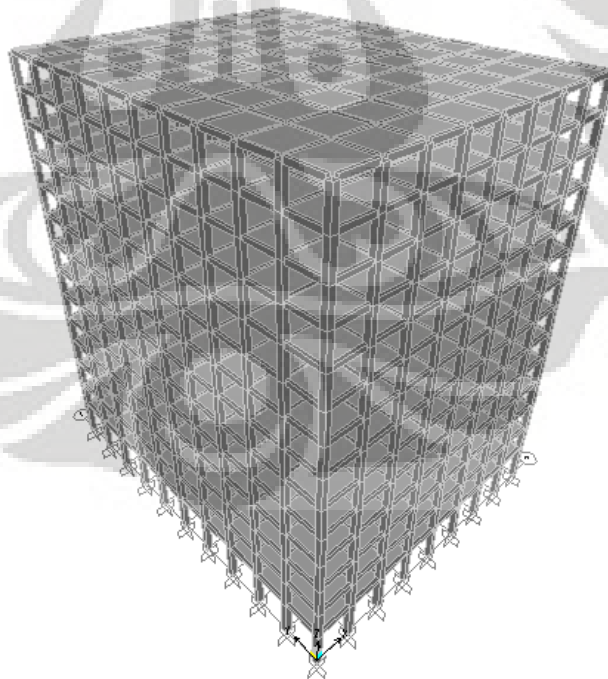
* Tahap 11 dan 12 dalam prosedur ini dilakukan secara otomatis oleh program SAP2000 V14, dan hasilnya dapat berupa grafik atau tabel yang menyajikan kondisi setiap komponen.
12. Melakukan perubahan pada parameter yang ditinjau
13. Melakukan perbandingan hasil yang diperoleh pada tahap 10, kemudian dilakukan analisa terhadap hasil yang diperoleh untuk mendapatkan kesimpulan.

III.1.2 Modelisasi Awal Struktur

Objek penelitian pada Tugas Akhir ini adalah bangunan rumah sakit 14 lantai. Permodelan struktur ini memiliki batasan-batasan yang meliputi modelisasi struktur hanya untuk struktur atas, tidak termasuk pondasi dan elemen non-struktural. Struktur atas diidealisasikan atas 3 elemen utama yaitu kolom, balok, dan pelat lantai. Tiga elemen utama ini berfungsi mendukung beban vertical (gravitasi). Berikut ini adalah denah dan model struktur yang didesain di SAP2000 V14 tanpa memasukkan data-data pushover :



Gambar 3.1. Denah Struktur Lantai 1-14



Gambar 3.2. Model Struktur dalam 3D

III.1.3 Input Data Struktur

Struktur dimodelkan menjadi 2 jenis. Seluruh data struktur pada kedua jenis model struktur adalah sama kecuali pada dimensi balok nya saja. Beberapa hal yang digunakan dalam permodelan struktur pada program SAP2000 V14 antara lain:

1. Tinggi lantai 1 adalah 5 meter; tinggi lantai 2 s/d lantai atap typical yaitu 4 meter.
2. Kolom dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan hubungan joint yang dianggap kaku. Material yang digunakan komposit baja persegi beton (*Rectangular Hollow Section*) dengan dimensi kolom typical yaitu 80x80 cm.
3. Balok dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan hubungan joint yang dianggap kaku. Material yang digunakan komposit baja persegi beton (*Rectangular Hollow Section*). Pada model pertama digunakan dimensi balok typical yaitu 40x70 cm. pada model kedua digunakan dimensi balok 40x70 cm di lantai 1-4, dan balok 40x40 cm di lantai 5-14.
4. Pelat dimodelkan sebagai pelat *shell (membrane)* dan *rigid diaphragm* karena lantai dianggap kaku terhadap beban kerja horizontal. Pelat yang digunakan memiliki ketebalan 12 cm.
5. Faktor keutamaan struktur, $I = 1,5$ (*IBC_ICC 2006*)
6. Fixed Base yaitu perletakan jepit pada ujung-ujung kolom lantai 1.

III.1.4 Input Properti Material

Properti material yang digunakan dalam pemodelan bangunan ini yang akan diinput ke program SAP2000 adalah sebagai berikut :

- Jenis Material : Other (Komposit Baja Persegi Beton)
yang didefine melalui *section designer*.
- Berat Jenis (γ_c) : Beton sebagai *base material* 24 kN/m²
- Kuat Tekan Beton (f_c') : 35 Mpa
- E_c : $4700\sqrt{f_c'} = 27805,575$ Mpa
- F_y : 413 Mpa

III.1.5 Input Pembebanan

Input pembebanan pada struktur ini mengacu pada *International Building Code 2006 (IBC_ICC)*:

1. Beban Mati

a. Beban Mati pada Atap

➤ Berat lapisan waterproofing	= 0,24 kN/m ²
➤ Berat Adukan Semen+Spesi (7 cm)	= 1,47 kN/m ²
➤ Berat M/E	= <u>0,5 kN/m²</u> +
Total	= 2,21 kN/m ²

b. Beban Mati pada Lantai

➤ Berat Lantai Keramik (2 cm)	= 0,48 kN/m ²
➤ Berat Adukan Semen+Spesi (5 cm)	= 1,05 kN/m ²
➤ Berat M/E	= 0,5 kN/m ²
➤ Berat Langit-langit&Penggantung	= <u>0,18 kN/m²</u> +
Total	= 2,21 kN/m ²

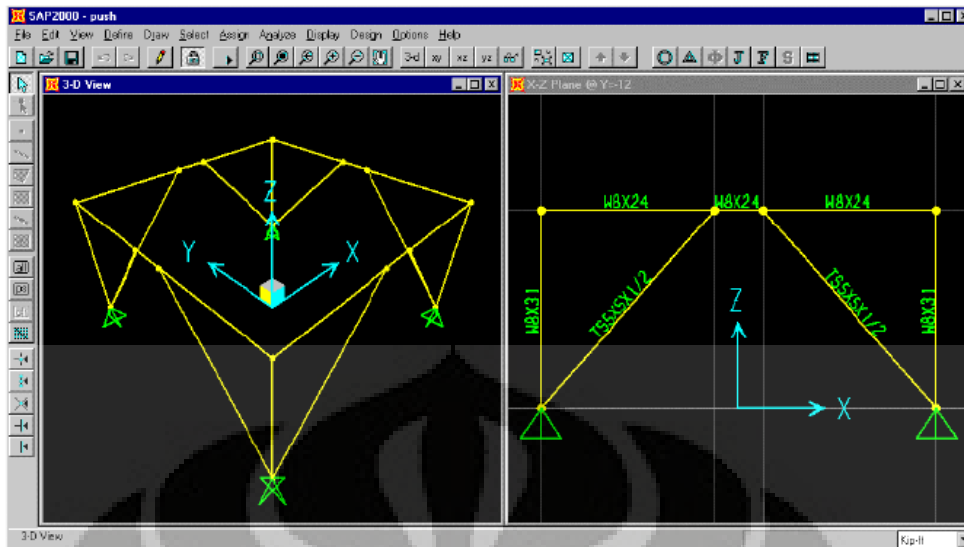
2. Beban Hidup

➤ Koridor di atas Lantai 1	= 3,832 kN/m ²
➤ Ruang Operasi & Lab & Klinik Gigi (Lantai 1-4)	= 2,874 kN/m ²
➤ Ruang pasien & Bangsal (Lantai 5-13)	= 1,916 kN/m ²
➤ Beban Helipad (Atap)	= 1,916 kN/m ²

III.2 Prosedur Pushover dengan SAP2000 V14

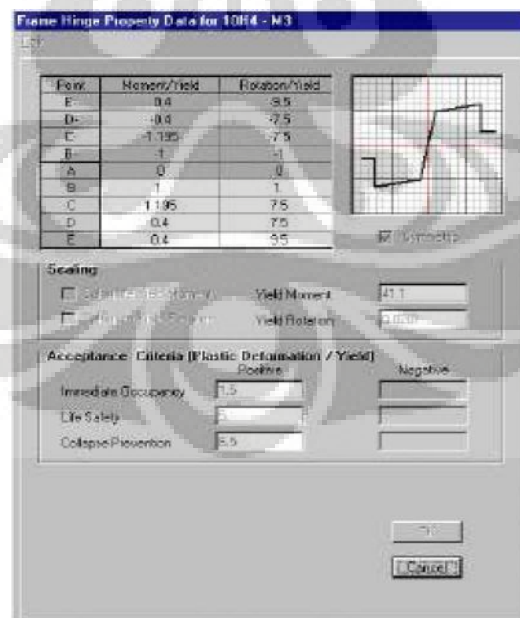
Prosedur analisis pushover dengan SAP2000 V14 mengacu pada *paper* berjudul “Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis” yang ditulis oleh Ashraf Habibullah dan Stephen Pyle. Tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Membuat model struktur (tanpa data pushover), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3. Contoh Model Struktur Sederhana

2. Definisikan *hinge properties* dan kriteria penerimaan untuk tinjauan nodal, seperti ditunjukkan pada Gambar 17. Di dalam program SAP2000 V14 telah *built-in* berbagai *default hinge properties* berdasarkan nilai rata-rata dari ATC-40 (untuk beton) dan FEMA-273 (untuk baja).



Gambar 3.4. Data *Hinge Properties*

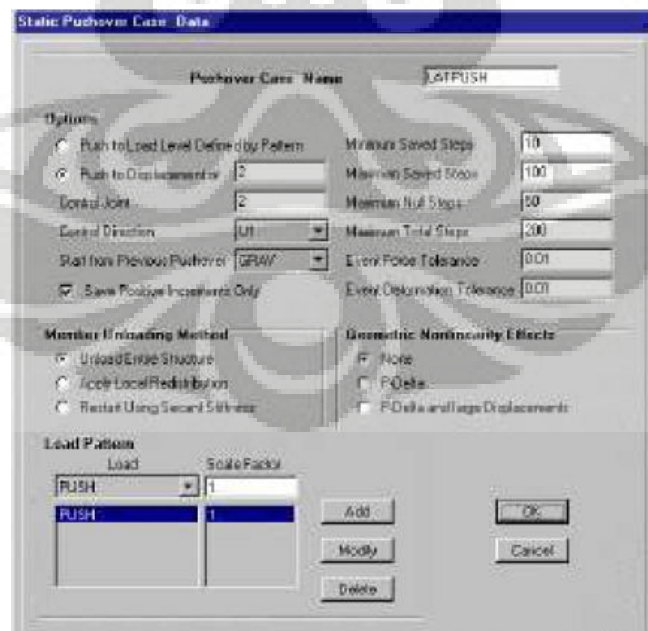
3. Menetapkan lokasi nodal pushover pada model dengan memilih satu atau lebih member portal, dan tentukan *hinge properties*nya.

Universitas Indonesia



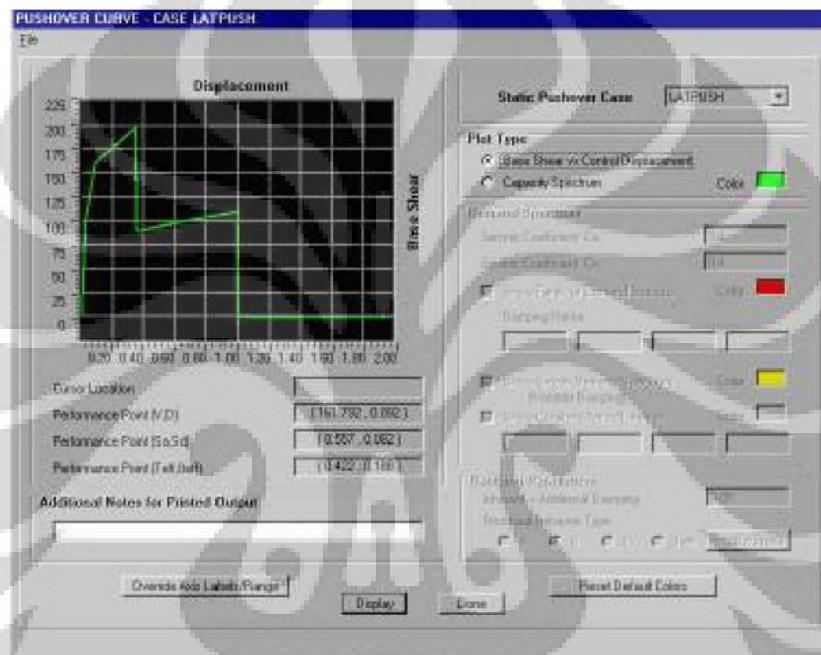
Gambar 3.5. Menentukan Sendi Plastis

4. Menentukan pushover *load cases*. Biasanya *pushover load case* yang pertama digunakan untuk beban gravitasi dan selanjutnya *pushover load case* beban lateral ditetapkan dan dimulai dari kondisi akhir pushover gravitasi. *Pushover load case* dapat berupa *force-controlled*, dimana struktur didorong hingga mencapai target beban maksimum tertentu, atau *displacement-controlled*, dimana struktur didorong hingga target peralihan tertentu.



Gambar 3.6. Data Loadcase Pushover

5. Jalankan analisis statik dan, bila diinginkan, analisis dinamik. Kemudian jalankan analisis pushover static nonlinier
6. Tampilkan kurva pushover seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7. Untuk melihat koordinat dari tiap step kurva pushover, jumlah sendi plastis, dan kondisi sendi plastis yang dialami tiap nodal (misal IO, LS, atau CP), dapat ditunjukkan melalui tabel data kurva pushover, seperti pada gambar 3.8.

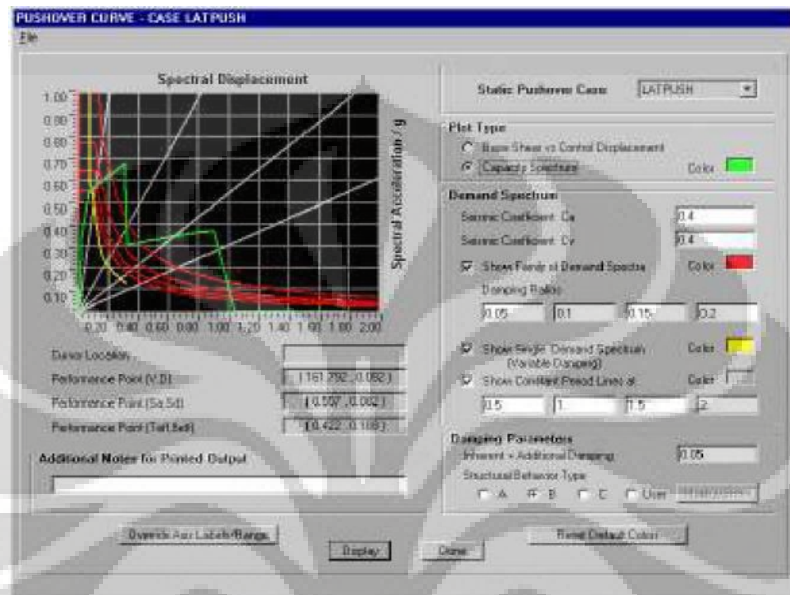


Gambar 3.7. Kurva *Pushover*

Step	Displacement	Base Shear	A-B	B-ID	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTML
0	0.0000	0.0000	60	0	0	0	0	0	0	0	60
1	0.0274	100.4079	57	3	0	0	0	0	0	0	60
2	0.0821	157.4939	51	8	1	0	0	0	0	0	60
3	0.0878	161.1401	48	11	1	0	0	0	0	0	60
4	0.3401	198.9614	46	6	3	2	1	2	0	0	60
5	0.3401	160.7077	46	6	3	2	1	0	2	0	60
6	0.3513	161.2326	46	6	3	2	1	0	0	0	60
7	0.3513	142.7613	46	6	3	2	1	0	0	0	60
8	0.3530	144.4506	46	6	3	2	1	0	0	0	60
9	0.3564	144.9255	46	6	3	0	1	2	0	0	60
10	0.3567	108.0511	46	6	3	0	1	0	2	0	60
11	0.3596	108.2019	46	6	3	0	1	0	0	0	60
12	0.3596	89.6470	46	6	3	0	1	0	0	0	60
13	0.4538	93.9015	40	12	3	0	1	0	0	0	60
14	0.6530	99.5164	40	0	15	0	1	0	0	0	60
15	0.8530	105.1312	40	0	10	5	1	0	0	0	60
16	1.0031	109.3216	40	0	0	13	1	2	0	0	60
17	1.0031	-0.4043	40	0	0	11	1	0	0	0	60
18	1.2031	-0.4404	40	0	0	11	1	0	0	0	60
19	1.4031	-0.3965	40	0	0	11	1	0	0	0	60
20	1.6031	-0.3526	40	0	0	11	1	0	0	0	60
21	1.8031	-0.3086	40	0	0	11	1	0	0	0	60
22	2.0000	-0.2654	40	0	0	11	1	0	0	0	60

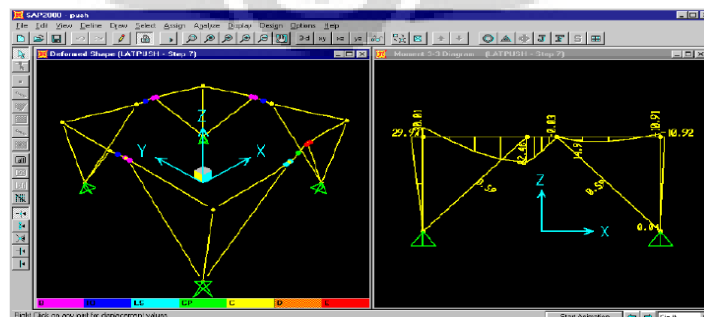
Gambar 3.8. Data Tabular untuk Kurva *Pushover*

7. Tampilkan kurva spektrum kapasitas seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9. Titik kinerja (*performance point*) dinyatakan sebagai perpotongan antara kurva kapasitas (hijau) dan kurva *spectrum demand* (kuning).



Gambar 3.9. Kurva Spektrum Kapasitas

8. Evaluasi kembali secara step by step, bentuk peralihan dan formasi sendi plastis
9. Evaluasi kembali secara step by step, gaya dalam member struktur. Output lain yang dapat dilihat untuk tiap tahap pushover antar lain displacement joint dan gaya dalam. Hal ini dapat digunakan untuk mengetahui gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta bagian-bagian yang kritis.



Gambar 3.10. Deformasi dan Gaya Member *Step by Step*

BAB IV

ANALISA

IV.1 Analisa Beban Gempa

A. Model Struktur Dengan Balok 40x70

Dengan melakukan analisis modal struktur gedung dengan SAP 2000 V14, diperoleh periode struktur untuk pola ragam getar pertama (mode shape 1) sebesar 2,207 detik dengan arah utama X. sehingga perhitungan beban gempa secara dinamik respon spektrum dapat dilakukan :

Evaluasi gempa arah X

$T_x = 2,207$ detik, sementara untuk bangunan 14 lantai $T_{maks} = 2,52$ detik sehingga digunakan T_x . Dari kurva spektrum wilayah 3 tanah lunak, maka $C_1 = 0,75/2,207 = 0,3398$, sehingga

$$V_1 = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,3398 \times 1,5}{8} (224852,1) = 14325,88 \text{ kN}$$

Hasil analisis spektrum respon

$$V_x = 11906,316 \text{ kN} > 0,8 * V_1 = 11460,704 \text{ kN}$$

Evaluasi gempa arah Y

$T_y = 2,180$ detik, sementara untuk bangunan 14 lantai $T_{maks} = 2,52$ detik sehingga digunakan T_x . Dari kurva spektrum wilayah 3 tanah lunak, maka $C_1 = 0,75/2,180 = 0,344$, sehingga

$$V_1 = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,344 \times 1,5}{8} (224852,1) = 14502,96 \text{ kN}$$

Hasil analisis spektrum respon

$$V_y = 12055,742 \text{ kN} > 0,8 * V_1 = 11602,368 \text{ kN}$$

Dengan melakukan analisis respon dinamik menggunakan spektrum diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1. Pengecekan Rasio Gaya Geser Dasar Dinamik – Statik

Gaya geser dasar	Statik	Dinamik	Rasio dinamik/statik
V _x	14325,88 kN	11906,316 kN	0,8311
V _y	14502,96 kN	12055,742 kN	0,8312

Dari tabel 4.1 diatas dapat disimpulkan bahwa gaya geser dinamik memenuhi persyaratan, sehingga beban gempa dinamik dapat digunakan dalam analisis struktur.

B. Model Struktur Dengan Balok 40x70 Dan 40x40

Dengan melakukan analisis modal struktur gedung dengan SAP 2000 V14, diperoleh periode struktur untuk pola ragam getar pertama (mode shape 1) sebesar 3,352 detik dengan arah utama X. sehingga perhitungan beban gempa secara dinamik respon spektrum dapat dilakukan :

Evaluasi gempa arah X

T_x= 3,352 detik, sementara untuk bangunan 14 lantai T_{maks} = 2,52 detik sehingga digunakan T_{maks}. Dari kurva spektrum wilayah 3 tanah lunak, maka C₁=0,75/2,52 = 0,297, sehingga

$$V_1 = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,297 \times 1,5}{8} (202424,1) = 11272,492 \text{ kN}$$

Hasil analisis spektrum respon

$$V_x = 7239,574 \text{ kN} < 0,8 * V_1 = 9017,99 \text{ kN}$$

Evaluasi gempa arah Y

T_y= 3,316 detik, sementara untuk bangunan 14 lantai T_{maks} = 2,52 detik sehingga digunakan T_{maks}. Dari kurva spektrum wilayah 3 tanah lunak, maka C₁=0,75/2,52 = 0,297, sehingga

$$V_1 = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,297 \times 1,5}{8} (202424,1) = 11272,492 \text{ kN}$$

Hasil analisis spektrum respon

$$V_y = 7306,155 \text{ kN} < 0,8 * V_1 = 9017,99 \text{ kN}$$

Dengan melakukan analisis respon dinamik menggunakan spektrum diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.2. Pengecekan Rasio Gaya Geser Dasar Dinamik – Statik

Gaya geser dasar	Statik	Dinamik	Rasio dinamik/statik
V _x	11272,492 kN	9017,99 kN	0,8
V _y	11272,492 kN	9017,99 kN	0,8

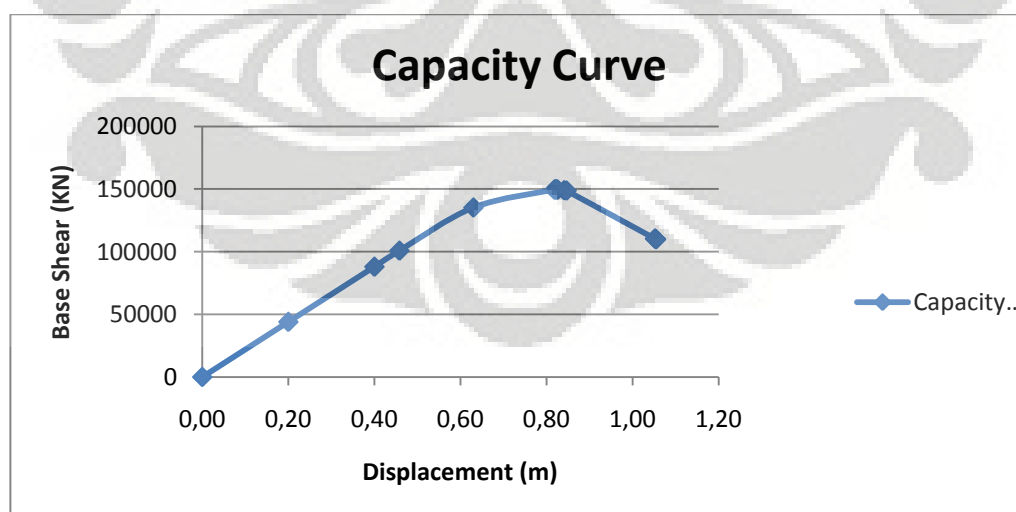
Dari tabel 4.2 diatas dapat disimpulkan bahwa gaya geser dinamik memenuhi persyaratan, sehingga beban gempa dinamik dapat digunakan dalam analisis struktur.

IV.2 Model Struktur Dengan Balok 40x70 Cm

Pada bagian pertama ini struktur yang dianalisa adalah struktur dengan ukuran balok 40x70 cm. Dalam penelitian ini, analisis pushover dilakukan terhadap bangunan 3D untuk mengetahui kinerja dan perilaku inelastik struktur.

IV.2.1 Analisis Pushover pada Elemen Struktur


Dari analisis pushover didapat hasil berupa kurva kapasitas (*capacity curve*) dan skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi, seperti ditunjukkan berikut ini:



Gambar 4.1. Grafik Kurva Kapasitas

Tabel 4.3 . Pembentukan Sendi Plastis

TABLE: Pushover Curve - PUSH											
Step	Displacement	BaseForce	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
	m	KN									
0	0,00000	0,000	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
1	0,200	44012,143	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
2	0,400	88024,285	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
3	0,458	100831,652	7754	2	0	0	0	0	0	0	7756
4	0,630	135248,186	7370	386	0	0	0	0	0	0	7756
5	0,818	149584,637	6986	146	294	240	0	90	0	0	7756
6	0,820	149613,789	6986	146	294	216	0	114	0	0	7756
7	0,821	149615,034	6986	146	294	212	0	118	0	0	7756
8	0,822	149611,229	6986	146	294	209	0	121	0	0	7756
9	0,824	149599,473	6986	145	295	200	0	130	0	0	7756
10	0,826	149576,547	6986	144	296	191	0	139	0	0	7756
11	0,841	149093,828	6986	143	284	173	0	170	0	0	7756
12	0,847	148786,912	6986	143	275	118	0	234	0	0	7756
13	1,052	110531,786	6935	194	99	11	0	495	22	0	7756
14	1,054	109964,149	6905	224	99	11	0	421	74	22	7756
15	1,054	109964,149	6905	224	99	11	0	421	56	40	7756

Ket:  kondisi leleh
 kondisi kinerja (pendekatan)
 kondisi ultimit

Dari tabel di atas dapat ditentukan kondisi leleh dan kondisi ultimit. Kondisi leleh dinyatakan ketika pembentukan sendi plastis pertama akibat beban gempa terjadi. Sementara kondisi ultimit dinyatakan apabila elemen struktur mencapai salah satu dari 3 kondisi berikut:

- Terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom di luar bagian yang diperbolehkan, yaitu ujung bawah kolom lantai dasar.
- Semua balok telah mengalami pembentukan sendi plastis.
- Salah satu balok melewati batas sendi plastis yang diperbolehkan, yaitu *collapse prevention (CP)*

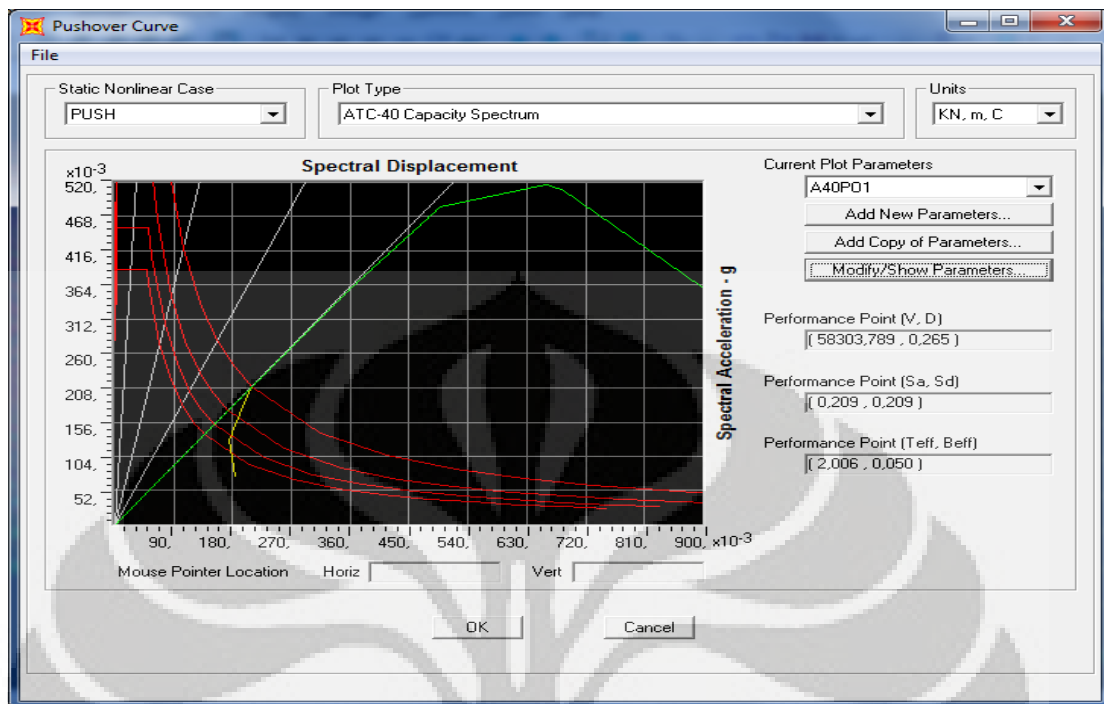
Berdasarkan tabel 6 di atas, kondisi leleh terjadi pada *step 3* dengan displacement yang terjadi sebesar **0,458 m** dan gaya geser dasar sebesar **100.831,652 KN**, sementara kondisi ultimit terjadi pada *step 5* dengan displacement sebesar **0,818 m** dan gaya geser dasar sebesar **149.584,637 KN**.

IV.2.2 Evaluasi Kinerja Struktur

Kriteria evaluasi level kinerja bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi saat titik kinerja bangunan tercapai. Titik kinerja didefinisikan sebagai target perpindahan / perpindahan atap maksimum (δ_t) dan gaya geser dasar yang menyebabkannya (V_t), akibat beban gempa rencana. Pada studi ini, titik kinerja bangunan ditentukan menggunakan tiga metode yang berlaku saat ini, yaitu Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40) yang telah *built-in* dalam program SAP2000 V.14, Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356), dan Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440), seperti yang telah dijelaskan terdahulu pada bab 2. Dari ketiga metode di atas, dipilih target perpindahan yang paling besar (menentukan).

Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Spectrum kapasitas yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2. Spektrum Kapasitas

Berdasarkan grafik di atas, hasil evaluasi kinerja ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 4.4. Evaluasi Kinerja Sesuai ATC-40

Ukuran Penampang	Performance Point	
	V (KN)	D (m)
Balok 40x70 cm	58303,789	0,256

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Target perpindahan pada titik control δ_i , ditentukan dari Pers. 9, adapun parameternya adalah:

$$T_e = 2,006 \text{ detik}$$

$$C_0 = 1,5 \text{ (Tabel 3.2 dari FEMA 356 untuk bangunan lebih dari 10 lantai)}$$

$$C_1 = 1,0 \text{ untuk } T_e > T_s$$

$T_s = 0,4874$ adalah waktu getar karakteristik dari kurva respon spectrum

$C_2 = 1,1$,anggap sebagai rangka Type 1 dan kinerja yang dipilih adalah LS (Life Safety)

$C_3 = 1,0$,perilaku pasca leleh adalah positif

$S_a = 2,86$ (berdasarkan IBC 2006 dengan $T > T_s$)

Maka target perpindahan dapat dihitung, sebagai berikut : $\delta_t = 4,7138$ m

Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440)

Target perpindahan pada titik control δ_t , juga ditentukan dari Pers. 9. Dengan parameternya adalah:

$T_e = 2,006$ detik, lebih besar dari 1 detik maka $C_1 = C_2 = 1,0$

$C_0 = 1,5$ (Tabel 3.2 dari FEMA 356 untuk bangunan lebih dari 10 lantai)

$T_s = 0,4874$ adalah waktu getar karakteristik dari kurva respon spectrum

$C_3 = 1,0$,perilaku pasca leleh adalah positif

$S_a = 2,86$ (berdasarkan IBC 2006 dengan $T > T_s$)

Maka target perpindahan dapat dihitung, sebagai berikut: $\delta_t = 4,285$ m

Dari data-data hasil analisis pushover tersebut dapat diperoleh table yang menunjukkan *seismic performance level* dari struktur sebagai berikut:

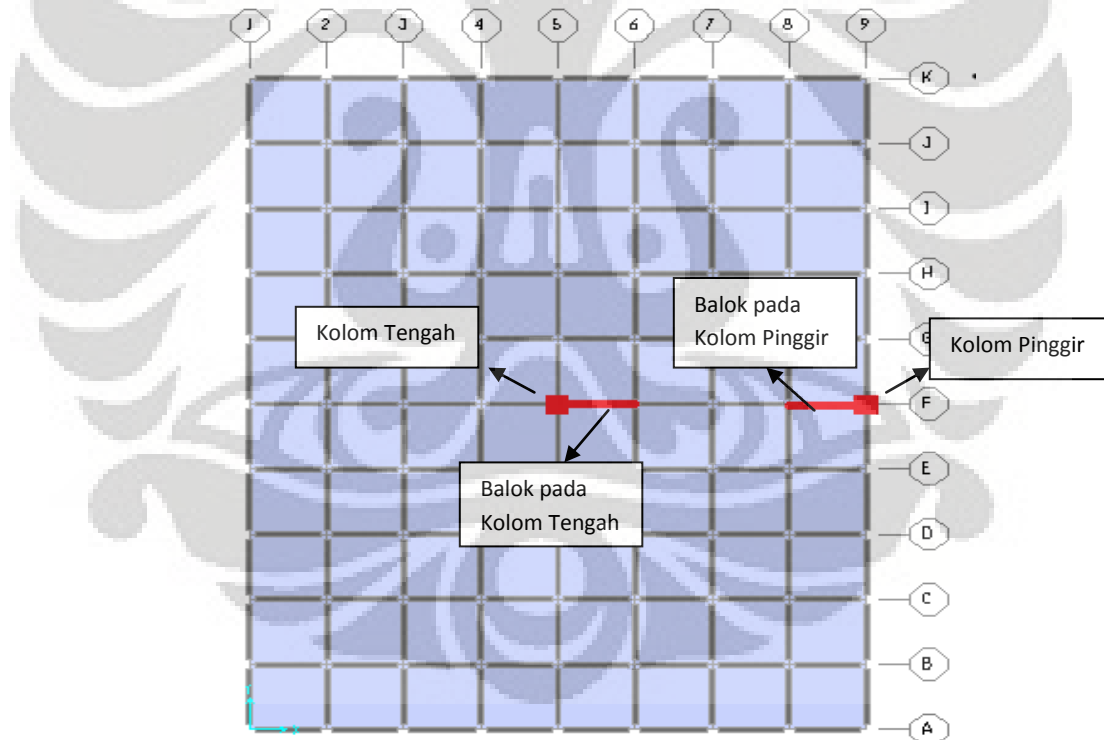
Tabel 4.5. *Performance Level* Elemen Struktur pada Gedung Rumah Sakit 14 Lantai

Parameter Kinerja		
kekuatan	100831,7	KN
target perpindahan (δ_t)	4,7138	m

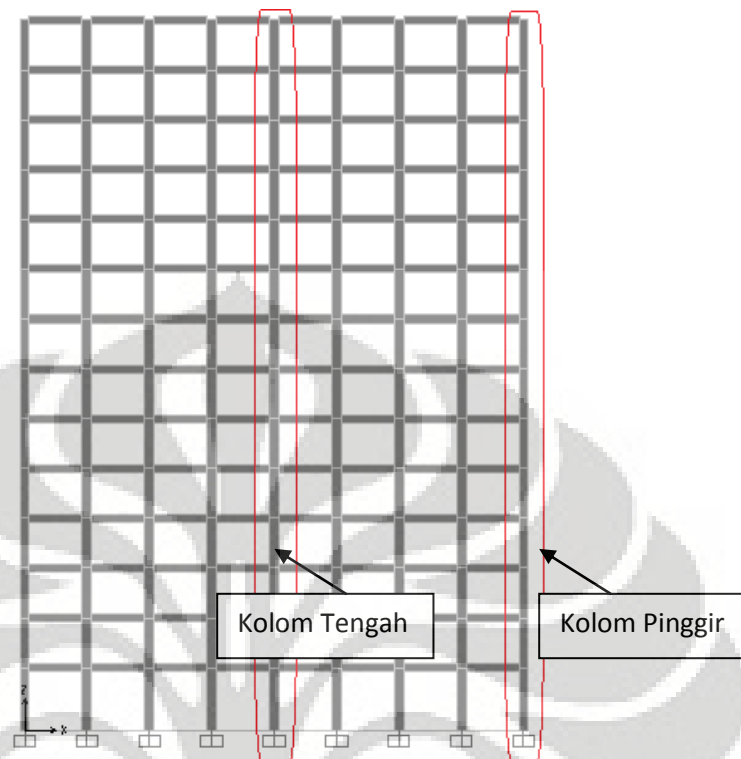
target gaya geser dasar (Vt)	58303,79	KN
level performance elemen	IO	
total hinge	386	

IV.2.3 Gaya Dalam Momen

Pada analisis gaya dalam momen, diambil contoh pada kolom tengah dan kolom pinggir; serta balok yang berada melintang pada kolom tengah dan kolom pinggir. Besarnya momen pada suatu struktur mempengaruhi kerusakan structural yang terjadi. Jika momen yang bekerja pada struktur melebihi kapasitas momen yang dapat ditanggung oleh struktur tersebut, maka kerusakan struktural dapat terjadi.



Gambar 4.3. Posisi Balok dan Kolom yang Ditinjau Untuk Gaya Dalam



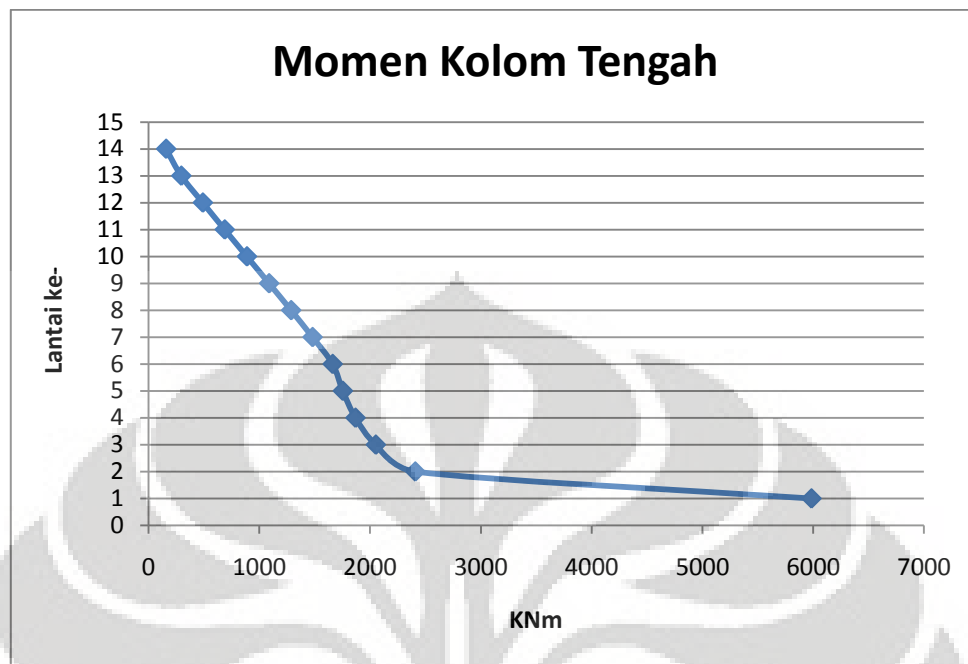
Gambar 4.4. Posisi Kolom yang Ditinjau Untuk Gaya Dalam

IV.2.3.1 Gaya Momen Kolom Tengah

Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen pada struktur :

Tabel 4.6. Gaya Dalam Momen Kolom Tengah

Lantai ke-	Momen (KN)
14	159,645
13	296,7055
12	491,1906
11	688,7276
10	889,2169
9	1089,27
8	1288,12
7	1481,535
6	1663,039
5	1754,829
4	1869,301
3	2052,641
2	2408,852
1	5985,257



Gambar 4.5. Grafik Momen Kolom Tengah

Grafik di atas merupakan grafik gaya dalam momen pada kolom tengah. Pada lantai dasar, momen yang terjadi sebesar ± 6000 KN dan terus menurun sampai pada lantai paling atas dengan momen sebesar ± 160 KN.

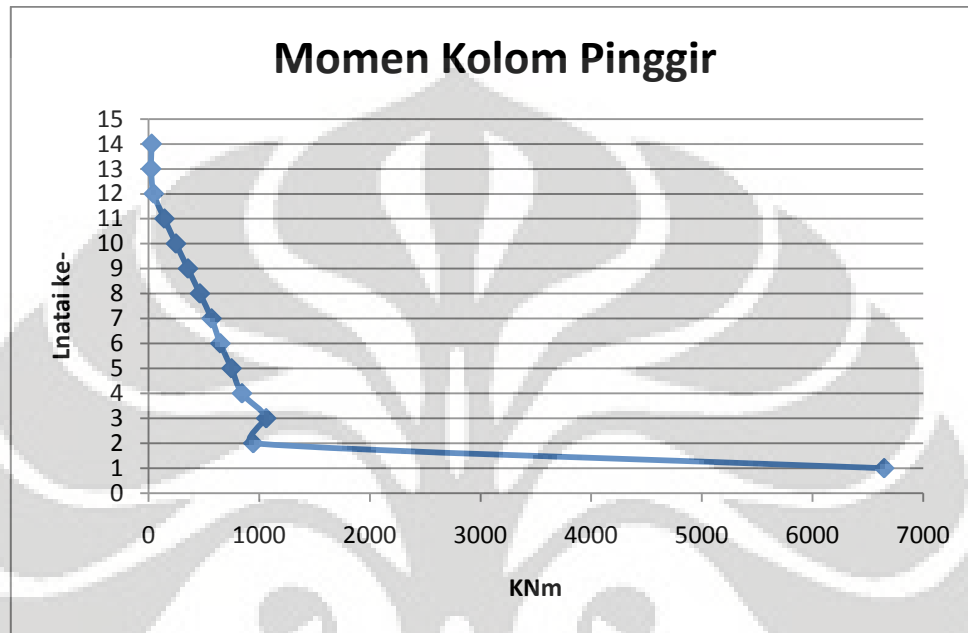
IV.2.3.2 Gaya Momen Kolom Pinggir

Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen pada struktur :

Tabel 4.7. Gaya Dalam Momen Kolom Pinggir

Lantai ke-	Momen
14	26,6785
13	21,9327
12	46,0942
11	142,7245
10	246,8498
9	355,1886
8	463,1066
7	568,2183
6	647,6192
5	748,9951
4	843,0333
3	1061,8776

2	944,8762
1	6647,3959

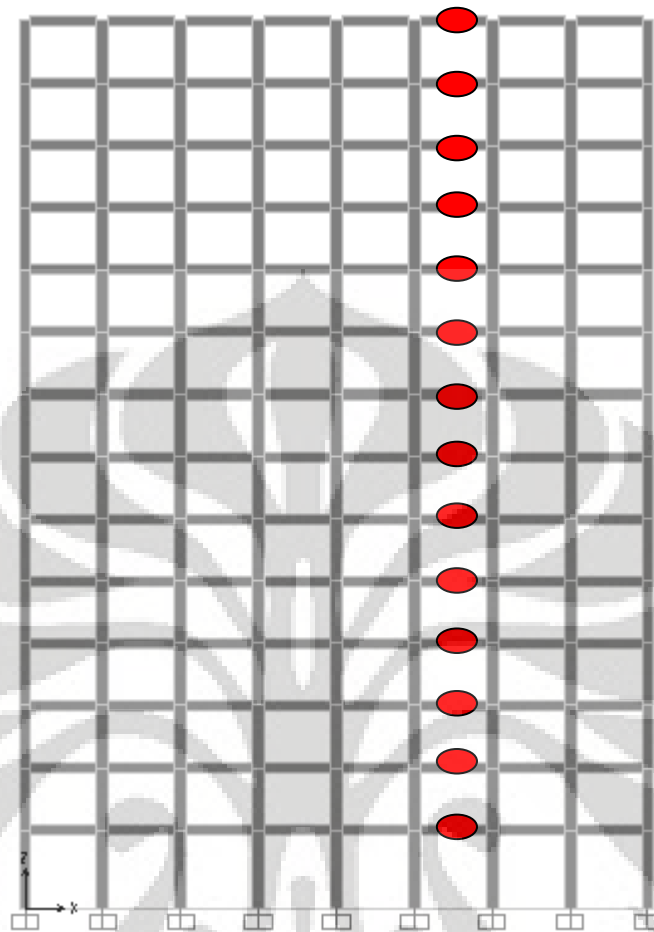


Gambar 4.6. Grafik Momen Kolom Pinggir

Grafik di atas merupakan grafik gaya dalam momen pada kolom pinggir. Pada lantai dasar, momen yang terjadi sebesar ± 6600 KN dan terus menurun dan terus menurun sampai pada lantai paling atas dengan momen sebesar ± 26 KN. Namun pada lantai ketiga terdapat sedikit lonjakan momen yaitu menjadi sebesar ± 1061 KN.

IV.2.3.3 Gaya Momen Balok Pada Kolom Tengah

Balok pada tiap lantai ditinjau untuk mengetahui besar gaya dalam momen. Balok yang ditinjau, diambil satu contoh pada tiap lantai yang membentang ke arah X, pada kolom tengah yang sebelumnya disebutkan.



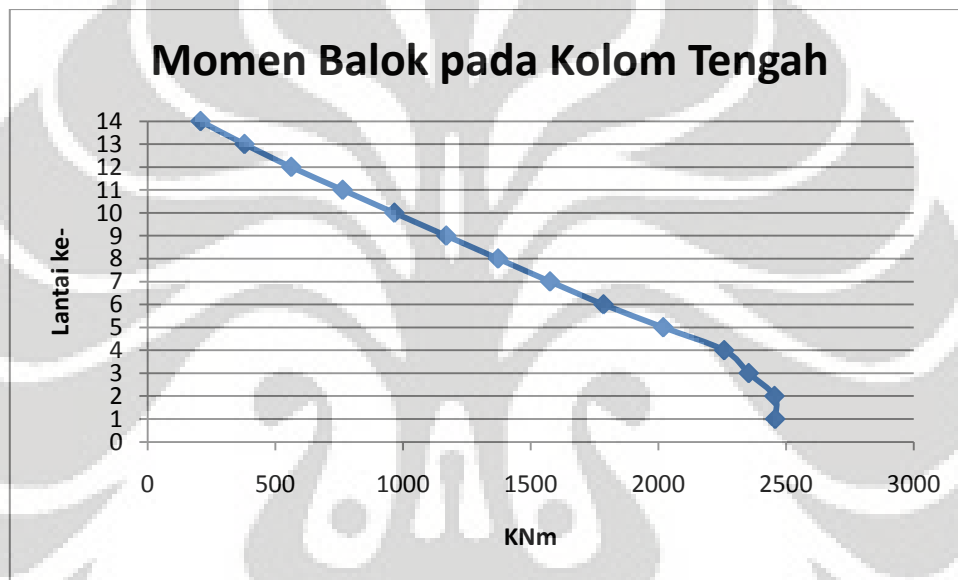
Gambar 4.7. Posisi Balok pada Kolom Tengah

Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen balok pada kolom tengah :

Tabel 4.8. Gaya Dalam Momen Balok pada Kolom Tengah

Lantai ke-	Momen
14	207,4024
13	379,5967
12	562,6568
11	763,9359
10	966,5946
9	1169,6908
8	1372,5822

7	1576,1343
6	1785,4936
5	2019,5131
4	2258,1175
3	2354,1879
2	2455,2335
1	2457,7721

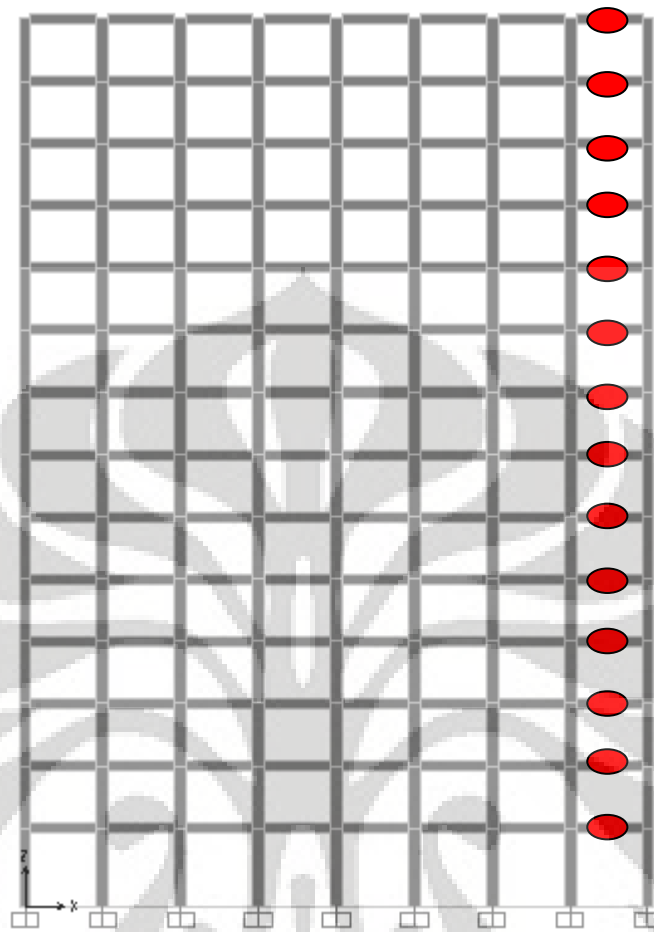


Gambar 4.8. Grafik Momen Balok pada Kolom Tengah

Grafik di atas merupakan grafik gaya dalam momen balok yang berada pada kolom tengah. Pada lantai dasar, momen yang terjadi sebesar ± 2450 KN dan terus menurun sampai pada lantai paling atas dengan momen sebesar ± 200 KN.

IV.2.3.4 Gaya Momen Balok Pada Kolom Pinggir

Balok yang ditinjau, diambil satu contoh pada tiap lantai yang membentang ke arah X, pada kolom pinggir yang sebelumnya disebutkan.



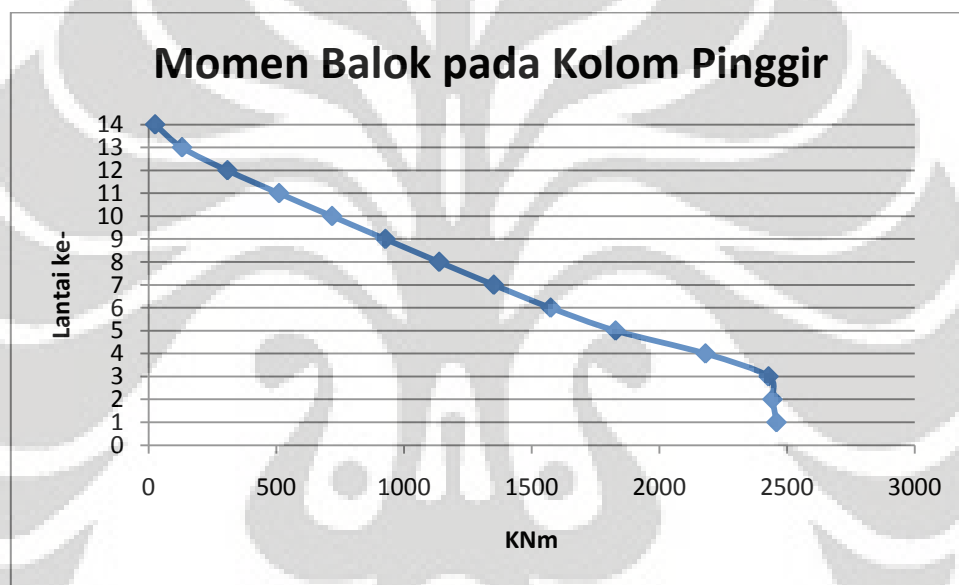
Gambar 4.9. Posisi Balok pada Kolom Pinggir

Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen balok pada kolom pinggir :

Tabel 4.9. Gaya Dalam Momen Balok pada Kolom Pinggir

Lantai ke-	Momen
14	25,1915
13	130,5232
12	308,432
11	510,5114
10	718,0822
9	926,9384

8	1137,5777
7	1351,617
6	1574,11
5	1828,417
4	2180,4795
3	2427,3007
2	2442,8958
1	2458,4649



Gambar 4.10. Grafik Momen Balok Pada Kolom Pinggir

Grafik di atas merupakan grafik gaya dalam momen balok yang berada pada kolom pinggir. Pada lantai dasar, momen yang terjadi sebesar ± 2450 KN dan terus menurun sampai pada lantai paling atas dengan momen sebesar ± 25 KN.

IV.2.4 Simpangan

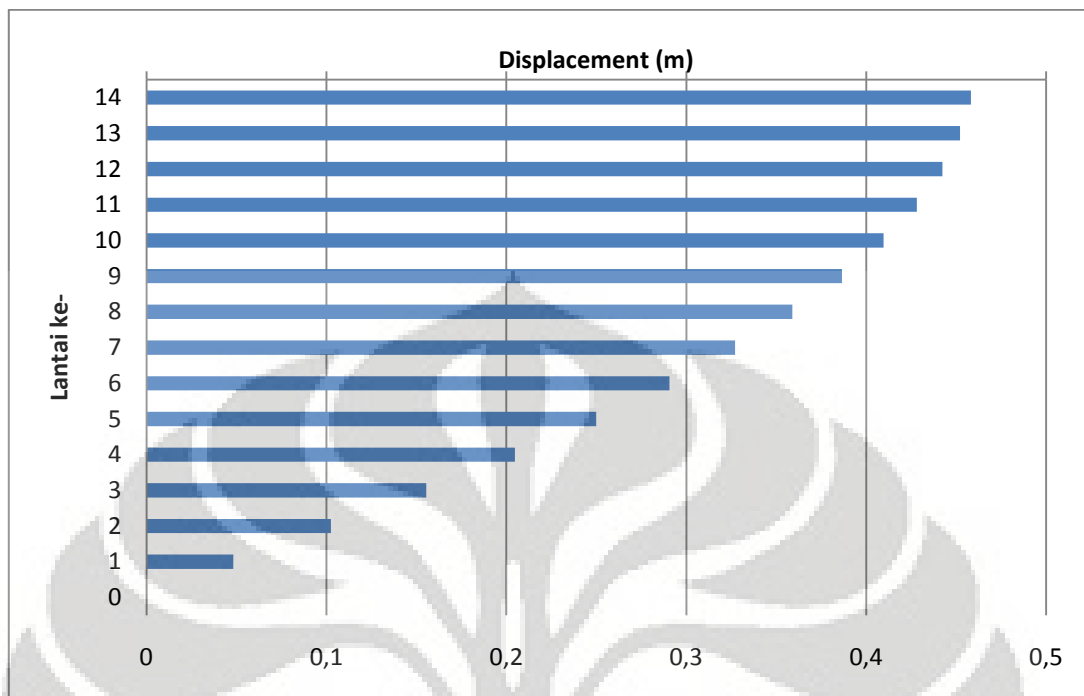
Simpangan merupakan salah satu hal penting untuk dianalisis. Pembatasan nilai simpangan dimaksudkan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan selain itu juga untuk

mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisahkan dengan sela pemisah (sela dilatasi).

Berikut ini adalah tabel dan grafik displacement lantai pada tiap tingkat :
(displacement yang ditinjau adalah displacement arah X)

Tabel 4.10. Displacement pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis
(Kondisi Leleh)

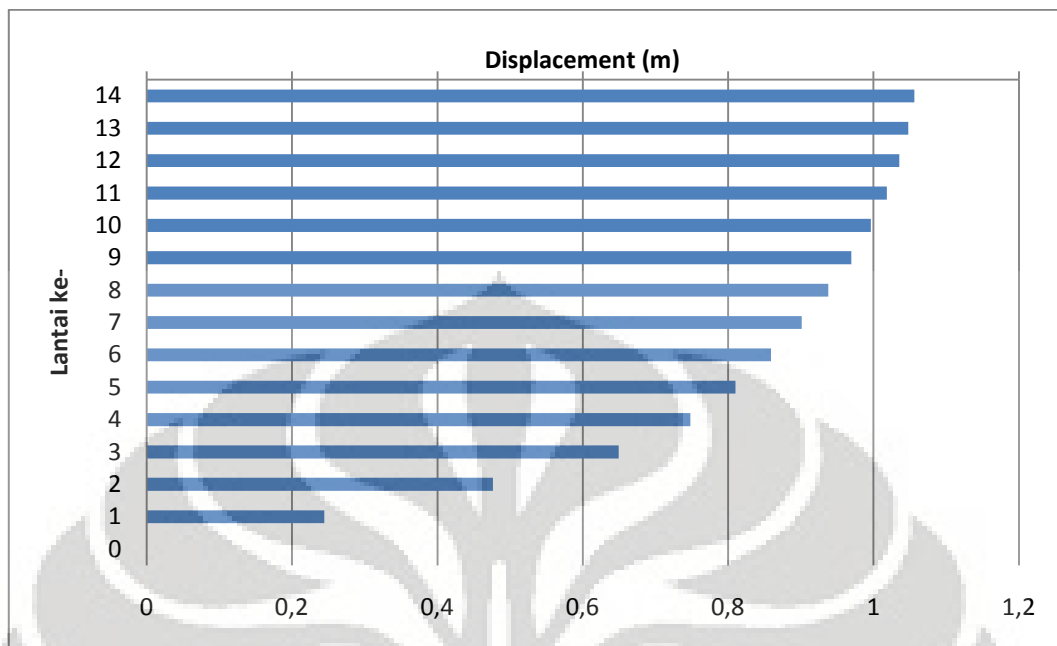
Lantai ke-	Displacement (m)
14	0,458199
13	0,452184
12	0,442365
11	0,428211
10	0,409611
9	0,386545
8	0,359021
7	0,327056
6	0,290672
5	0,249896
4	0,204769
3	0,155407
2	0,10241
1	0,048251
0	0



Gambar 4.11. Grafik Displacement pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)

Tabel 4.11. Displacement Akhir Antar Tingkat

Lantai ke-	Displacement (m)
14	1,05616
13	1,047906
12	1,035516
11	1,018394
10	0,996412
9	0,969541
8	0,937768
7	0,901022
6	0,858972
5	0,810138
4	0,748178
3	0,649437
2	0,476352
1	0,244263
0	0



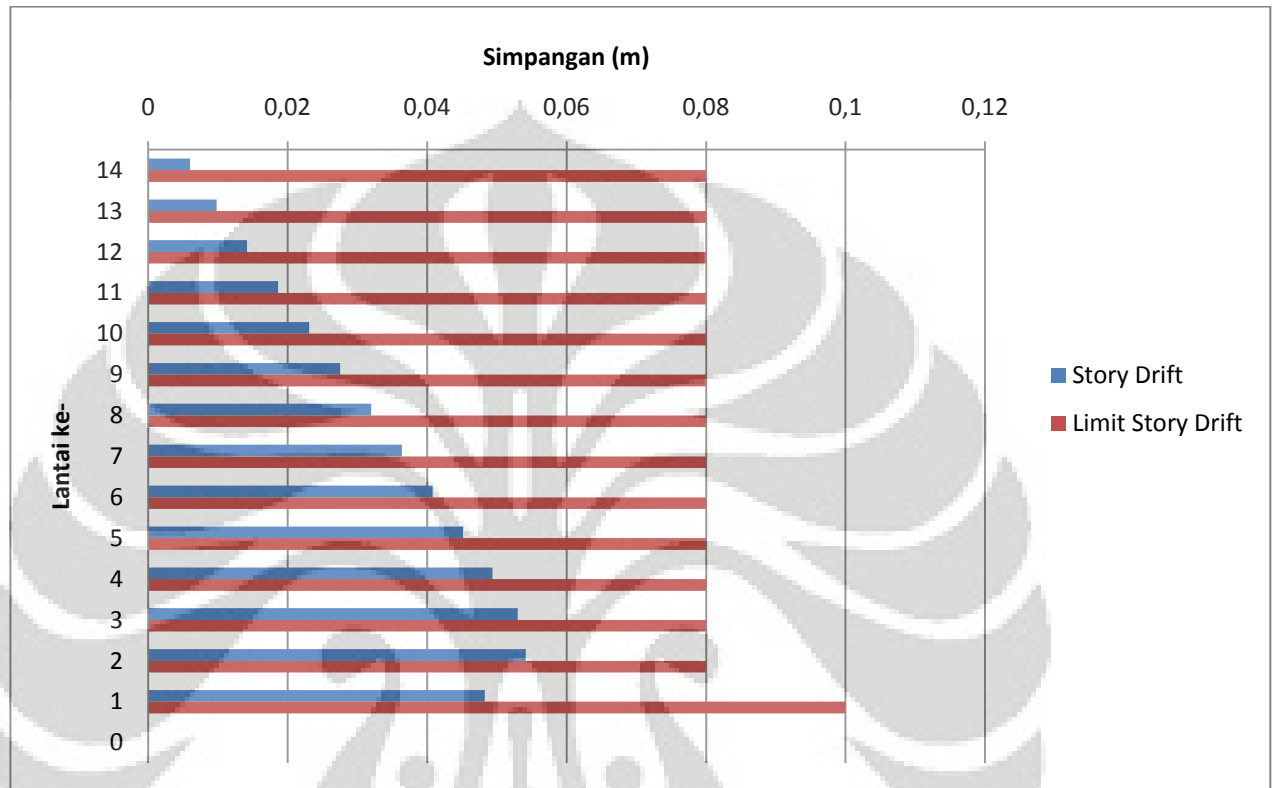
Gambar 4.12. Grafik Displacement Akhir Antar Tingkat

Sementara itu berikut ini adalah tabel dan grafik simpangan lantai pada tiap tingkat : (simpangan yang ditinjau adalah simpangan arah X)

Tabel 4.12. Simpangan pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)

Lantai ke-	Simpangan (m)
14	0,006015
13	0,009819
12	0,014154
11	0,0186
10	0,023066
9	0,027524
8	0,031965
7	0,036384
6	0,040776
5	0,045127
4	0,049362
3	0,052997
2	0,054159

1	0,048251
0	0

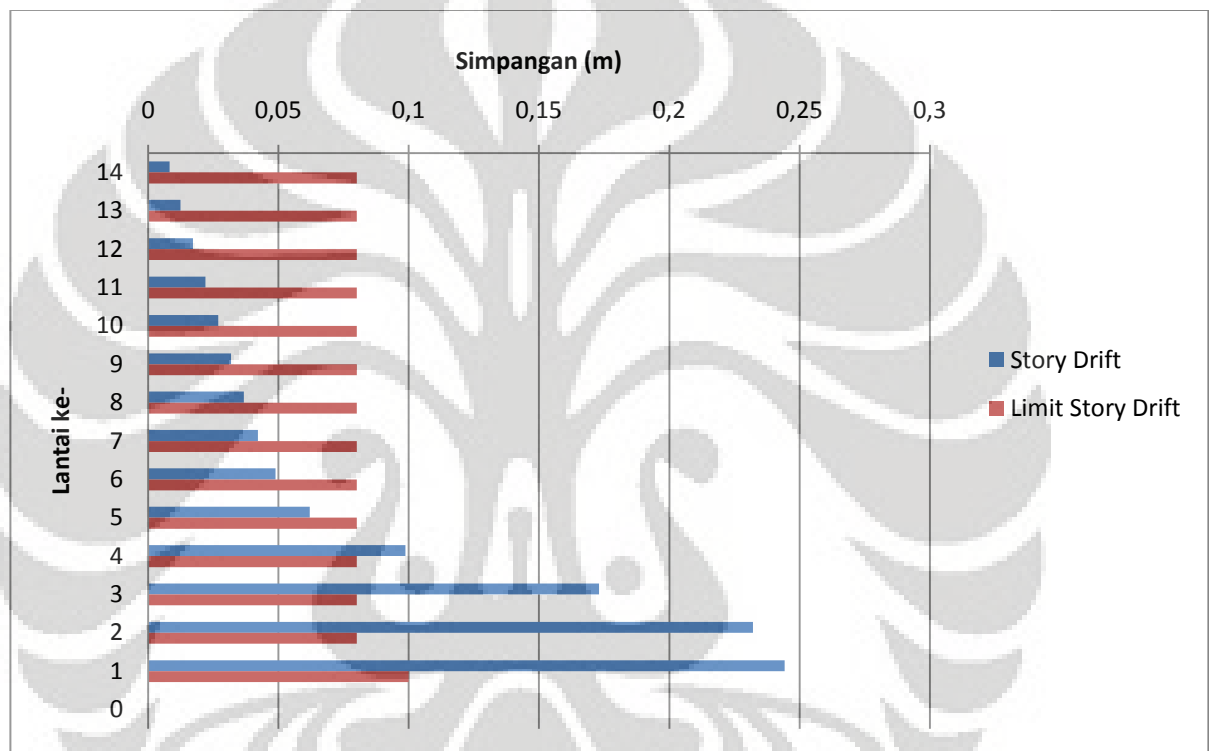


Gambar 4.13. Grafik Simpangan pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)

Tabel 4.13. Simpangan Akhir Antar Tingkat

Lantai ke-	Simpangan (m)
14	0,008254
13	0,01239
12	0,017122
11	0,021982
10	0,026871
9	0,031773
8	0,036746
7	0,04205

6	0,048834
5	0,06196
4	0,098741
3	0,173085
2	0,232089
1	0,244263
0	0



Gambar 4.14. Grafik Simpangan Akhir Antar Tingkat

Dari data-data di atas, rasio simpangan lantai atap dapat didefinisikan sebagai perbedaan displacement akhir lantai teratas (atap) dan lantai dasar yang dibagi dengan tinggi total gedung. Sehingga rasio simpangan lantai atap adalah 0,0185.

Sesuai dengan peraturan, nilai rasio simpangan lantai adalah 0,02, maka nilai rasio simpangan pada struktur rumah sakit masih berada di bawah nilai batas.

Sementara itu untuk simpangan antar tingkat maksimum adalah 2% dari tinggi masing-masing tingkat. Maka dari itu simpangan antar tingkat berada di bawah nilai

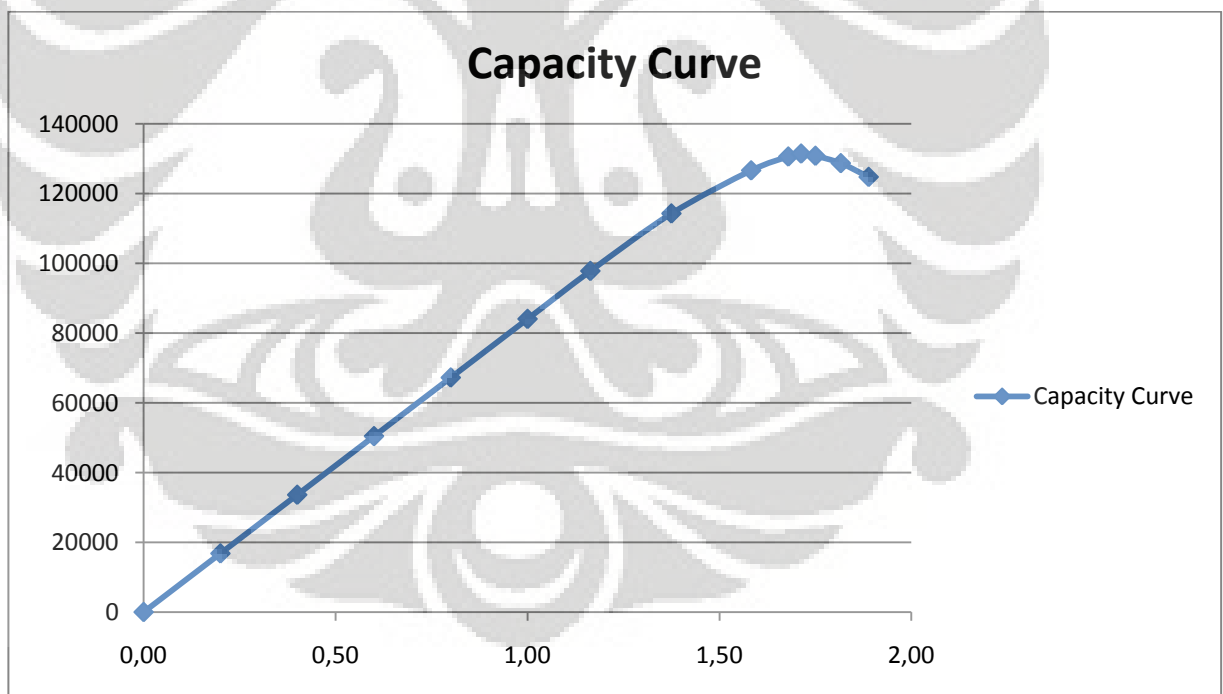
maksimum yang diperbolehkan, kecuali simpangan lantai 1 sampai dengan lantai 4 yang sedikit melebihi nilai maksimum.

IV.3 Model Struktur Dengan Balok 40x70 Cm dan 40x40 Cm

Pada bagian yang kedua ini struktur yang dianalisa adalah struktur dengan ukuran balok 40x70 cm pada lantai 1-4, dan balok 40x40 cm pada lantai 5-14. Dalam penelitian ini, analisis pushover dilakukan terhadap bangunan 3D untuk mengetahui kinerja dan perilaku inelastik struktur.

IV.3.1 Analisis Pushover pada Elemen Struktur

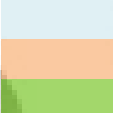


Dari analisis pushover didapat hasil berupa kurva kapasitas (*capacity curve*) dan skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi, seperti ditunjukkan berikut ini:



Gambar 4.15. Grafik Kurva Kapasitas

Tabel 4.14. Pembentukan Sendi Plastis

TABLE: Pushover Curve - PUSH											
Step	Displacement	BaseForce	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
	m	KN									
0	0,00E+00	0,000	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
1	0,2	16805,904	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
2	0,4	33611,808	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
3	0,6	50417,712	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
4	0,8	6 223,616	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
5	1,000000	84029,520	7756	0	0	0	0	0	0	0	7756
6	1,163620	97778,419	7754	2	0	0	0	0	0	0	7756
7	1,374770	114251,011	7371	231	154	0	0	0	0	0	7756
8	1,582458	126602,196	6656	431	669	0	0	0	0	0	7756
9	1,679194	130571,636	6423	323	502	288	0	220	0	0	7756
10	1,712583	13 422,419	6414	277	537	88	0	440	0	0	7756
11	1,749916	130789,460	6380	309	539	11	0	517	0	0	7756
12	1,815974	128673,453	6305	230	517	33	0	671	0	0	7756
13	1,888560	124728,851	6305	219	220	220	0	792	0	0	7756

Ket:  kondisi leleh
 kondisi kinerja (pendekatan)
 kondisi ultimit

Dari tabel di atas dapat ditentukan kondisi leleh dan kondisi ultimit. Kondisi leleh dinyatakan ketika pembentukan sendi plastis pertama akibat beban gempa terjadi. Sementara kondisi ultimit dinyatakan apabila elemen struktur mencapai salah satu dari 3 kondisi berikut:

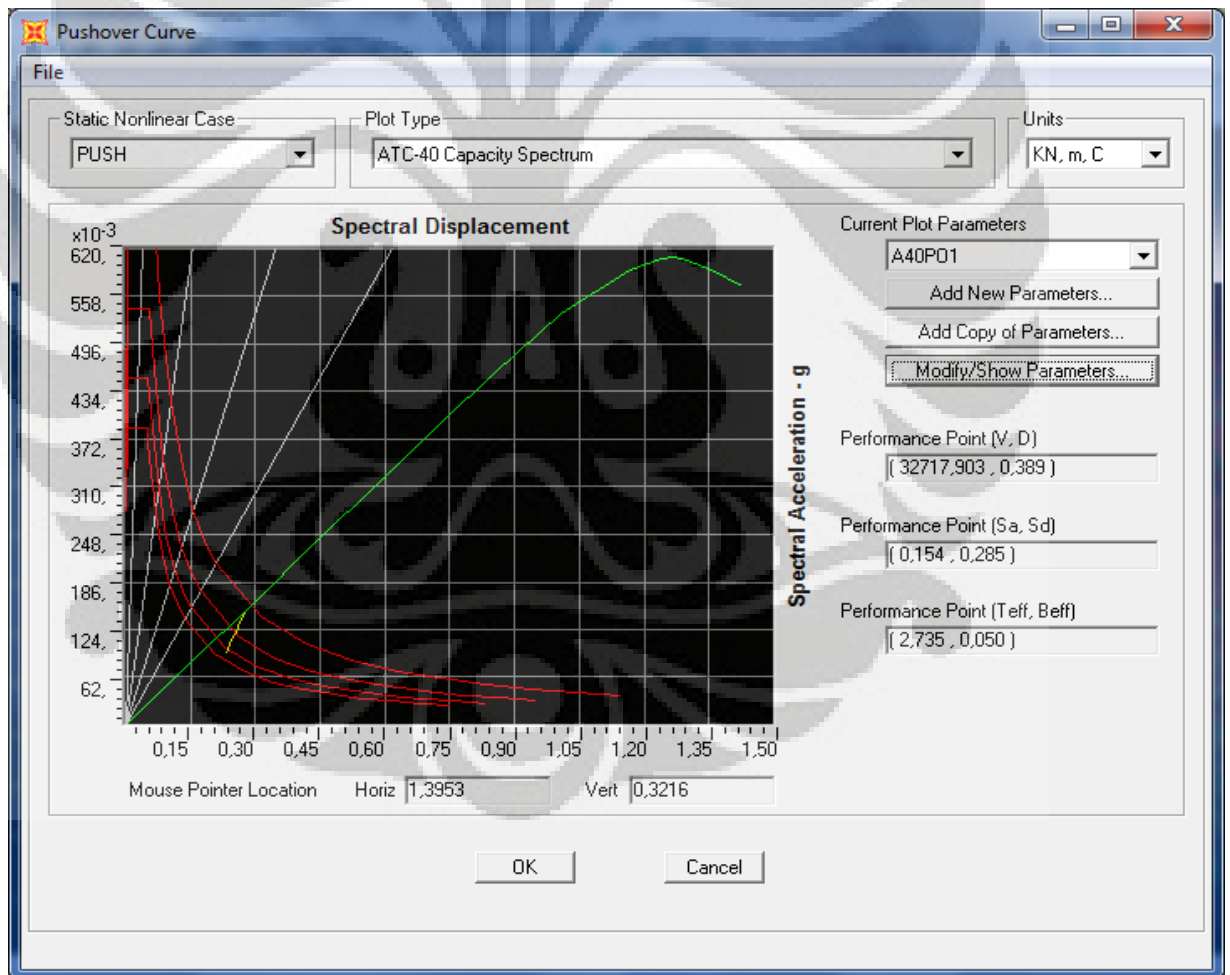
- Terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom di luar bagian yang diperbolehkan, yaitu ujung bawah kolom lantai dasar.
- Semua balok telah mengalami pembentukan sendi plastis.
- Salah satu balok melewati batas sendi plastis yang diperbolehkan, yaitu *collapse prevention* (CP)

Berdasarkan tabel 17 di atas, kondisi leleh terjadi pada *step 6* dengan displacement yang terjadi sebesar **1,1636 m** dan gaya geser dasar sebesar **97.778,419 KN**, sementara kondisi ultimit terjadi pada *step 9* dengan displacement sebesar **1,6792 m** dan gaya geser dasar sebesar **130.571,636 KN**.

IV.3.2 Evaluasi Kinerja Struktur

Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Spektrum kapasitas yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.16. Spektrum Kapasitas

Berdasarkan grafik di atas, hasil evaluasi kinerja ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 4.15. Evaluasi Kinerja Sesuai ATC-40

Ukuran Penampang	Performance Point	
	V (KN)	D (m)
Balok 40x70 cm dan 40x40cm	31159,91	0,371

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Target perpindahan pada titik control δ_t , ditentukan dari Pers. 9, adapun parameternya adalah:

$$T_e = 2,735 \text{ detik}$$

$$C_0 = 1,5 \text{ (Tabel 3.2 dari FEMA 356 untuk bangunan lebih dari 10 lantai)}$$

$$C_1 = 1,0 \text{ untuk } T_e > T_s$$

$$T_s = 0,4874 \text{ adalah waktu getar karakteristik dari kurva respon spectrum}$$

$$C_2 = 1,1 \text{ ,anggap sebagai rangka Type 1 dan kinerja yang dipilih adalah LS (Life Safety)}$$

$$C_3 = 1,0 \text{ ,perilaku pasca leleh adalah positif}$$

$$S_a = 2,86 \text{ (berdasarkan IBC 2006 dengan } T > T_s)$$

Maka target perpindahan dapat dihitung, sebagai berikut : $\delta_t = 8,762 \text{ m}$

Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440)

Target perpindahan pada titik control δ_t , juga ditentukan dari Pers. 9. Dengan parameternya adalah:

$$T_e = 2,735 \text{ detik, lebih besar dari 1 detik maka } C_1 = C_2 = 1,0$$

$C_0 = 1,5$ (Tabel 3.2 dari FEMA 356 untuk bangunan lebih dari 10 lantai)

$T_s = 0,4874$ adalah waktu getar karakteristik dari kurva respon spectrum

$C_3 = 1,0$, perilaku pasca leleh adalah positif

$S_a = 2,86$ (berdasarkan IBC 2006 dengan $T > T_s$)

Maka target perpindahan dapat dihitung, sebagai berikut: $\delta_t = 7,965$ m

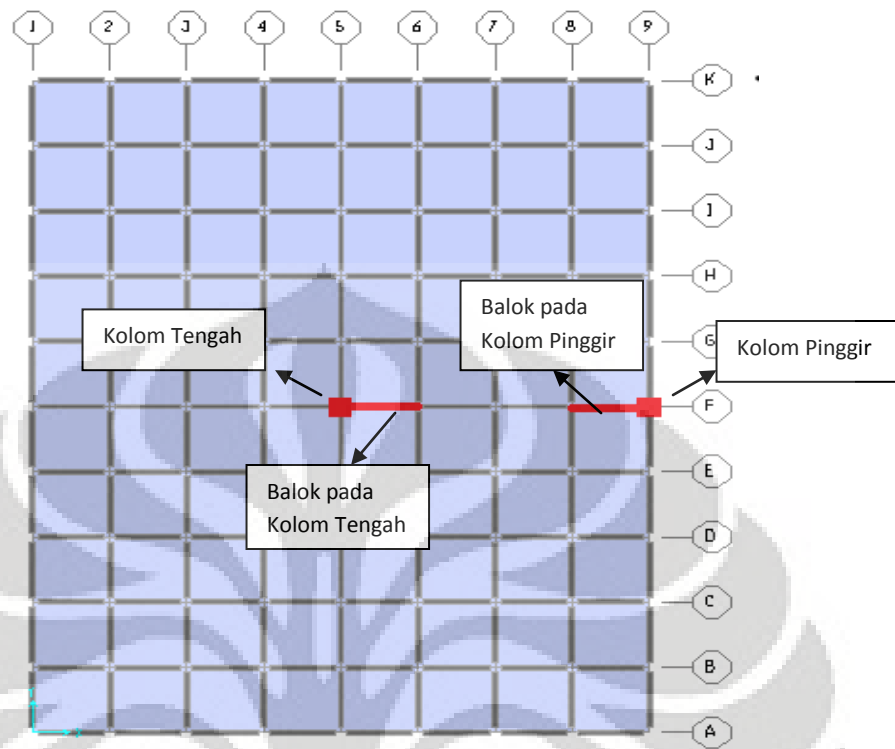
Dari data-data hasil analisis pushover tersebut dapat diperoleh table yang menunjukkan *seismic performance level* dari struktur sebagai berikut:

Tabel 4.16. *Performance Level* Elemen Struktur pada Gedung Rumah Sakit 14 Lantai

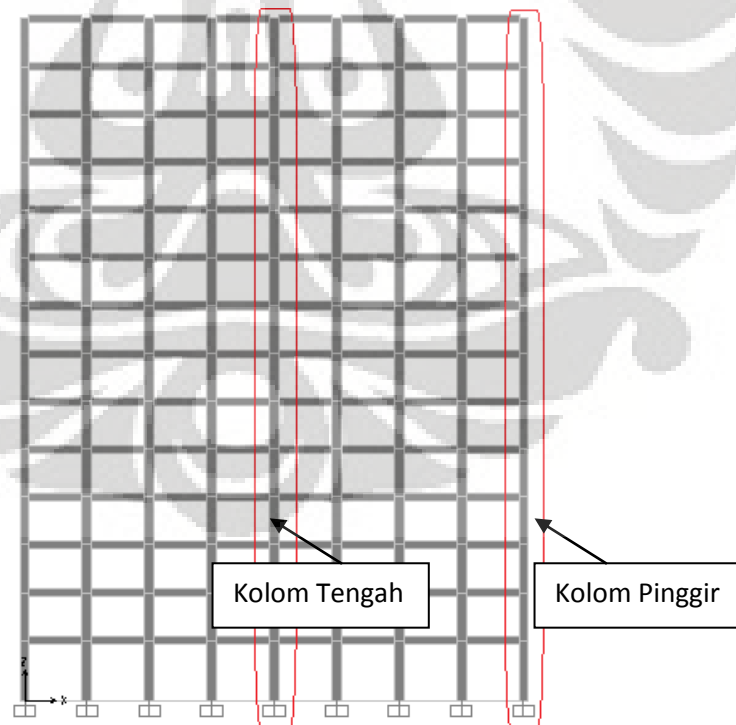
Parameter Kinerja		
kekuatan	97778,419	KN
target perpindahan (δ_t)	8,762	m
target gaya geser dasar (V_t)	31159,907	KN
level performance elemen	LS	
total hinge	154	

IV.3.3 Gaya Dalam Momen

Pada analisis gaya dalam momen, diambil contoh pada kolom tengah dan kolom pinggir; serta balok yang berada melintang pada kolom tengah dan kolom pinggir.



Gambar 4.17. Posisi Balok dan Kolom yang Ditinjau Untuk Gaya Dalam



Gambar 4.18. Posisi Kolom yang Ditinjau Untuk Gaya Dalam

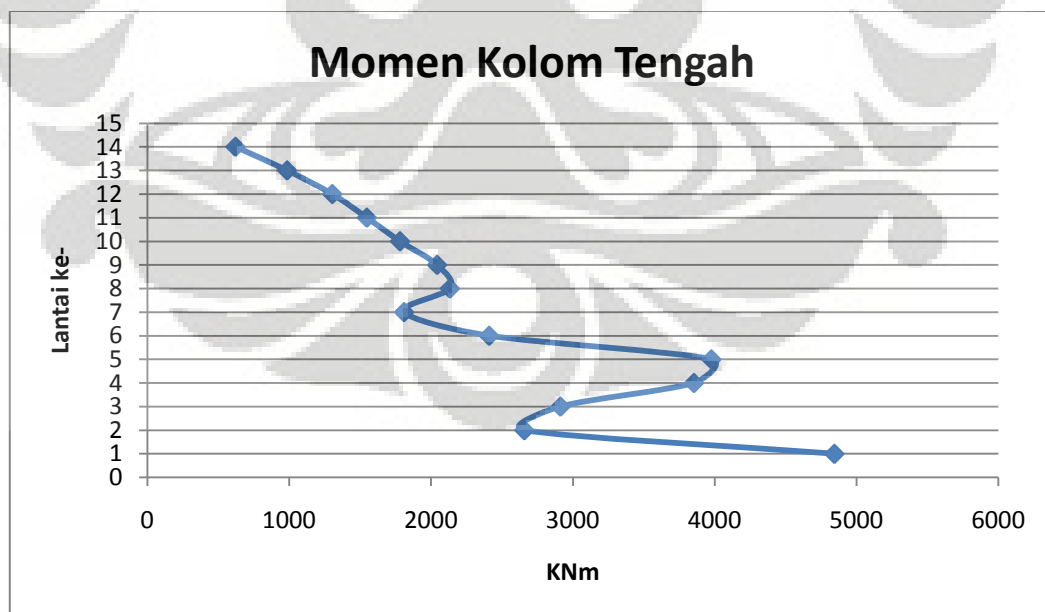
Universitas Indonesia

IV.3.3.1 Gaya Momen Kolom Tengah

Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen pada struktur :

Tabel 4.17. Gaya Dalam Momen Kolom Tengah

Lantai ke-	Momen
14	620,3826
13	984,6297
12	1302,908
11	1546,749
10	1780,544
9	2042,036
8	2132,435
7	1809,015
6	2409,328
5	3976,311
4	3853,428
3	2912,067
2	2657,479
1	4843,957



Gambar 4.19. Grafik Momen Kolom Tengah

Universitas Indonesia

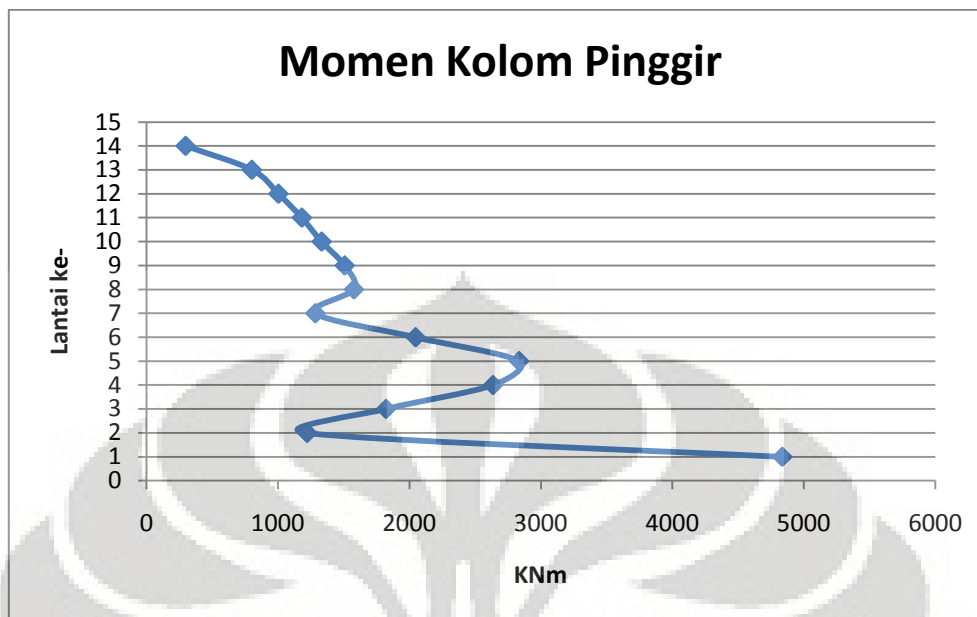
Grafik di atas merupakan grafik gaya dalam momen pada kolom tengah. Pada lantai dasar, momen yang terjadi sebesar ± 4800 KN, lalu menurun, tetapi pada lantai ke-3, 4, dan 5 terjadi lonjakan momen yang cukup signifikan. Setelah itu pada lantai 8 juga terjadi kenaikan momen.

IV.3.3.2 Gaya Momen Kolom Pinggir

Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen pada struktur :

Tabel 4.18. Gaya Dalam Momen Kolom Pinggir

Lantai ke-	Momen
14	296,707
13	800,2788
12	1003,079
11	1180,883
10	1331,365
9	1507,016
8	1577,448
7	1283,821
6	2046,182
5	2833,844
4	2635,357
3	1821,049
2	1220,952
1	4835,472

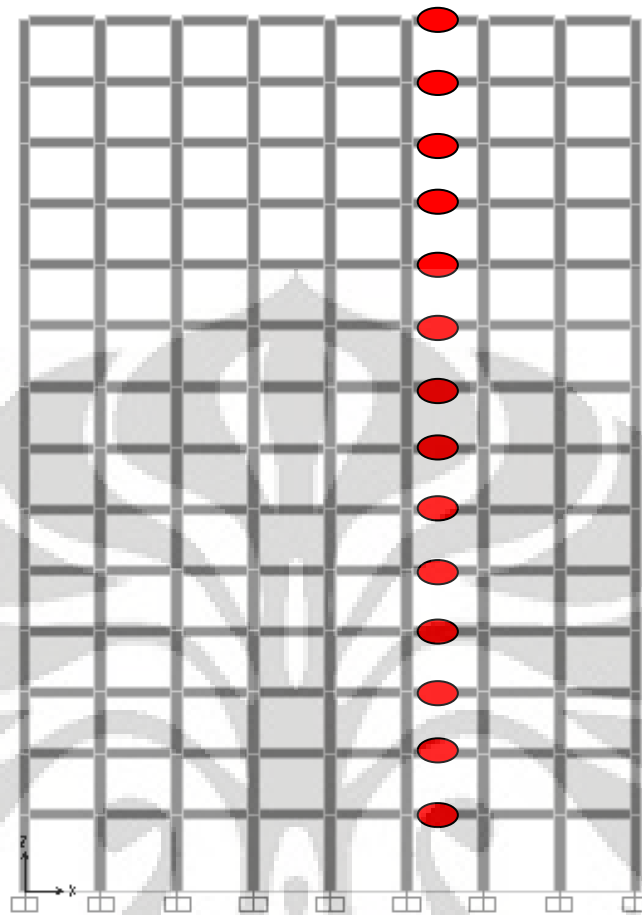


Gambar 4.20. Grafik Momen Kolom Pinggir

Grafik di atas merupakan grafik gaya dalam momen pada kolom pinggir. Perilaku yang ditunjukkan pada kolom pinggir ini sama seperti yang ditunjukkan pada kolom tengah yang sudah dibahas sebelumnya.

IV.3.3.3 Gaya Momen Balok Pada Kolom Tengah

Balok pada tiap lantai ditinjau untuk mengetahui besar gaya dalam momen. Balok yang ditinjau, diambil satu contoh pada tiap lantai yang membentang ke arah X, pada kolom tengah yang sebelumnya disebutkan.



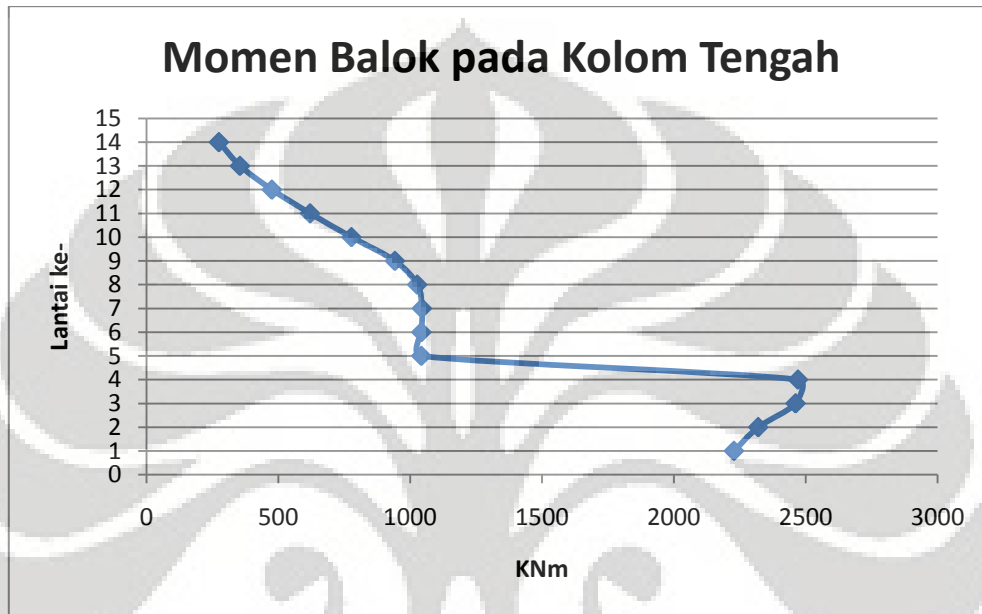
Gambar 4.21. Posisi Balok pada Kolom Tengah

Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen balok pada kolom tengah :

Tabel 4.19. Gaya Dalam Momen Balok pada Kolom Tengah

Lantai ke-	Momen
14	274,7507
13	354,5205
12	475,4743
11	620,5215
10	777,511
9	942,2009
8	1026,892
7	1044,424
6	1042,778
5	1042,472
4	2470,908

3	2461,792
2	2320,242
1	2228,022

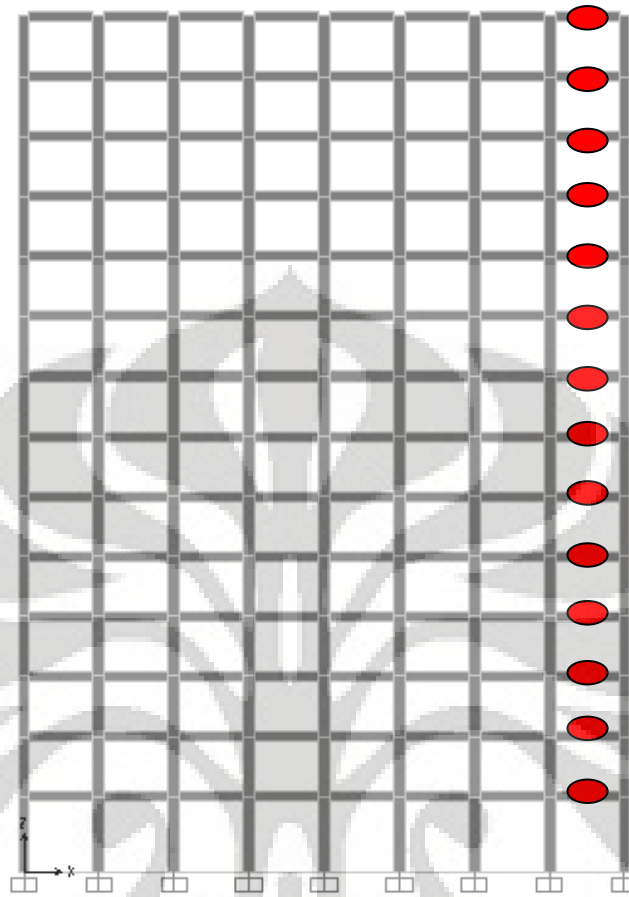


Gambar 4.22. Grafik Momen Balok pada Kolom Tengah

Grafik di atas merupakan grafik gaya dalam momen balok yang berada pada kolom tengah. Pada lantai dasar, momen yang terjadi sebesar ± 2228 KN dan terus menurun sampai pada lantai paling atas dengan momen sebesar ± 274 KN. Tetapi pada lantai ke-2, 3, dan 4 terjadi sedikit lonjakan momen, lalu kemudian turun secara signifikan pada lantai ke-5.

IV.3.3.4 Gaya Momen Balok Pada Kolom Pinggir

Balok yang ditinjau, diambil satu contoh pada tiap lantai yang membentang ke arah X, pada kolom pinggir yang sebelumnya disebutkan.



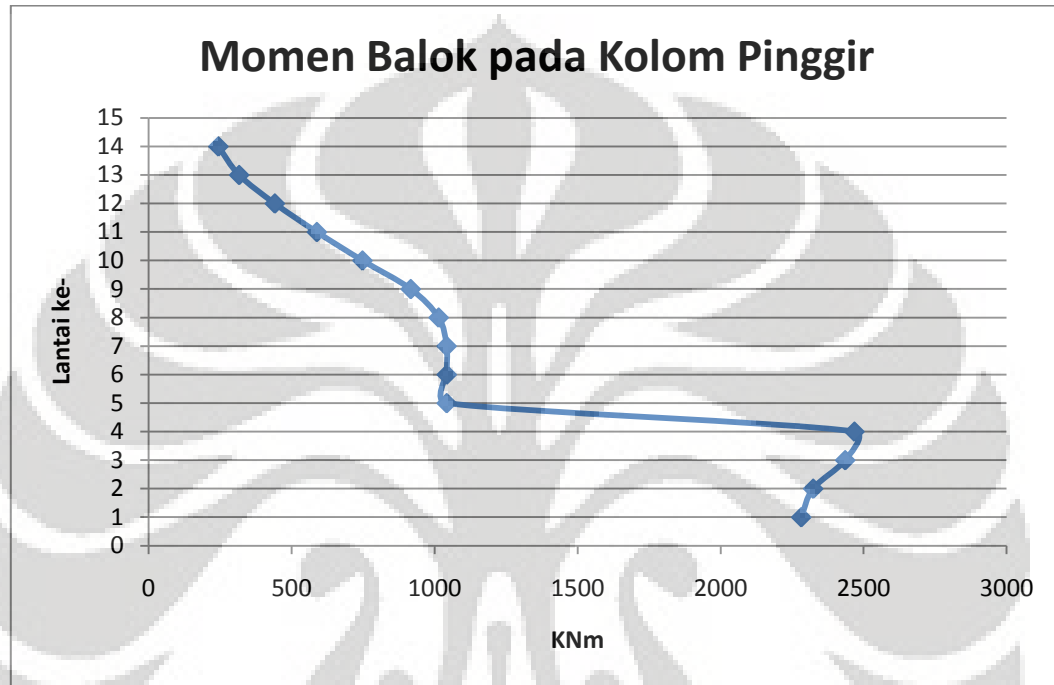
Gambar 4.23. Posisi Balok pada Kolom Pinggir

Berikut adalah tabel dan gambar grafik gaya dalam momen balok pada kolom pinggir :

Tabel 4.20. Gaya Dalam Momen Balok pada Kolom Pinggir

Lantai ke-	Momen
14	243,7867
13	316,3397
12	441,1542
11	588,0151
10	747,6245
9	916,3731
8	1013,9
7	1041,881
6	1042,104
5	1042,08
4	2467,82

3	2435,453
2	2323,614
1	2281,781



Gambar 4.24. Grafik Momen Balok pada Kolom Pinggir

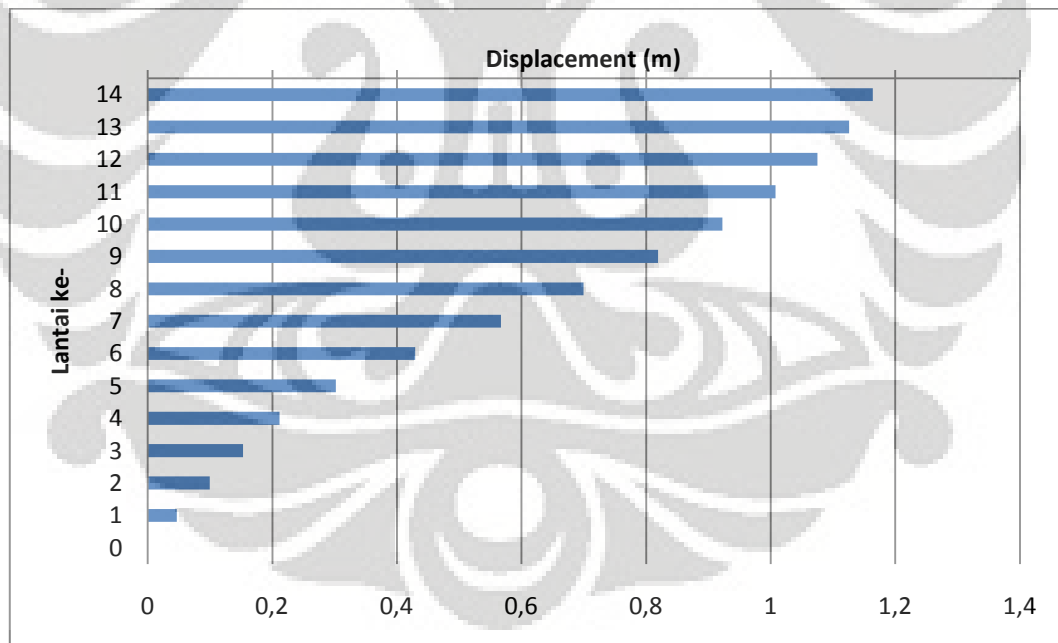
Grafik di atas merupakan grafik gaya dalam momen balok yang berada pada kolom pinggir. Perilaku yang ditunjukkan oleh balok pada kolom pinggir ini juga sama dengan perilaku yang ditunjukkan oleh balok pada kolom tengah.

IV.3.4 Simpangan

Berikut ini adalah tabel dan grafik displacement lantai pada tiap tingkat :
(displacement yang ditinjau adalah displacement arah X)

Tabel 4.21. Displacement pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)

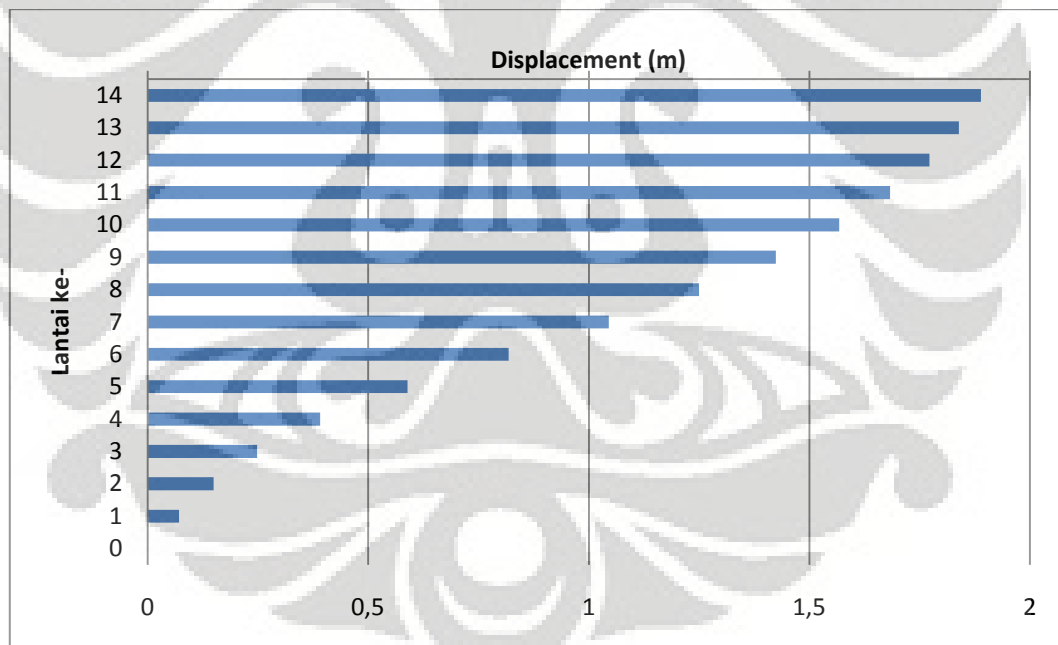
Lantai ke-	Displacement (m)
14	1,16362
13	1,125607
12	1,07498
11	1,007841
10	0,922571
9	0,819177
8	0,699289
7	0,566806
6	0,429446
5	0,301833
4	0,211291
3	0,153015
2	0,099603
1	0,04681
0	0



Gambar 4.25. Grafik Displacement pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)

Tabel 4.22. Displacement Akhir Antar Tingkat

Lantai ke-	Displacement (m)
14	1,888512
13	1,838538
12	1,771798
11	1,682573
10	1,567484
9	1,42413
8	1,250123
7	1,045238
6	0,817885
5	0,589192
4	0,391227
3	0,248197
2	0,149351
1	0,070983
0	0

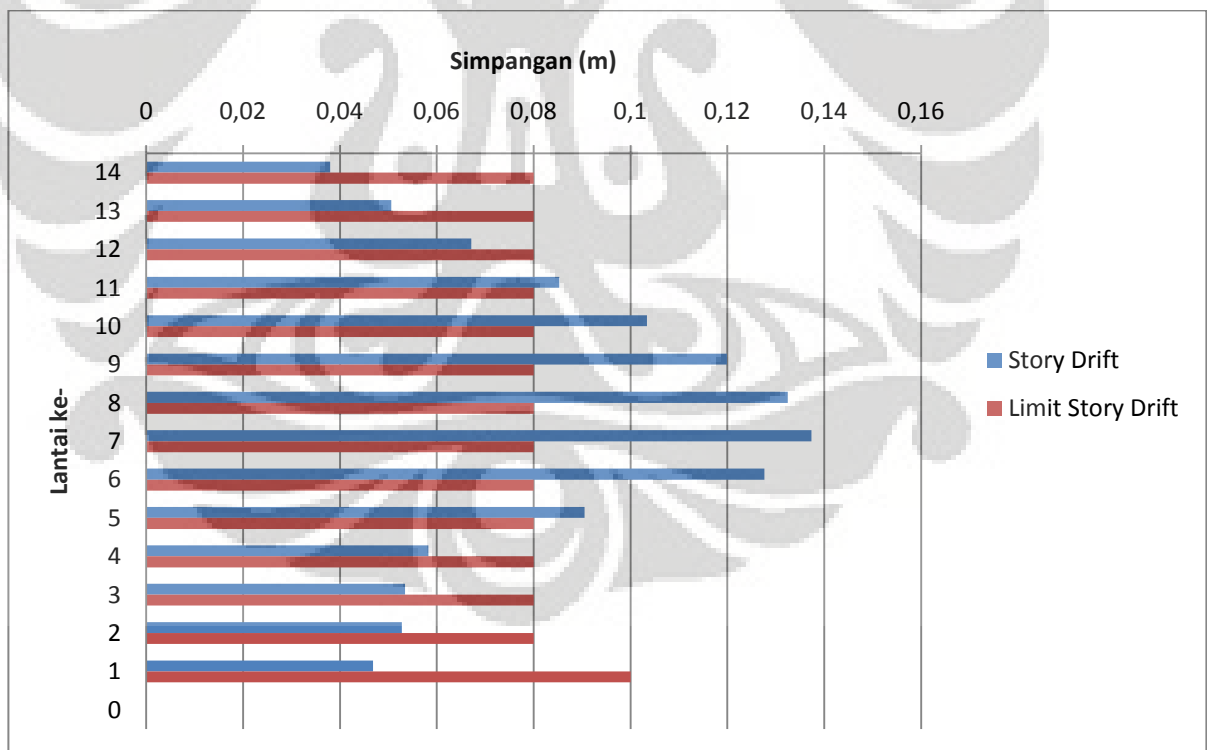


Gambar 4.26. Grafik Displacement Akhir Antar Tingkat

Sementara itu berikut ini adalah tabel dan grafik simpangan lantai pada tiap tingkat : (simpangan yang ditinjau adalah simpangan arah X)

Tabel 4.23. Simpangan pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)

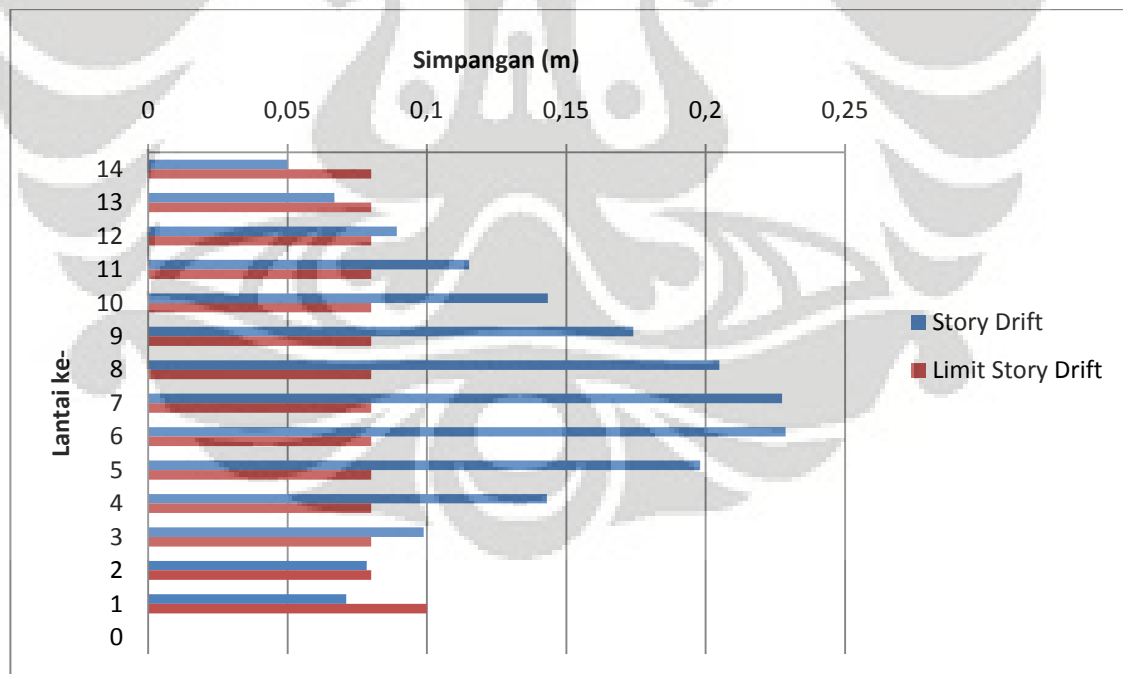
Lantai ke-	Simpangan (m)
14	0,038013
13	0,050627
12	0,067139
11	0,08527
10	0,103394
9	0,119888
8	0,132483
7	0,13736
6	0,127613
5	0,090542
4	0,058276
3	0,053412
2	0,052793
1	0,04681
0	0



Gambar 4.27. Grafik Simpangan pada Saat Pertama Kali Terjadi Sendi Plastis (Kondisi Leleh)

Tabel 4.24. Simpangan Akhir Antar Tingkat

Lantai ke-	Simpangan (m)
14	0,049974
13	0,06674
12	0,089225
11	0,115089
10	0,143354
9	0,174007
8	0,204885
7	0,227353
6	0,228693
5	0,197965
4	0,14303
3	0,098846
2	0,078368
1	0,070983
0	0

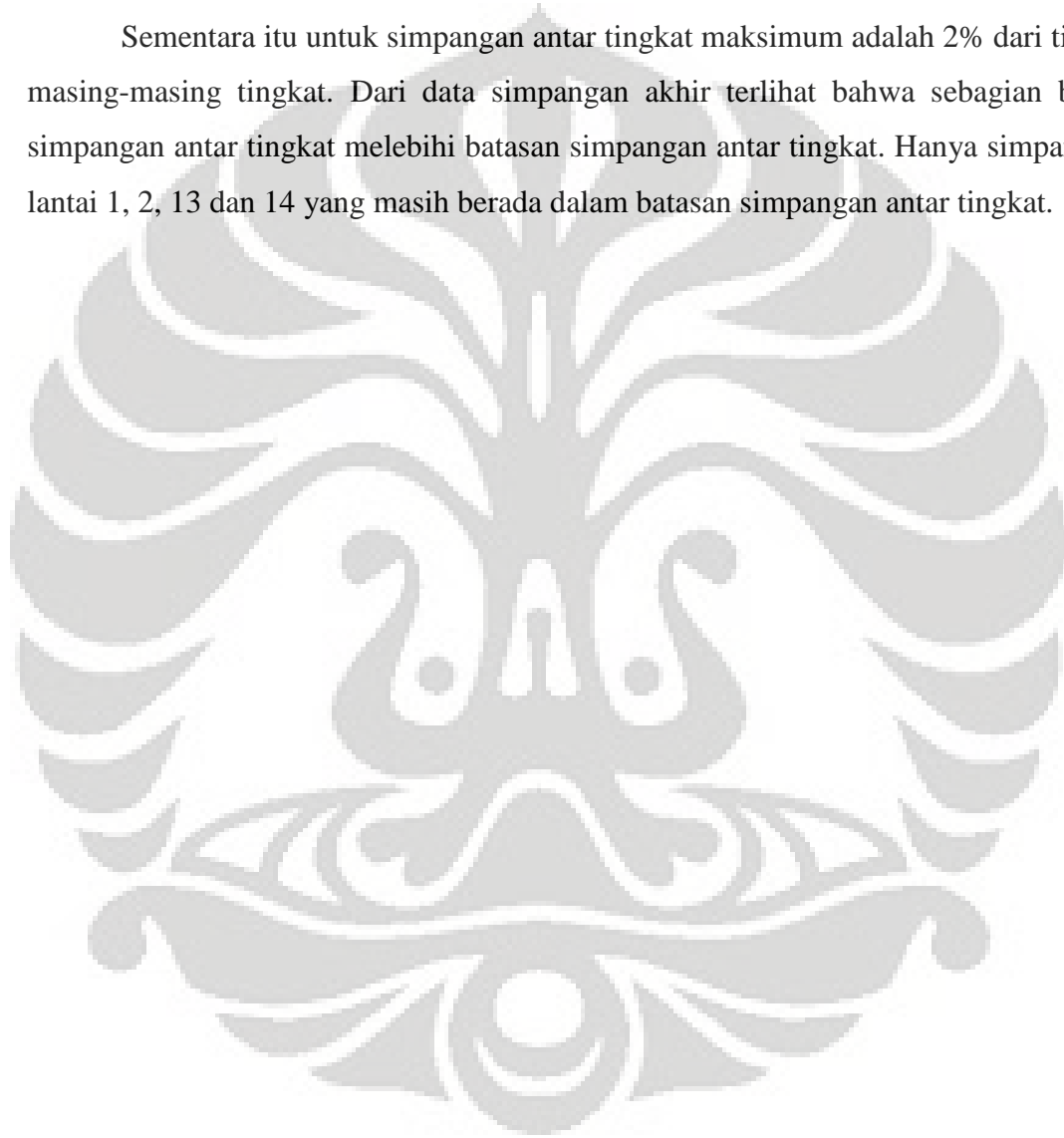


Gambar 4.28. Grafik Simpangan Akhir Antar Tingkat

Dari data-data di atas, rasio simpangan lantai atap dapat didefinisikan sebagai perbedaan displacement akhir lantai teratas (atap) dan lantai dasar yang dibagi dengan tinggi total gedung. Sehingga rasio simpangan lantai atap adalah 0,0331.

Sesuai dengan peraturan, nilai rasio simpangan lantai adalah 0,02, maka nilai rasio simpangan pada struktur rumah sakit sudah melebihi nilai batas.

Sementara itu untuk simpangan antar tingkat maksimum adalah 2% dari tinggi masing-masing tingkat. Dari data simpangan akhir terlihat bahwa sebagian besar simpangan antar tingkat melebihi batasan simpangan antar tingkat. Hanya simpangan lantai 1, 2, 13 dan 14 yang masih berada dalam batasan simpangan antar tingkat.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dengan bantuan program SAP2000 V14, dapat disimpulkan:

1. Secara umum model struktur dengan balok 40x70 cm & 40x40 cm menghasilkan simpangan antar lantai dan *displacement* yang lebih besar dari pada model struktur dengan balok 40x70 cm.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Koefisien Perpindahan FEMA 356 menghasilkan nilai target perpindahan (δ_i) yang menentukan, sementara metode Spektrum Kapasitas (ATC-40) menghasilkan nilai δ_i yang terkecil (konservatif).
3. Dalam hal kekuatan, model struktur dengan balok 40x70 cm memberikan kekuatan yang lebih optimal dibandingkan dengan model struktur dengan balok 40x70 cm & 40x40 cm.
4. Dengan memperkecil ukuran balok pada struktur yang sama, sendi plastis yang terjadi akan lebih banyak dan momen yang dihasilkan akan lebih besar.
5. Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh dari tulisan ini adalah bahwa analisis pushover dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur sehingga sejak awal dapat diprediksi bagaimana bangunan tersebut berperilaku bila ada gempa. Selain itu analisis pushover juga memberikan informasi seberapa besar momen dan simpangan yang terjadi pada struktur sehingga dapat dilakukan optimalisasi atau efisiensi dalam merancang sebuah bangunan.

V.2 Saran

1. Dengan memperkecil ukuran balok, sebaiknya ukuran kolom diperbesar untuk mempertahankan kekakuan struktur, sehingga semakin banyak sendi plastis yang terjadi namun momen dan simpangan antar tingkat yang dihasilkan tidak menjadi besar.
2. Dapat dilakukan studi lanjutan dengan melakukan analisis dinamik riwayat waktu nonlinier untuk melihat ketelitian analisis statik nonlinier ini.



DAFTAR PUSTAKA

1. ASCE, “FEMA 356 - Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings”, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., 2000
2. ASCE 7-05 Minimum Design Loads For Building and Other Structures
3. ATC-33 Project, “FEMA 273 - NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings” , *Building Seismic Safety Council*, Washington, D.C., 1997
4. ATC-33 Project, “FEMA 274 – NEHRP Commentary On The Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings” , *Building Seismic Safety Council*, Washington, D.C., 1997
5. ATC-55 Project, “FEMA 440 - Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures”, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., 2004
6. Farzad Naeim, Hussain Bhatia, and Roy M. Lobo, “Performance Based Seismic Engineering” in *The Seismic Design Handbook, 2nd, Farzad Naeim (ed.)*, 2000
7. Ryan, B., “*EVALUASI KINERJA ECCENTRICALLY BRACED FRAMES SEBAGAI SISTEM PENAHAN GAYA LATERAL DENGAN ANALISIS PUSHOVER*”, Skripsi, Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok, 2009.
8. SNI 03-1726, (2002), *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung, SNI 03-1726*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung, Indonesia.
9. SNI 03-1729, (2002), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1729*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung, Indonesia.