



**ANALISIS MODEL KERUNTUHAN GEDUNG C-DAST II
AKIBAT GAYA GEMPA DENGAN MENGGUNAKAN METODE
STATIK NONLINIER**

SKRIPSI

Oleh :

**Ambar Agustina
121910301128**

JURUSAN S1 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2016



**ANALISIS MODEL KERUNTUHAN GEDUNG C-DAST II
AKIBAT GAYA GEMPA DENGAN MENGGUNAKAN METODE
STATIK NONLINIER**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**Ambar Agustina
121910301128**

**JURUSAN S1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2016

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua Orang Tuaku Bapak Agus Farid dan Ibu Siti Hasanah yang senantiasa memberikan semangat serta doa yang tak pernah putus dan selalu bekerja keras demi mewujudkan keinginan dan membahagiakan anak-anakmu. Terimakasih atas semuanya,
2. Saudaraku tersayang Ika Prihatiningsih, Dyena Yulianti dan Rudi Hartono, terima kasih atas segala hal yang telah dikorbankan dan diberikan kepadaku sehingga aku dapat menyelesaikan skripsiku ini,
3. Keluarga baruku Rena, Hana, Novi, Ayu, Yenita, Febta, Sinta, Risvike, Susan, terimakasih atas segala kebersamaan, kebahagiaan dan bantuan selama berada di kota perantauan ini.
4. Seluruh keluarga besar Teknik Sipil 2012 yang tidak dapat kusebutkan namanya satu- persatu yang telah banyak membantu serta bekerja sama untuk mencapai kesuksesan bersama- sama.
5. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi,
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Hendaknya kita tidak mudah menyerah dalam menghadapi kesulitan karena Allah SWT akan memberikan kemudahan setelahnya.”
(QS. Al Insiroh 94:6-7)

“Sesungguhnya Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”
(QS. Al Baqarah [2] : 286)

“Sesuatu mungkin mendatangi mereka yang mau menunggu, namun hanya didapatkan oleh mereka yang bersemangat mengejarnya.”
(Abraham Lincon)

“Untuk meraih sebuah kesuksesan, karakter seseorang adalah lebih penting daripada intelegensi.”
(Gilgerte Beaux)

“Keberhasilan adalah kemampuan untuk melewati dan mengatasi dari satu kegagalan ke kegagalan berikutnya tanpa kehilangan semangat.”
(Winston Chucill)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ambar Agustina

NIM : 121910301128

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” Analisis Model Keruntuhan Gedung C-Dast II Akibat Gaya Gempa dengan Menggunakan Metode Statik Nonlinier” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juni 2016

Yang menyatakan

Ambar Agustina
NIM 121910301128

SKRIPSI

**ANALISIS MODEL KERUNTUHAN GEDUNG C-DAST II
AKIBAT GAYA GEMPA DENGAN MENGGUNAKAN METODE
STATIK NONLINIER**

Oleh

Ambar Agustina
NIM 121910301128

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dwi Nurtanto, ST.MT
Dosen Pembimbing Anggota : Sri Wahyuni, ST.MT

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Model Keruntuhan Gedung C-Dast II Akibat Gaya Gempa dengan Menggunakan Metode Statik Nonlinier”, telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Tim Penguji

Pembimbing I,

Dwi Nurtanto, ST., MT.
NIP.19731015 199802 1 001

Penguji I,

Ir. Hernu Suyoso, MT.
NIP.19551112 198702 1 001

Pembimbing II,

Sri Wahyuni, ST., MT.
NIP. 19711209 199803 2 001

Penguji I,

Anik Ratnaningsih, ST., MT.
NIP.19700530 199803 2 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember

Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP.19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Model Keruntuhan Gedung C-Dast II Akibat Gaya Gempa dengan Menggunakan Metode Statik Nonlinier; Ambar Agustina, 121910301128; 2016; 68 halaman; Jurusan Teknik Sipil; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Gempa Bumi merupakan bencana yang bisa terjadi karena beberapa sebab, di antaranya disebabkan karena pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan lempengan yang bergerak. Semakin lama tekanan itu kian membesar dan akhirnya tekanan tersebut tidak dapat ditahan lagi oleh pinggiran lempengan. Pada saat itulah gempa bumi akan terjadi. Selain itu beberapa gempa bumi lain juga dapat terjadi karena pergerakan magma di dalam gunung berapi.

Kedatangan gempa tidak dapat diprediksi secara pasti tempat dan waktunya, oleh sebab itu harus dibuat pengantisipasi dengan pembangunan gedung yang tahan gempa agar tidak memakan korban jiwa dalam jumlah banyak. Semua bangunan tinggi yang ada diharuskan memiliki perhitungan gempa, tidak terkecuali di daerah Jember. Tujuan dari analisa ini dilakukan untuk mengetahui jika terjadi gempa yang lebih besar dari perhitungan, apakah bangunan akan tetap bisa bertahan dan bagaimana kinerja bangunan. Untuk meneliti permasalahan tersebut dalam analisis ini akan digunakan metode *pushover* sebagai tolak ukur.

Dari hasil analisis diketahui bahwa gedung C-DAST didesain cukup kuat untuk menahan beban gempa yang ada dan setelah dimasukkan data *pushover* distribusi sendi plastis sesuai dengan sistem kolom kuat balok lemah. Gedung termasuk dalam level kinerja *immediate Occupancy* yakni ada kerusakan pada struktur dimana kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa dan gedung dapat digunakan kembali.

SUMMARY

The Collapse Analysis of C-DAST II Building Due Earthquake Force by Using Nonlinear Static Methods; Ambar Agustina, 121910301128; 2016; 68 pages; Civil Engineering Department; Faculty of Engineering; Jember University.

Earthquakes are disasters that can occur for several reasons, one reason for the release of energy produced by moving the pressure plate. The longer the pressure that the growing and the pressure eventually no longer be restrained by plate periphery. That's when an earthquake will occur. Besides some other earthquakes can also occur due to movement of magma inside the volcano.

The arrival of an earthquake can not be predicted with certainty the place and time, and therefore must be made anticipating the construction of earthquake-resistant buildings that does not take a lot of casualties. All high-rise buildings there must have earthquake resistance, not least in the area of Jember. The purpose of this analysis is to find out if there was an earthquake larger than the calculation, whether the building will survive and how the performance of the building. To investigate these problems in this analysis will be used method pushover.

From the analysis it is known that C-DAST building designed strong enough to withstand earthquake loads there, after data embedded pushover plastic hinge distribution system is strong column weak beam. Buildings included in the Immediate Occupancy performance level that is no damage to the structure in which the strength and stiffness were similar to those before the earthquake and the building can be reused

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Bracing Pada Bangunan Dengan Menggunakan Gaya Gempa Analisa Pushover”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

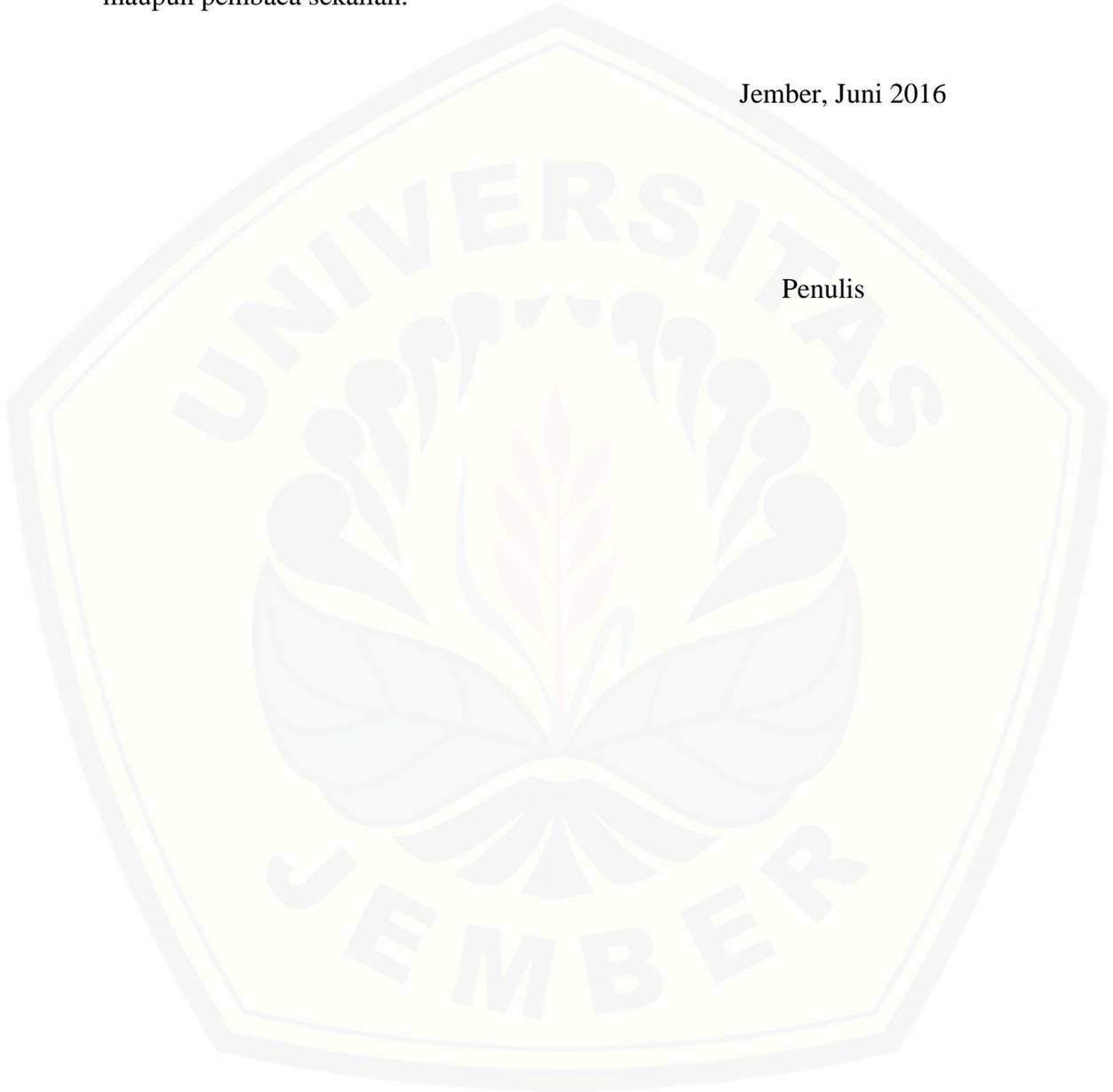
Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,
2. Ir. Hernu Suyoso, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
3. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
4. Dwi Nurtanto ST., MT. dan Sri Wahyuni, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing,
5. Ir. Hernu Suyoso, MT. dan Sri Sukmawati, ST., MT. selaku Dosen Penguji,
6. Kedua orang tua, Bapak Agus Farid dan Ibu Siti Hasanah yang telah mencintai, merawat, dan mendidik dari lahir sampai saat ini,
7. Saudaraku tersayang Ika Prihatiningsih, Dyena Yulianti dan Rudi Hartono yang selalu mendoakan saya hingga bisa menyelesaikan skripsi ini,
8. Keluarga Besar Teknik Sipil 2011 yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu-persatu yang selalu ada di setiap suka duka selama penulis di Jember dengan segala dukungan, semangat dan doanya,
9. Rena, Hana, Novi, Ayu, Yenita, Febta, Sinta, Risvike, Susan yang telah memberikan doa serta dukungannya,
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu,
11. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik.

Segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Jember, Juni 2016

Penulis



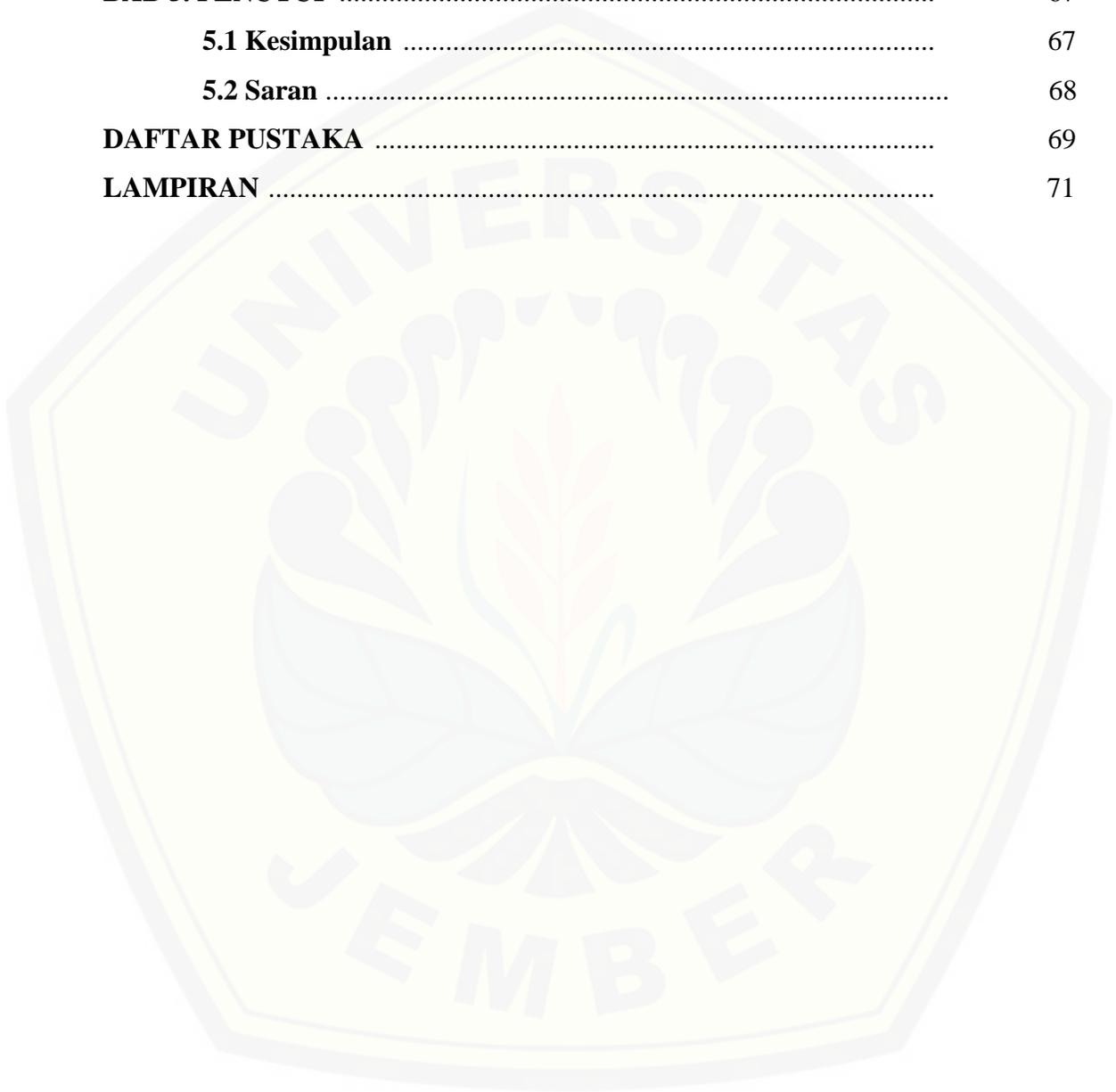
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembebanan	5
2.1.1 Beban mati	5
2.1.2 Beban hidup	6
2.1.3 Beban angin	6
2.1.4 Beban gempa.....	6

2.1.5 Beban khusus	7
2.2 Ketentuan Umum Bangunan Gedung Dalam Pengaruh Gempa	7
2.2.1 Faktor keutamaan dan kategori resiko struktur bangunan	7
2.2.2 kombinasi beban metoda ultimit.....	10
2.3 Prosedur Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik	11
2.3.1 Klasifikasi situs.....	11
2.3.2 Definisi kelas situs	12
2.3.2 Definisi untuk parameter kelas situs.....	14
2.4 Wilayah Gempa dan Spektrum Respon	14
2.4.1 Parameter percepatan gempa	14
2.4.1.1 Parameter percepatan terpetakan.....	14
2.4.1.2 Kelas situs.....	16
2.4.2 Koefisien-koefisien situs.....	16
2.4.3 Parameter percepatan spektral desain	17
2.4.4 Spektrum respons desain	18
2.5 Analisa Statik Ekuivalen	19
2.6 Analisa Respon Struktur	20
2.7 Sendi plastis	21
2.8 Analisa Pushover.....	23
2.8.1 Metode koefisien perpindahan (FEMA 356)	24
2.8.2 Metode spektrum kapasitas (ATC 40).....	25
2.8.3 Metode koefisien perpindahan (FEMA 440)	27
2.8.4 Daktilitas.....	27
2.8.5 Kinerja struktur tahan gempa.....	28
 BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	 32
3.1 Pengumpulan Data	32
3.2 Tahapan Pemodelan	32

3.3 Flowchart Analisis.....	34
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Data Perhitungan	36
4.2 Pembebanan	43
4.2.1 Beban mati	43
4.2.1 Beban hidup	43
4.2.1 Beban berfaktor.....	44
4.3 Pemodelan dan Analisa Struktur dengan Program SAP 2000 V14	44
4.4 Perhitungan Berat Bangunan	45
4.2.1 Perhitungan berat bangunan menggunakan SAP2000..	45
4.4.2 Perhitungan berat bangunan secara manual.....	46
4.4.3 Perbandingan perhitungan	47
4.5 Analisis Beban Gempa Statik Ekuivalen	48
4.5.1 Perhitungan koefisien seismik	48
4.5.2 Perhitungan geser dasar seismik	49
4.5.3 Distribusi gaya gempa	50
4.6 Pemeriksaan Keruntuhan Gedung.....	52
4.6.1 Pemeriksaan kekuatan struktur sebelum memasukkan data pushover	52
4.6.2 Kurva kapasitas	53
4.6.3 Distribusi sendi plastis	54
4.6.4 Evaluasi <i>performance based design</i>	59
4.6.4.1 <i>Performance point</i>	59
4.6.4.1.1 Metode koefisien perpindahan FEMA-356	59
4.6.4.1.2 Metode spektrum kapasitas ATC-40	61
4.6.4.1.3 Metode koefisien perpindahan yang diperbaiki (FEMA 440).....	62

4.6.4.2 Daktilitas	63
4.6.4.3 Evaluasi Kinerja.....	64
BAB 5. PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	71



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	7
2.2 Faktor keutamaan gempa	10
2.3 Klasifikasi Situs	13
2.4 Klasifikasi Situs (lanjutan)	13
2.5 Koefisien situs, F_a	17
2.6 Koefisien situs, F_v	17
2.7 Batas deformasi bangunan gedung	29
2.8 Tingkat Kinerja Struktural	29
2.9 Tingkat Kinerja Banguna Gedung	30
4.1 Elevasi Tiap Lantai	36
4.2 Tipe Kolom	37
4.3 Tipe Balok	40
4.4 Berat Tiap Lantai	46
4.5 Perhitungan Nilai Geser Dasar Seismik	49
4.6 Distribusi Gaya Gempa	50
4.7 Kurva Kapasitas <i>Pushover</i>	53
4.8 Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terbentuknya Sendi Plastis dalam Program SAP2000	59
4.9 Parameter Koefisien Perpindahan FEMA-356	60
4.10 Parameter Spektrum Kapasitas	62
4.11 Parameter Spektrum Kapasitas	63
4.12 Tabel nilai daktilitas	64
4.13 Rangkuman target perpindahan (performance point)	65
4.14 Batas deformasi bangunan gedung	65

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 SS, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget(<i>MCER</i>) ,kelas situs <i>SB</i>	15
2.2 S1, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget(<i>MCER</i>) kelas situs <i>SB</i>	15
2.3 PGA, Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometric (<i>MCEG</i>), kelas situs <i>SB</i>	16
2.4 Spektrum Respons Desain	18
2.5 Respon Struktur.....	21
2.6 Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur Pada SAP2000.....	22
2.7 Posisi Sumbu Lokal Kolom Pada SAP2000	22
2.8 Sendi Plastik Yang Terjadi Pada Balok Kolom	23
2.9 Struktur bangunan yang mendapat beban gempa dan spektrum kapasitas	27
2.10 Spektra Kapasitas	31
2.11 Spektra Kapasitas	31
4.1 Input Data Kolom K1 pada SAP2000.....	38
4.2 Input Data Kolom K2 pada SAP2000.....	38
4.3 Input Data Kolom K3 pada SAP2000.....	39
4.4 Input Data Balok G1 pada SAP2000	41
4.5 Input Data Balok G2 pada SAP2000	41
4.6 Input Data Balok G3 pada SAP2000	42
4.7 Desain 3 Dimensi Gedung C-DAST II	42
4.8 Pemodelan Struktur 3 Dimensi SAP2000.....	45
4.9 Pemeriksaan Kekuatan Struktur	52
4.10 Kurva Kapasitas	53
4.11 Distribusi Sendi Plastis Step ke-0	54

4.12 Distribusi Sendi Plastis Step ke-1	55
4.13 Distribusi Sendi Plastis Step ke-	55
4.14 Distribusi Sendi Plastis Step ke-3	56
4.15 Distribusi Sendi Plastis Step ke-4	56
4.16 Distribusi Sendi Plastis Step ke-5	57
4.17 Distribusi Sendi Plastis Step ke-6	57
4.18 Distribusi Sendi Plastis Step ke-7	58
4.19 Kurva koefisien perpindahan FEMA-356.....	60
4.20 Kurva Spektrum Kapasitas-ATC 40	61
4.21 Kurva koefisien perpindahan yang diperbaiki (FEMA 440).....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gempa Bumi merupakan bencana yang bisa terjadi karena beberapa sebab, di antaranya disebabkan karena pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan lempengan yang bergerak. Semakin lama tekanan itu kian membesar dan akhirnya mencapai pada keadaan dimana tekanan tersebut tidak dapat ditahan lagi oleh pinggiran lempengan. Pada saat itulah gempa bumi akan terjadi. Selain itu beberapa gempa bumi lain juga dapat terjadi karena pergerakan magma di dalam gunung berapi. Gempa bumi seperti itu dapat menjadi gejala akan terjadinya letusan gunung berapi (Faizah, 2013).

Beberapa tahun ini, Indonesia sering dikejutkan dengan berbagai macam bencana alam, terutama gempa. Hal ini terjadi karena Indonesia berada di kawasan *Pasific Ring Of Fire* yang merupakan jalur rangkaian gunung berapi aktif di dunia (Lailasari, 2012). Kedatangan gempa tidak dapat diprediksi secara pasti tempat dan waktunya, oleh sebab itu harus dibuat pengantisipasi dengan pembangunan gedung yang tahan gempa agar tidak memakan korban jiwa dalam jumlah banyak. Semua bangunan tinggi yang ada diharuskan memiliki perhitungan gempa, tidak terkecuali di daerah Jember. Meskipun Kota Jember berada di lokasi yang memiliki tingkat terjadinya gempa tidak terlalu tinggi, bangunan tinggi yang berada di daerah Jember tetap harus memiliki ketahanan gempa yang sesuai dengan lokasi.

Dalam analisa ini akan dibahas tentang proyek pembangunan C-DAST II yang saat ini masih dalam tahap pengerjaan. Gedung ini merupakan gedung laboratorium dan ruang kelas bersama bagi mahasiswa Universitas Jember. Pembangunan gedung ini ditujukan untuk penambahan fasilitas bagi mahasiswa Universitas Jember. Gedung ini layak untuk dilakukan analisis karena memiliki jumlah lantai sebanyak 8 lantai yang menjadikan harus memiliki ketahanan terhadap gempa. Gedung ini juga merupakan

gedung tertinggi yang dibangun oleh Universitas Jember. Gedung C-DAST II berada di daerah lingkungan Universitas Jember, tepatnya berada di Jl. Kalimantan. Bangunan C-DAST II memiliki struktur beraturan, menurut SNI-1726-2002 bangunan yang memiliki struktur beraturan menggunakan metode statik ekuivalen dalam menganalisis terhadap beban gempa, sedangkan bangunan yang memiliki struktur tidak beraturan harus menggunakan metode statik ekuivalen kemudian dilanjutkan dengan metode analisis respon dinamik dalam analisis terhadap beban gempa. Akan tetapi kegunaannya metode statik ekuivalen masih terbatas untuk mengetahui terbentuknya sendi plastis pertama. Analisa ini tidak mampu memperhitungkan cadangan kekuatan yang ada pada struktur mulai dari terbentuknya sendi plastis pertama hingga keruntuhan yang sebenarnya. Sehingga evaluasi yang dapat memperkirakan kondisi inelastis bangunan pada saat gempa terjadi diperlukan untuk mendapatkan jaminan bahwa kinerja gedung saat gempa (Nurdianti, 2013).

Oleh karena itu perlu dilakukan analisa pushover sebagai analisa lanjutan untuk mengetahui terbentuknya sendi plastis pertama dan memperhitungkan kekuatan yang ada pada struktur mulai dari terbentuknya sendi plastis pertama hingga keruntuhan yang sebenarnya. Analisa *pushover* (ATC 40, 1996) merupakan salah satu komponen *performance based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisa non-linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa), dengan memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu.

Perencanaan pembangunan C-DAST II sendiri sudah direncanakan dengan struktur bangunan yang tahan gempa namun kondisi alam yang sulit diprediksi seperti ini dapat menimbulkan bahaya. Hal ini terbukti dengan semakin meningkatnya aktifitas tektonik di Indonesia. Dari uraian diatas dapat ditarik permasalahan yang perlu diteliti dan ditinjau adalah jika terjadi gempa yang lebih besar dari perhitungan bangunan tahan gempa yang telah digunakan, apakah bangunan akan tetap bisa bertahan

menopang beban yang ada dan bagaimana kinerja bangunan setelah adanya penambahan gaya gempa. Untuk meneliti permasalahan tersebut dalam analisis ini akan digunakan metode *pushover* sebagai tolak ukur mengetahui kinerja bangunan, gaya geser dasar maksimal, *displacement*, dan nilai daktilitas struktur.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang dibahas dapatlah ditarik masalah yang akan dibahas :

1. Bagaimanan model keruntuhan yang terjadi pada bangunan C-DAST II akibat adanya penambahan beban gempa?
2. Berapa nilai *base shear* maksimal yang bisa ditahan oleh bangunan C-DAST II?
3. Berapa nilai *displacement* maksimal yang bisa ditahan oleh bangunan C-DAST II?
4. Berapa nilai daktilitas yang yang bisa ditahan oleh bangunan C-DAST II?
5. Bagaimana kinerja struktur setelah dilakukan analisa *pushover*?

1.3. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini:

1. Untuk mengetahui model keruntuhan gedung C-DAST II akibat penambahan beban gempa.
2. Untuk mengetahui nilai *base shear* maksimal yang bisa ditahan oleh bangunan C-DAST II.
3. Untuk mengetahui nilai *displacement* yang bisa ditahan oleh bangunan C-DAST II.
4. Untuk mengetahui nilai daktilitas yang yang bisa ditahan oleh bangunan C-DAST II.
5. Untuk mengetahui kinerja struktur setelah dilakukan analisa *pushover*.

1.4. Batasan Masalah

Skripsi ini hanya membahas tentang model keruntuhan gedung C-DAST II akibat adanya penambahan gaya gempa dengan menggunakan metode statik nonlinier dan tidak mencakup perhitungan tangga.

1.5. Manfaat

Bagi Peneliti

Dapat menambah wawasan bagi peneliti dalam menganalisis dan mengevaluasi kinerja struktur gedung akibat adanya penambahan beban statik monotonik yang dan ditingkatkan sampai mencapai simpangan target.

Bagi Masyarakat

Menambah wawasan bagi para perencanan kontruksi dalam mengetahui kinerja struktur gedung setelah penambahan beban dengan metode *pushover*.

Bagi Masyarakat Akademik

Menambah referensi dalam analisis keruntuhan bangunan dengan metode *pushover*, dan untuk mengetahui tingkat kinerja bangunan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembebanan

Struktur gedung bangunan tinggi haruslah kuat menahan semua beban yang bekerja padanya. Maka dari itu, kita harus mengetahui macam-macam beban yang bekerja pada struktur gedung. Berdasarkan arah kerja beban, maka beban dapat dikelompokkan menjadi beban gravitasi (beban vertikal) dan beban lateral (beban horizontal). Terdapat lima macam beban menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1993.

2.1.1. Beban Mati

Dalam mendesain berat beban mati ini harus diperhitungkan untuk digunakan dalam analisa. Dimensi dan berat elemen struktur tidak diketahui sebelum analisa struktur selesai dilakukan. Berat yang ditentukan dari analisa struktur harus dibandingkan dengan berat perkiraan semula. Jika perbedaannya besar, perlu dilakukan analisa ulang dengan menggunakan perkiraan berat yang lebih baik (Fauzan, 2013).

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin, serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut (PPIUG, 1983).

Beban mati yang bekerja pada struktur bangunan adalah berat sendiri bangunan dan reduksi beban mati. Beban sendiri bangunan adalah berat yang berasal dari bahan-bahan bangunan dan beberapa komponen bangunan yang harus ditinjau sedangkan yang dimaksud reduksi beban mati adalah beban mati yang dikalikan koefisien reduksi 0,9 dengan ketentuan apabila beban mati memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap pengarahannya kekuatan suatu struktur atau unsur struktur suatu gedung (SNI-1726-2002).

2.1.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada bagian atap, beban yang masuk ke dalam beban hidup adalah beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (SNI -1726-2002).

2.1.3. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Penentuan beban angin ditentukan dengan memisalkan adanya tekanan positif dan tekanan negatif yang bekerja tegak lurus pada bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif diperoleh dengan mengalikan tekanan tiup dengan koefisien angin. Besarnya tekanan dinyatakan dalam satuan kg/m^2 (SNI -1726-2002).

2.1.4. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang dimaksud dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya yang dalam struktur tersebut yang terjadi akibat gerakan tanah akibat gempa itu (SNI -1726-2002).

Gaya gempa mempunyai pengaruh yang cukup besar untuk menentukan faktor aman sebuah struktur. Terlebih untuk bangunan yang dibangun pada daerah rawan

gempa seperti di Indonesia. Kekuatan dari pergerakan tanah akibat gempa bumi disebut sebagai intensitas gempa (Ujiyanto, 2015).

2.1.5. Beban Khusus

Beban khusus adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya (SNI -1726-2002).

2.2. Ketentuan Umum Bangunan Gedung Dalam Pengaruh Gempa

2.2.1. Faktor Keutamaan Dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana harus dikali dengan I_e (faktor keutamaan). Khusus untuk bangunan yang memiliki tingkat kategori resiko IV, bila memerlukan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV juga (Affandi, 2010).

Tabel 2.1- Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasiantara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara	I

<ul style="list-style-type: none"> - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar</p>	III

<p>dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat 	IV

<p>Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</p> <p>Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.</p> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
--	--

(Sumber: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa SNI-1726-2012)

Tabel 2.2- Faktor keutamaan gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gema (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa SNI -1726-2012)

2.2.2. Kombinasi Beban Metoda Ultimit

Komponen elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6L (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + L$
6. $0,9D + 1,0W$

7. $0,9D + 1,0E$

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3, 4, dan 5 boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m^2 .

Bila beban air F bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan dengan nilai faktor beban yang sama dengan faktor beban untuk beban mati D pada kombinasi 1 hingga 5 dan 7.

Bila beban tanah H bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan sebagai berikut:

1. Bila adanya beban H memperkuat pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 1,6;
2. Bila adanya beban H memberi perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 0,9 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya).

Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, namun kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan (SNI -1726-2012).

2.3. **Prosedur Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik**

2.3.1. **Klasifikasi Situs**

Klasifikasi suatu situs dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.3 dan 2.4, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi getekniknya. Penetapan kelas situs *SA* dan kelas situs *SB* tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar (SNI -1726-2012).

2.3.2. Definisi Kelas Situs

Perambatan gelombang Percepatan Puncak Efektif Batuan Dasar (PPEBD) melalui lapisan tanah di bawah bangunan diketahui dapat memperbesar gempa rencana di muka tanah tergantung pada jenis lapisan tanah. Pengaruh gempa rencana di muka tanah harus ditentukan dari hasil analisis perambatan gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar ke muka tanah dengan menggunakan gerakan gempa masukan dengan percepatan puncak untuk batuan dasar (Afandi, 2010).

Kelas situs ditetapkan sebagai batuan keras, batuan, tanah keras, tanah sedang apabila untuk lapisan setebal maksimum 30 m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam tabel Tabel 2.3 dan pasal-pasal berikut.

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

(Sumber: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa SNI -1726-2012)

Tabel 2.4. Klasifikasi Situs (Lanjutan)

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

(Sumber: Standar Perencanaan Ketahanan Gempa SNI -1726-2012)

2.3.3. Definisi Untuk Parameter Kelas Situs

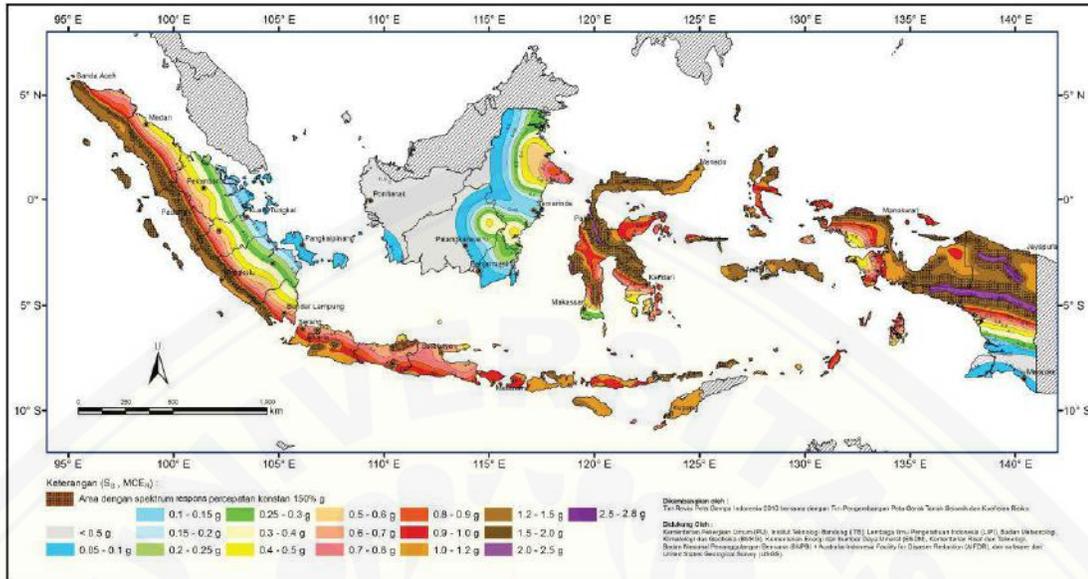
Beberapa definisi dalam pasal ini berlaku untuk profil tanah kedalaman 30 m paling atas dari suatu situs. Profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan/atau batuan yang nyata berbeda, harus dibagi menjadi lapisan-lapisan yang diberi nomor ke-1 sampai ke- n dari atas ke bawah, sehingga ada total n -lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m paling atas tersebut. Bila sebagian dari lapisan n adalah kohesif dan yang lainnya nonkohesif, maka k adalah jumlah lapisan kohesif dan m adalah jumlah lapisan non-kohesif. Simbol i mengacu kepada lapisan antara 1 dan n (SNI -1726-2012).

2.4. Wilayah Gempa Dan Spektrum Respons

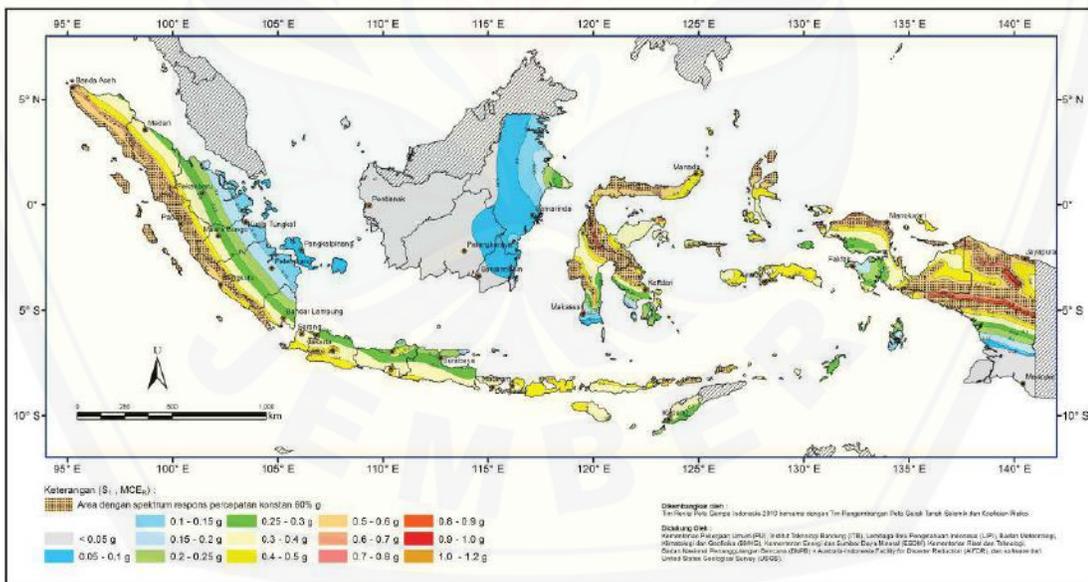
2.4.1. Parameter Percepatan Gempa

2.4.1.1. Parameter Percepatan Terpetakan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04g$ dan $S_s \leq 0,15 g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam 6.6.



Gambar 2.1 - SS, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget(MCER), kelas situs *SB*



Gambar 2.2 - S1, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget(MCER), kelas situs *SB*

pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa *MCE_R* terpetakan untuk perioda pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa *MCE_R* terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Tabel 2.5 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (<i>MCE_R</i>) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Tabel 2.6 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa <i>MCE_R</i> terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

2.4.3. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \dots\dots\dots(4)$$

2.4.4. Spektrum respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS}(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots\dots\dots(5)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk perioda lebih besar dari T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

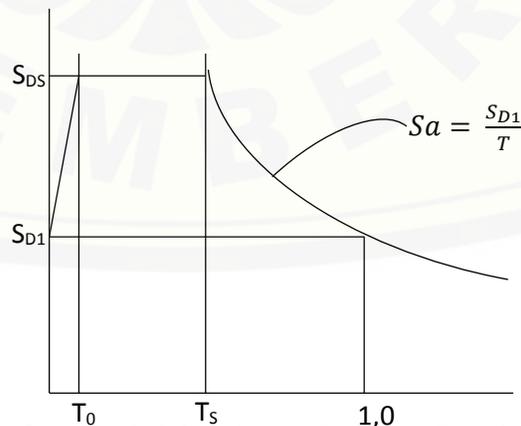
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik;

T = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(7)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(8)$$



Gambar 2.4-Spektrum Respons Desain

2.5. Analisis Statik Ekuivalen

Analisis statik ekuivalen merupakan salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekuivalen. Menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI – 1726 – 2002), analisis statik ekuivalen cukup dapat dilakukan pada gedung yang memiliki struktur beraturan. Apabila gedung memiliki struktur yang tidak beraturan maka selain dilakukan analisis statik ekuivalen juga diperlukan analisis lebih lanjut, yaitu analisis respon dinamik.

Perhitungan respon dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa, dapat menggunakan metode analisis ragam spektrum respons atau metode analisis respons dinamik riwayat waktu. Pada pasal 7.1.3 dari SNI – 1726 – 2002, bila nilai akhir respon dinamik tersebut dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal, maka nilainya tidak boleh kurang dari 80% gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisis statik ekuivalen. Karena analisis statik ekuivalen dipandang merupakan langkah awal dalam perencanaan gedung tahan gempa, maka penggunaan software SAP2000 diharapkan dapat ‘membantu’ melakukan analisis statik ekuivalen, terutama dalam mendapatkan nilai angka massa dan waktu getar alami dari model struktur gedung yang ditinjau.

Gaya geser dasar seismik yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan:

$$V = C_s \cdot W \quad \dots\dots\dots(9)$$

C_s = Koefisien respon seismik

W_t = berat seismik efektif

Untuk mendapatkan nilai C_s , maka dibutuhkan nilai SDS, R dan juga nilai I_e , setelah mendapatkan nilai-nilai tersebut dapat dicari nilai C_s dengan menggunakan rumus

$$C_S = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad \dots\dots\dots(10)$$

Beban geser dasar nominal V tersebut harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_x pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan :

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \quad \dots\dots\dots(12)$$

C_{vx} = faktor distribusi vertical

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur dinyatakan dalam kN

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dinyatakan dalam meter (m)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang,

$k=1$

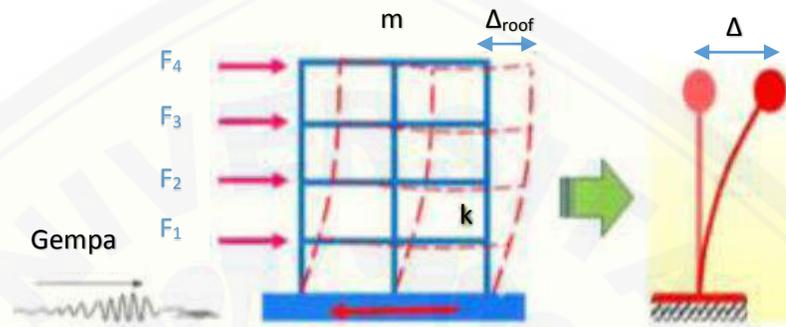
untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k=2$

untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.6. Analisis Respon Struktur

Struktur gedung saat menerima beban gempa, maka akan memikul *base shear*. *Base shear* tiap lantai merupakan fungsi dari massa (m) dan kekakuan (k) dari tiap lantai tersebut. *Base shear* mengakibatkan tiap lantai bergeser / *displacement* dari kedudukan semula. Apabila sifat geometri struktur simetris maka simpangan yang terjadi hanya pada satu bidang (2-dimensi) yaitu simpangan suatu massa pada setiap saat hanya mempunyai posisi / ordinat tunggal sehingga dapat dianggap sebagai satu kesatuan *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan parameter *displacement* yang diukur adalah pada atap. Saat gaya gempa bekerja, maka gedung akan merespon beban

gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya dalam tersebut melebihi kemampuan / kapasitas gedung, maka gedung akan berperilaku inelastis apabila sifat struktur cukup duktail tetapi langsung hancur apabila kurang duktail (Afandi, 2010).



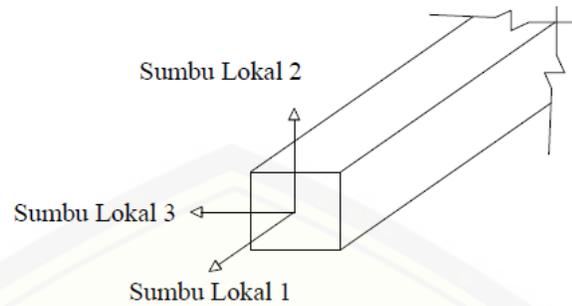
Gambar 2.5 Respon Struktur

2.7. Sendi Plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada balok pada gedung tersebut (Gambar 2.8). Sendi plastis merupakan bentuk ketidak mampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain *kolom kuat balok lemah*. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur (Afandi, 2010).

1. *Hinge* propertis balok

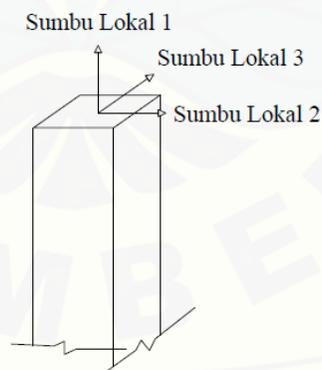
Data hinge properties dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur Pada SAP2000

2. Hinge Propertis Kolom

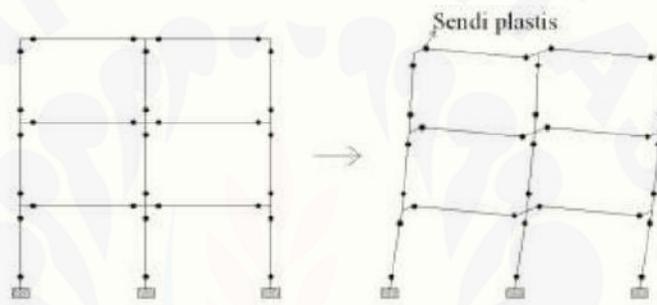
Data hinge properties untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial (P) dan momen (M). Sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam studi ini setiap kolom pada bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Posisi Sumbu Lokal Kolom Pada SAP2000

3. Penentuan letak sendi plastis

Setelah pendefinisian data hinge propertis balok dan kolom adalah penentuan latak terjadinya sendi plastis yang diinginkan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Kedua ini terletak dimuka kolom. Sama halnya dengan kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi ini terletak pada tepi muka balok.



Gambar 2.8 Sendi Plastik Yang Terjadi Pada Balok Kolom

2.8. Analisis Pushover

Dalam analisis respon struktur digunakan metode *pushover*. *Pushover* adalah suatu cara untuk menganalisis struktur dengan beban statik monotonik yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai simpangan pada puncak atas struktur mencapai simpangan target. Dalam proses *pushover*, satu sendi plastis akan mencapai kondisi leleh pertama yang kemudian diikuti dengan kondisi leleh pada sendi-sendi plastis lainnya. Hal ini terus berlanjut sampai akhirnya, simpangan pada puncak struktur mencapai simpangan target atau struktur memasuki kondisi tidak stabil (Yehezkiel, 2014).

Proses *pushover* bisa dilakukan dengan prosedur *load-controlled* atau *displacement-controlled* (Ogus, 2005). Prosedur *load-controlled* digunakan jika beban yang diaplikasikan telah diketahui nilainya. Misalnya, beban gravitasi bisa

diaplikasikan dalam *pushover load-controlled*. Prosedur *displacement controlled* biasanya digunakan jika beban yang bisa ditahan oleh suatu struktur belum diketahui dengan pasti. Sehingga, beban tersebut ditingkatkan sampai struktur mencapai suatu nilai simpangan target.

Pada perencanaan gedung mekanisme keruntuhan dapat diklasifikasi menjadi dua design yaitu *beam sidesway mechanism* dan *column sidesway mechanism*. *Beam sidesway mechanism* yaitu pembentukan sendi plastis direncanakan akan terjadi pertama kali pada ujung-ujung balok terlebih dahulu baru setelah mencapai puncak akan diikuti oleh sendi plastis pada kolom yang didesign terjadi terakhir. Konsep ini biasa disebut sebagai perencanaan daktail parsial dan daktail penuh dalam konsep perencanaan gedung beton. Sedangkan *column sidesway mechanism* adalah pembentukan sendi plastis pertama kali terjadi direncanakan pada ujung-ujung kolom dasar, pada konsep disebut sebagai perencanaan elastik penuh. Dalam setiap perencanaannya mekanisme keruntuhan struktur yang diharapkan adalah *beam sidesway mechanism*, karena ketika gaya gempa maksimum terlampaui bangunan masih dapat berdiri walaupun ada beberapa properties balok mengalami keruntuhan.

2.8.1. Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) merupakan metode yang terdapat dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t),

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 \cdot g \quad \dots\dots(13)$$

dimana:

δ_t = target perpindahan

T_e = waktu getar alami efektif

C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spectral menjadi

perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan respons elastik linier. Nilai $C_1 = 1,0$ untuk $T_e \geq T_s$ dan

$$C_1 = \frac{[1+(R-1)\frac{T_s}{T_e}]}{R} \text{ untuk } T_e < T_s$$

C2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.

C3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek Pdelta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh negatif,

$$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif.

R = rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.

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

Sa = akselerasi respon spektrum yang bekesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arak yang ditinjau.

Vy = gaya geser dasar pada saat leleh.

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

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

g = percepatan gravitasi 9,81 m/det².

2.8.2. Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40)

Metode Spektrum Kapasitas atau *Capacity Spectrum Method* (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Dalam analisis statik *pushover* nonlinier ini didapatkan kurva kapasitas kemudian diolah lebih lanjut dengan metode Spektrum Kapasitas (ATC-40). Metode ini telah *build-in* dalam program SAP 2000 yang akan digunakan. Hasil analisis statis *pushover* nonlinier adalah kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*). Hubungan tersebut dinamakan kurva kapasitas struktur. Metode ini sederhana namun informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan respon *inelastic* bangunan. Kurva Kapasitas hasil *pushover* diubah menjadi kapasitas spektrum seperti pada gambar 3 melalui persamaan:

$$S_a = \frac{V}{\alpha_1 w} \quad \dots\dots(14)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad \dots\dots(15)$$

$$PF = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g}} \right] \quad \dots\dots(16)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad \dots\dots(17)$$

dimana:

S_a = *Spectral acceleration*

S_d = *Spectral displacement*

PF_1 = *modal participation* untuk modal pertama

α_1 = *modal mass coefficient* untuk modal pertama

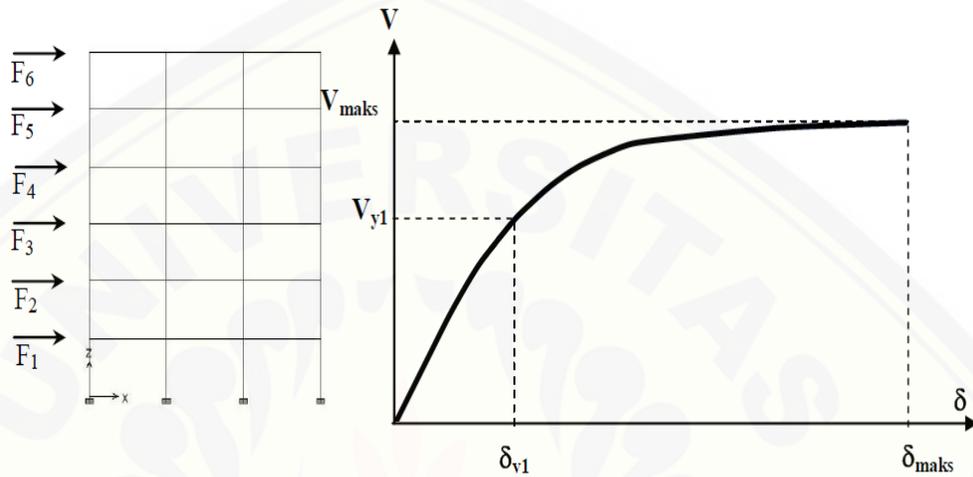
ϕ_{i1} = *amplitude of first* untuk level i

V = gaya geser dasar

W = berat mati bangunan ditambah beban atap

Δ_{roof} = roof displacement

w_i/g = massa pada level i



Gambar 2.9 Struktur bangunan yang mendapat beban gempa dan spektrum kapasitas

Keterangan :

V_{y1} = Simpangan maksimum struktur saat terjadinya sendi plastis pertama

V_{maks} = Simpangan maksimum struktur saat terjadinya sendi plastis terakhir

δ_{v1} = Gaya geser saat leleh pertama

δ_{v1} = Gaya geser saat leleh terakhir

2.8.3. Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 440)

Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) merupakan metode yang terdapat dalam FEMA untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t),

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 \cdot g \quad \dots\dots\dots(18)$$

2.8.4. Daktilitas

Nilai target peralihan (δ_t) digunakan sebagai parameter peralihan ultimit (δ_u) dalam perhitungan parameter daktilitas peralihan actual struktur. Titik leleh pertama (δ_y) ditentukan dengan menggunakan metode luas area ekivalen atau kurva idealisasi (bilinier) yang sama dengan kurva kapasitas. Nilai daktilitas (μ_Δ) diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$\mu_\Delta = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

μ_Δ = daktilitas struktur

δ_y = peralihan pada saat leleh pertama

δ_u = peralihan pada kondisi ultimit atau target peralihan

Tingkat keenerja struktur berhubungan dengan target peralihan yang diharapkan pada tahap pra-desain (ATC, 1996; 2000;2004), sehingga dalam hal ini peralihan pada kondisi target peralihan (δ_t) diasumsikan sebagai peralihan ultimit (δ_u) dalam menentukan parameter daktilitas.

2.8.5. Kinerja Struktur Tahan Gempa

Kinerja struktur diperoleh dengan analisis nonlinier *pushover*. Tingkat kinerja struktur yang diatur dalam ATC-40 adalah seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7. Uraian tentang Tingkat Kinerja Bangunan Gedung berdasarkan FEMA 273 diperlihatkan pada Tabel 2.8. Spektra kapasitas menurut ATC-40 dan FEMA 273 adalah berturut-turut seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11.

Tabel 2.7 Batas deformasi bangunan gedung

Tingkat Kinerja				
Interstory Drift Limite (Batas simpangan antar lantai)	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
DSAAMaximum total drift (simpangan total maks)	0.01	0.01 - 0.02	0.02	0.33 Vi/Pi
Maximum inelastic drift (simpangan nonelastik maks)	0.005	0.005 - 0.015	No Limit	No Limit

(sumber : ATC-40, 1996)

Tabel 2.8 Tingkat Kinerja Struktural

No	Tingkat Kinerja	Uraian
1	SP-1	Immediate Occupancy (Penggunaan Sedang)
2	SP-2	Damage Control (Kontrol Kerusakan)
3	SP-3	Life Safety (Aman Untuk Dihuni)
4	SP-4	Limited Safety (Keamanan Terbatas)
5	SP-5	Structural Stability (Stabilitas Struktural)
6	SP-6	Not Considered (Tidak Diperhitungkan)

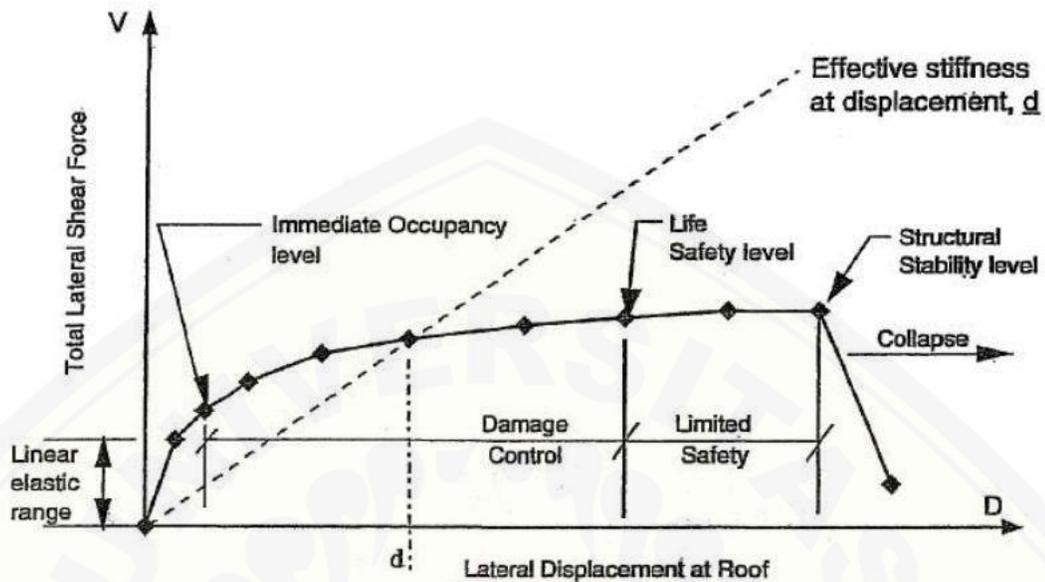
(sumber : ATC-40, 1996)

Tabel 2.9 Tingkat Kinerja Banguna Gedung

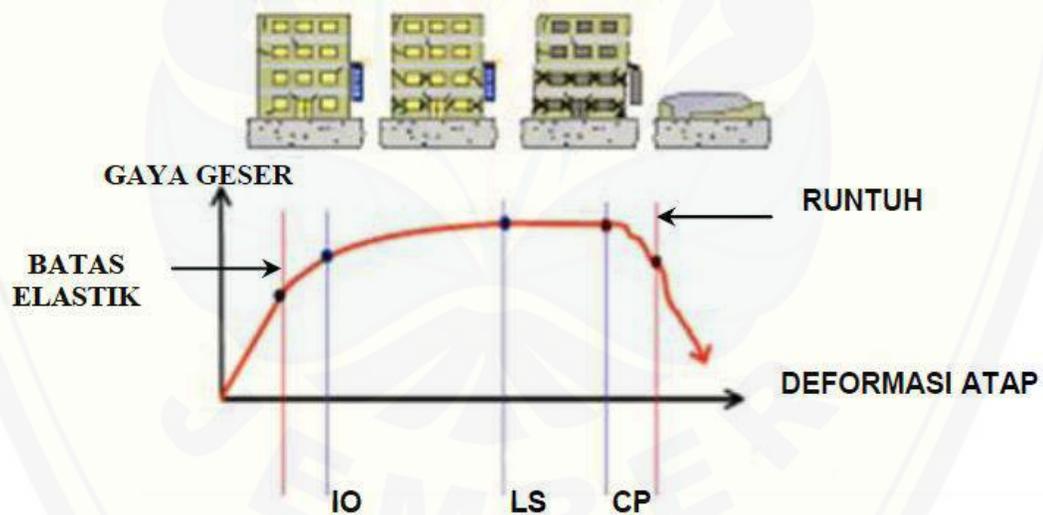
No	Tingkat Kinerja	Uraian
1	Operational Level (Tingkat Operasional)	Peralatan utilitas masih berfungsi, terdapat sedikit kerusakan
2	Immediate Occupancy Level (Tingkat Penggunaan Sedang)	Bangunan menerima 'tanda hijau" (aman untuk digunakan) dari hasil pemeriksaan, perlu sedikit perbaikan
3	Live Safety Level (Tingkat Aman Untuk Dihuni)	Struktur tetap stabil dan mempunyai kapasitas pelayanan yang cukup, kerusakan non struktural masih terkontrol
4	Colapse Prevention Level (Tingkat Pencegahan Keruntuhan)	bangunan tetap berdiri hampir runtuh , kerusakan atau kehilangan lain masih diperkenankan

(sumber : FEMA 273, 1997)

Dengan melihat tabel-tabel diatas kita dapat mengaktegorikan tingkat kerja suatu bangunan



Gambar 2.10. Spektra Kapasitas (sumber : ATC-40, 1996)



Gambar 2.11. Spektra Kapasitas (sumber : FEMA 273, 1997)

Nilai perpindahan maksimum dan gaya geser yang terjadi sebelum runtuh disebut sebagai titik kinerja (*performance point*). Penentuan titik kinerja dapat diperoleh dengan metoda yang dipaparkan dalam ATC-40, FEMA 356, FEMA 440, dan SNI 03-1726-2002.

BAB III METODOLOGI

3.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah hal penting yang harus dilakukan agar analisis ini dapat berjalan. Semua data yang diperlukan dalam analisis ini diperoleh dari kontraktor yang mengerjakan proyek Jember Icon ini yaitu PT Bangun Karya Semesta. Adapun data yang diperoleh untuk melaksanakan analisis ini antara lain:

- a. Gambar denah struktur gedung dengan bentuk (model) yang sudah ditetapkan.
- b. Ukuran dimensi dari setiap struktur utama portal bangunan, yaitu balok kolom pelat lantai.
- c. Kuat tekan beton yang digunakan dalam pembangunan (f_c')
- d. Kuat leleh tulangan yang dipergunakan (f_y)

3.2. Tahapan Pemodelan

Tahapan pemodelan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan data yang dipergunakan dalam melakukan pemodelan struktur 3 dimensi.
- b. Melakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan menggunakan dimensi yang sudah ada.
- c. Merencanakan pembebanan dan kombinasi pembebanan yang digunakan
- d. Menghitung beban gempa :

Perhitungan analisis gempa menggunakan analisis statik ekuivalen meliputi :

1. Perhitungan Beban Total Gedung, terdiri atas beban mati dan beban hidup.
2. Menentukan nilai S_s dan S_1 dari peta yang ada di SNI-1726-2012
3. Menentukan koefisien situs (F_a, F_v)
4. Menentukan spektral respons kecepatan (S_{ns}, S_{n1})
5. Membuat respon spektrum (C)
6. Perhitungan Gaya Geser Dasar (V)

$$V = C_s \cdot W$$

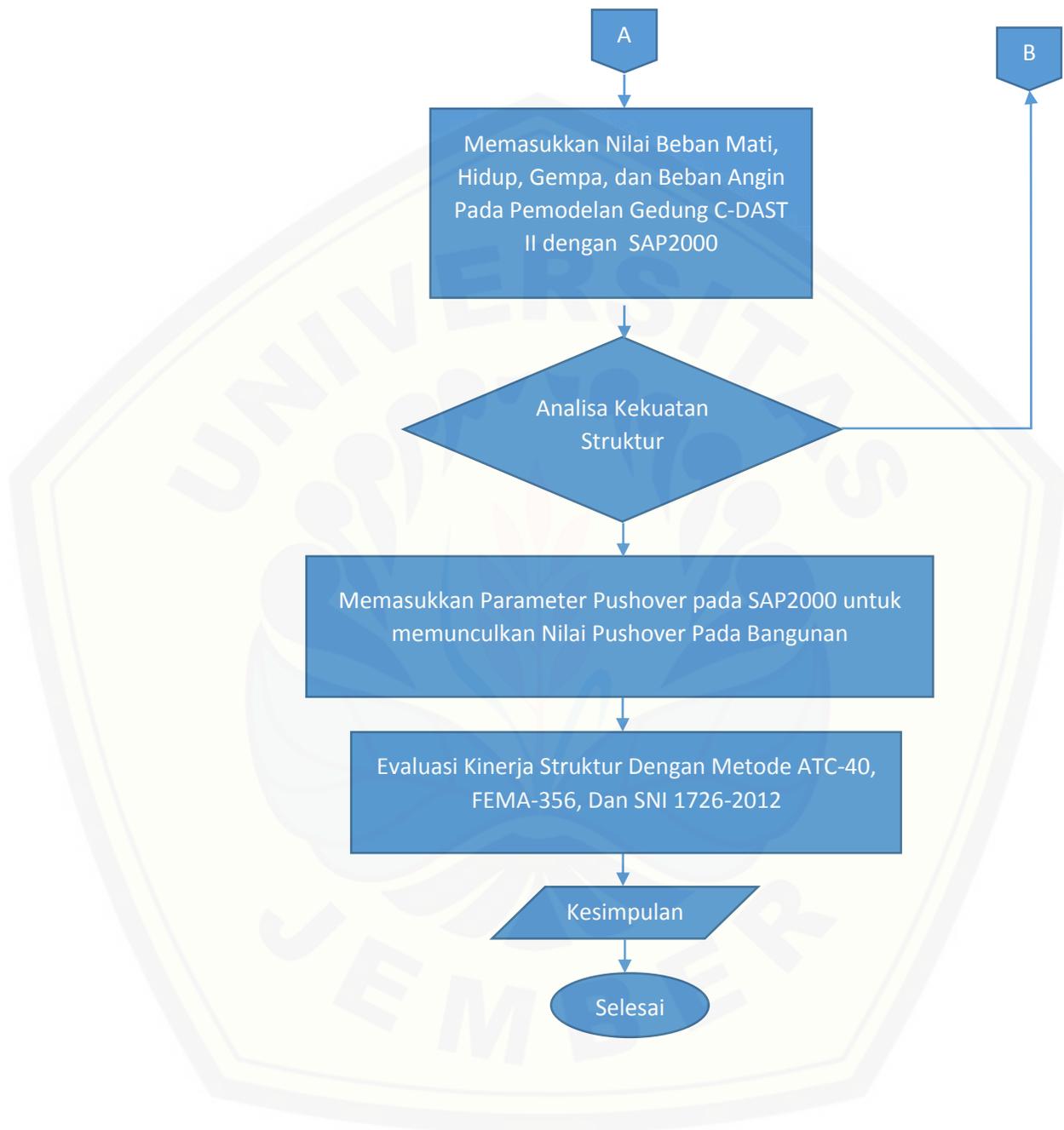
7. Distribusi beban gempa nominal statik ekuivalen (F_x)

$$F_x = C_{vx} \cdot V$$

- e. Melakukan analisa kekuatan struktur sebelum memasukkan parameter *pushover*.
- f. Melakukan analisis struktur (beban gempa diperbesar hingga terjadi kondisi leleh pada struktur penahan beban lateral).
- g. Melakukan kontrol struktur untuk mengetahui keamanan struktur terhadap beban yang bekerja.
- h. Evaluasi Kinerja Struktur Dengan Metode ATC-40, FEMA-356, Dan SNI 1726-2012
- i. Mengambil kesimpulan.

3.3. Flowchart Analysis





BAB V

PENUTUP

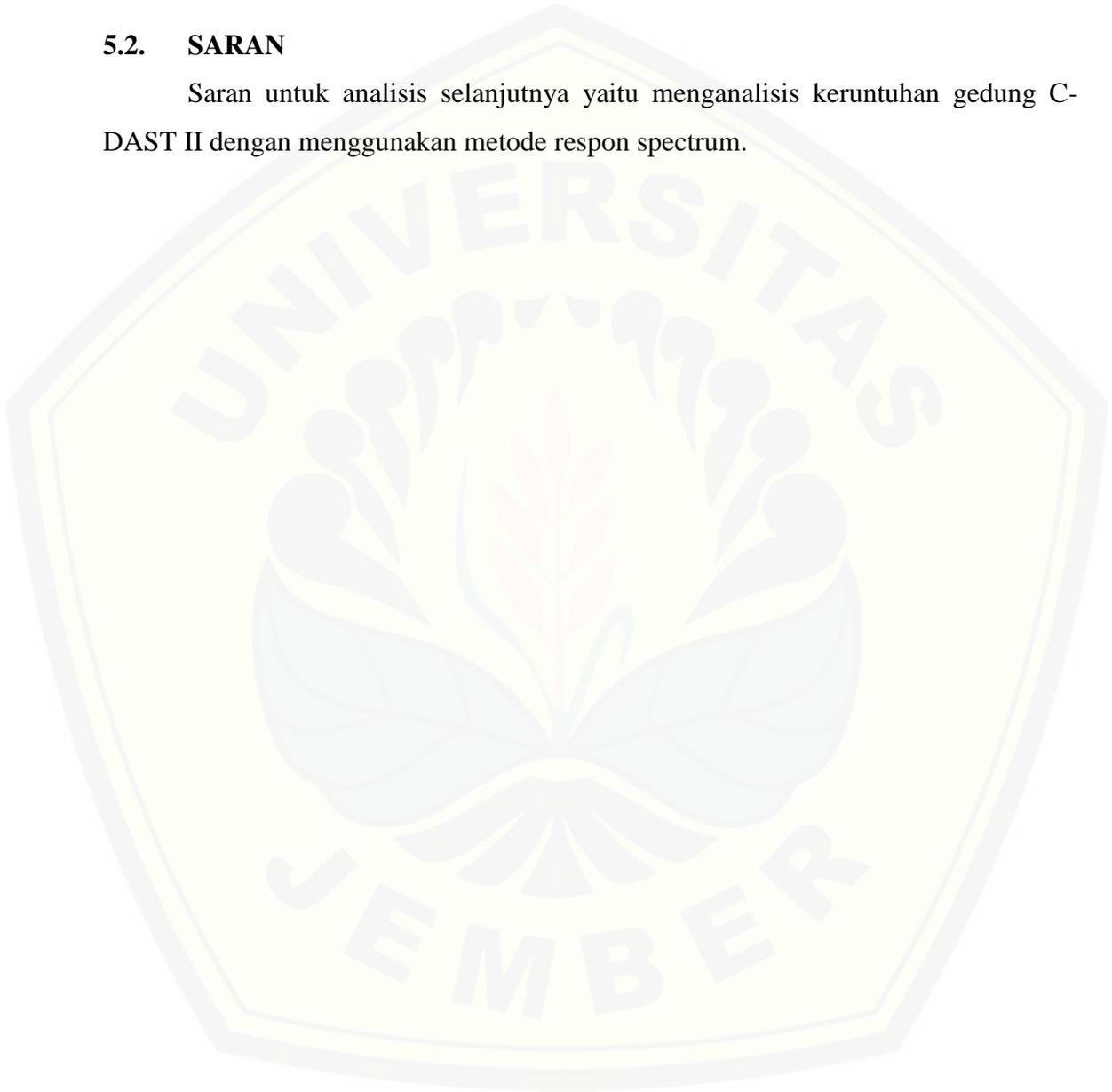
5.1. KESIMPULAN

1. Dari pembahasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa gedung C-DAST Universitas Jember sudah didesain cukup kuat untuk menahan beban gempa yang ada pada wilayah Jember. Setelah dimasukkan data *pushover* distribusi sendi plastis sesuai yang diharapkan, yaitu sesuai dengan sistem kolom kuat balok lemah, karena terjadi keruntuhan pada balok dulu kemudian diikuti pada kolom.
2. Nilai *base shear* maksimal yang dapat ditahan oleh struktur dengan metode FEMA-356 sebesar 910783.2 kg, metode ATC-40 sebesar 784081.2 kg, metode FEMA-440 sebesar 924740.1 kg yang didapat dari performance point.
3. Nilai *displacement* maksimal yang dapat ditahan oleh struktur dengan metode FEMA-356 sebesar 0.15 m, metode ATC-40 sebesar 0.085 m, metode FEMA-440 sebesar 0.157 m yang didapat dari performance point.
4. Nilai daktilitas yang dapat ditahan oleh struktur dengan metode FEMA-356 sebesar 2.134, metode ATC-40 sebesar 1.371, metode FEMA-440 sebesar 2.246, dan daktilitas gedung termasuk dalam tipe detail parsial.
5. Melihat dari hasil grafik analisis *pushover* gedung yang berperilaku nonlinier. Struktur gedung menunjukkan kondisi sangat aman. Hal ini ditunjukkan ketika displacement performance point sudah terlampaui namun perilaku sendi plastis masih dalam tahap *Operasional* dan *Immediate Occupancy*. Hal ini berarti ketika terjadi gaya gempa terbesar dalam perencanaan sesuai beban gempa rencana terlampaui gedung masih sangat aman dan dapat dipakai tanpa melakukan perbaikan. Gedung termasuk dalam level kinerja *immediate Occupancy* yakni ada kerusakan pada struktur dimana kekuatan dan

kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa dan gedung dapat digunakan kembali.

5.2. SARAN

Saran untuk analisis selanjutnya yaitu menganalisis keruntuhan gedung C-DAST II dengan menggunakan metode respon spectrum.



DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, N. R. 2010. Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program Sap 2000. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI-1726-2002. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI-1726-2012. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2947-2002. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1993. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan: Bandung.
- Faizah, R. & Widodo. 2013. Analisis Gaya Gempa Rencana Pada Struktur Bertingkat Banyak Dengan Metode Dinamik Respon Spektra. Badan Penerbit Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Hariyanto, A. 2011. Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respons Spektrum. Badan Penerbit Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Krisnamurti. 2009. Metode Analisis Struktur Akibat Beban Gempa. Jember University Press: Jember
- Lailasari, D. N., Wibowo, A., dan Nuralinah, D. 2012. Studi Komparasi Perencanaan Gedung Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012. Badan Penerbit Universitas Brawijaya: Malang.
- Nurdianti, U. 2013. Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan *Pushover Analysis* Pada Tanah Medium. Universitas Hasanuddin. Makasar.

- Schueller, W. 2001. Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi. PT Refika Aditama: Bandung.
- Setiyarto, Y. D. 2012. Analisis Statik Ekuivalen (SNI – 1726 – 2002). Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer UNIKOM: Bandung.
- Yehezkiel, H. M. 2014. Analisis Pushover Pada Bangunan Dengan Soft First Story. Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Yuandika, F. 2013. Evaluasi Model Keruntuhan Struktur Gedung Bertingkat Dengan Metode Statik Ekuivalen. Universitas Jember: Jember.
- Yulianti, R. C. 2012. Rekayasa Gempa. Pusat Pengembangan Bahan Ajar Universitas Muhammadiyah Bengkulu: Bengkulu.

LAMPIRAN A**Pembebanan****1. Pembebanan Lantai 1-Lantai 8**

Data pembebanan yang dibutuhkan :

Beban Mati		
Plat	288	kg/m ²
Keramik	24	kg/m ²
Plafon	18	kg/m ²
Pasir	112	kg/m ²
Spesi	63	kg/m ²
Dinding	250	kg/m ²
Jumlah	755	kg/m ²

Beban Hidup		
Beban Guna	192	kg/m ²
Beban Atap	96	kg/m ²
Beban Hujan	50	kg/m ²

Balok G-1 atas		1.32931	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	382.84	Beban Guna	255.23
Keramik	31.90		
Plafon	23.93		
Pasir	148.88		
Spesi	83.75		
Dinding	1000.00		
Jumlah	1671.30	Jumlah	255.23

Balok G-1 pinggir			1.34287
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	386.75	Beban Guna	257.83
Keramik	32.23		
Plafon	24.17		
Pasir	150.40		
Spesi	84.60		
Dinding	1000.00		
Jumlah	1678.15	Jumlah	257.83

Balok G-1 tengah			2.68574
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	773.49	Beban Guna	515.66
Keramik	64.46		
Plafon	48.34		
Pasir	300.80		
Spesi	169.20		
Dinding	1000.00		
Jumlah	2356.30	Jumlah	515.66

Balok G-2 pinggir			1.33283
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	383.85	Beban Guna	255.90
Keramik	31.99		
Plafon	23.99		
Pasir	149.28		
Spesi	83.97		
Dinding	1000.00		
Jumlah	1673.08	Jumlah	255.90

Balok G-2 tengah		2.66537	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	767.63	Beban Guna	511.75
Keramik	63.97		
Plafon	47.98		
Pasir	298.52		
Spesi	167.92		
Dinding	1000.00		
Jumlah	2346.01	Jumlah	511.75

Balok G-3 pinggir		0.71523	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	205.98	Beban Guna	137.32
Keramik	17.17		
Plafon	12.87		
Pasir	80.11		
Spesi	45.06		
Dinding	1000.00		
Jumlah	1361.19	Jumlah	137.32

Balok G-3 tengah		1.33283	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	383.85	Beban Guna	255.90
Keramik	31.99		
Plafon	23.99		
Pasir	149.28		
Spesi	83.97		
Dinding	1000.00		
Jumlah	1673.08	Jumlah	255.90

Balok G-3 campur		2.2642	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	652.09	Beban Guna	434.73
Keramik	54.34		
Plafon	40.76		
Pasir	253.59		
Spesi	142.64		
Dinding	1000.00		
Jumlah	2143.42	Jumlah	434.73

Balok B-1		2.69306	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	775.60	Beban Guna	517.07
Keramik	64.63		
Plafon	48.48		
Pasir	301.62		
Spesi	169.66		
Jumlah	1360.00	Jumlah	517.07

Balok B-2		2.66257	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	766.82	Beban Guna	511.21
Keramik	63.90		
Plafon	47.93		
Pasir	298.21		
Spesi	167.74		
Jumlah	1344.60	Jumlah	511.21

Balok B-2 pinggir		0.66663	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	191.99	Beban Guna	127.99
Keramik	16.00		
Plafon	12.00		
Pasir	74.66		
Spesi	42.00		
Jumlah	336.65	Jumlah	127.99

Balok B-3 tengah		1.33283	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	383.85	Beban Guna	255.90
Keramik	31.99		
Plafon	23.99		
Pasir	149.28		
Spesi	83.97		
Jumlah	673.08	Jumlah	255.90

Balok B-4		2.18385	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	628.95	Beban Guna	419.30
Keramik	52.41		
Plafon	39.31		
Pasir	244.59		
Spesi	137.58		
Jumlah	1102.85	Jumlah	419.30

Balok B-3 kecil		1.33298	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	383.90	Beban Guna	255.93
Keramik	31.99		
Plafon	23.99		
Pasir	149.29		
Spesi	83.98		
Jumlah	673.15	Jumlah	255.93

Balok B-3 panjang		0.92821	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	267.33	Beban Guna	178.22
Keramik	22.28		
Plafon	16.71		
Pasir	103.96		
Spesi	58.48		
Jumlah	468.75	Jumlah	178.22

Balok G-2A campur		1.79698	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	517.53	Beban Guna	345.02
Keramik	43.13		
Plafon	32.35		
Pasir	201.26		
Spesi	113.21		
Dinding	1000.00		
Jumlah	1907.48	Jumlah	345.02

2. Pembebanan Pada Atap

Beban Mati	
Plat	360 kg/m ²
Plafon	18 kg/m ²
Spesi	63 kg/m ²
Jumlah	827 kg/m ²

Beban Hidup	
Beban Guna	192 kg/m ²
Beban Atap	96 kg/m ²
Beban Hujan	50 kg/m ²

Balok G-1 atas				1.32931
Beban Mati		Beban Hidup		
Plat	382.84	Beban Guna	127.61	
Plafon	23.93	Beban Hujan	66.47	
Spesi	83.75			
Jumlah	490.51	Jumlah	194.08	

Balok G-1 pinggir				1.34287
Beban Mati		Beban Hidup		
Plat	386.75	Beban Guna	128.92	
Plafon	24.17	Beban Hujan	67.14	
Spesi	84.60			
Jumlah	495.52	Jumlah	196.06	

Balok G-1 tengah				2.68574
Beban Mati		Beban Hidup		
Plat	773.49	Beban Guna	257.83	
Plafon	48.34	Beban Hujan	134.29	
Spesi	169.20			
Jumlah	991.04	Jumlah	392.12	

Balok G-2 pinggir			1.33283
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	383.85	Beban Guna	127.95
Plafon	23.99	Beban Hujan	66.64
Spesi	83.97		
Jumlah	491.81	Jumlah	194.59

Balok G-2 tengah			2.66537
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	767.63	Beban Guna	255.88
Plafon	47.98	Beban Hujan	133.27
Spesi	167.92		
Jumlah	983.52	Jumlah	389.14

Balok G-3 pinggir			0.71523
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	205.98	Beban Guna	68.66
Plafon	12.87	Beban Hujan	35.76
Spesi	45.06		
Jumlah	263.92	Jumlah	104.42

Balok G-3 tengah			1.33283
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	383.85	Beban Guna	127.95
Plafon	23.99	Beban Hujan	66.64
Spesi	83.97		
Jumlah	491.81	Jumlah	194.59

Balok G-3 campur		2.2642	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	652.09	Beban Guna	217.36
Plafon	40.76	Beban Hujan	113.21
Spesi	142.64		
Jumlah	835.49	Jumlah	330.57

Balok B-1		2.69306	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	775.60	Beban Guna	258.53
Plafon	48.48	Beban Hujan	134.65
Spesi	169.66		
Jumlah	993.74	Jumlah	393.19

Balok B-2		2.66257	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	766.82	Beban Guna	255.61
Plafon	47.93	Beban Hujan	133.13
Spesi	167.74		
Jumlah	982.49	Jumlah	388.73

Balok B-2 pinggir		0.66663	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	191.99	Beban Guna	64.00
Plafon	12.00	Beban Hujan	33.33
Spesi	42.00		
Jumlah	245.99	Jumlah	97.33

Balok B-3 tengah		1.33283	
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	383.85	Beban Guna	127.95
Plafon	23.99	Beban Hujan	66.64
Spesi	83.97		
Jumlah	491.81	Jumlah	194.59

Balok B-4			2.18385
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	628.95	Beban Guna	209.65
Plafon	39.31	Beban Hujan	109.19
Spesi	137.58		
Jumlah	805.84	Jumlah	318.84

Balok B-3 kecil			1.33298
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	383.90	Beban Guna	127.97
Plafon	23.99	Beban Hujan	66.65
Spesi	83.98		
Jumlah	491.87	Jumlah	194.61

Balok B-3 panjang			0.92821
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	267.33	Beban Guna	89.11
Plafon	16.71	Beban Hujan	46.41
Spesi	58.48		
Jumlah	342.51	Jumlah	135.52

Balok G-2A campur			1.79698
Beban Mati		Beban Hidup	
Plat	517.53	Beban Guna	172.51
Plafon	32.35	Beban Hujan	89.85
Spesi	113.21		
Jumlah	663.09	Jumlah	262.36

