



**ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT  
MENGUNAKAN METODE STATIK NONLINIER *PUSHOVER*  
(STUDI KASUS: HOTEL GRAND PADIS BONDOWOSO)**

**SKRIPSI**

Oleh

**Afi Atul Latifah**

**NIM. 151910301044**

**PROGRAM STUDI STRATA I  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT  
MENGUNAKAN METODE STATIK NONLINIER *PUSHOVER*  
(STUDI KASUS: HOTEL GRAND PADIS BONDOWOSO)**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Afi Atul Latifah**

**NIM. 151910301044**

**PROGRAM STUDI STRATA 1  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah S.W.T, karena atas limpah rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat mencapai sebuah karya yang akan menjadi bukti utama akan tercapainya suatu pencapaian. Puji syukur yang tak terhingga kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang meridhoi dan mengabulkan segala do'a penulis, sehingga skripsi ini dapat ditulis dan selesai pada waktunya.
2. Ibu tercinta Hj. Jamila dan ayah tercinta H. Kartono,ST,MM. Yang senantiasa memberikan semangat serta doa yang tak pernah putus dan selalu bekerja demi mewujudkan keinginan dan membahagiakan anak-anaknya. Terima kasih atas semuanya.
3. Kakak penulis Ayu Dewi Anggraini dan Abu Ayub Ansori, serta keponakan Fatih Ahmad Azzam yang senantiasa menjadi sumber semangat penulis dalam mencapai kesuksesan.
4. Dosen pembimbing bapak Dwi Nurtanto S.T., M.T., ibu Gati Annisa Hayu S.T., M.T., M.Sc. dan dosen penguji Ibu Indra Nurtjahjaningtyas S.T., M.T., ibu Winda Tri Wahyuningtyas S.T., M.T., serta semua dosen pengajar. Terimakasih banyak atas bimbingan dan pelajaran yang tidak ternilai harganya, agar penulis selalu menjadi lebih baik.
5. Daniar Akbar Maulana yang selalu ikhlas dan sabar dalam memberi dukungan, do'a, serta banyak membantu penulis hingga skripsi penulis selesai.
6. Keluarga baruku Tiara Maharani, Fiki Wahyu Ningrum, dan Chintia Dwi Cahyati terimakasih atas segala kebersamaan, kebahagiaan dan bantuannya selama ini.
7. Seluruh keluarga besar Teknik Sipil 2015 yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terimakasih banyak telah membantu serta bekerja sama untuk mencapai kesuksesan bersama.
8. Almamater Universitas Jember, yang telah menyediakan fasilitas untuk berproses di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil.

## MOTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan, kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.

(Al-Insyirah, 6-8)<sup>\*)</sup>

Sukses bukanlah kunci kebahagiaan, namun kebahagiaan adalah kunci kesuksesan. Jika anda mencintai pekerjaan anda, anda akan menjadi orang yang sukses.

(Albert Schweitzer)<sup>\*\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup> Kementerian Agama Republik Indonesia. 2014. *Al Qur'an Perkata Transliterasi*. Bandung : PT. Al Hamba.

<sup>\*\*)</sup> Hoyaranda, E. dalam Schweitzer, A. 2017. *The light withing us*. Yogyakarta : Bentang Pustaka

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Afi Atul Latifah

NIM : 151910301044

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT MENGGUNAKAN STATIK NONLINIER *PUSHOVER* (STUDI KASUS: HOTEL GRAND PADIS BONDOWOSO)" 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 atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 9 Mei 2019  
Yang menyatakan,

Afi Atul Latifah  
NIM 151910301044

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT  
MENGUNAKAN METODE STATIK NONLINIER *PUSHOVER*  
(STUDI KASUS: HOTEL GRAND PADIS BONDOWOSO)**

Oleh

Afi Atul Latifah  
NIM 151910301044

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dwi Nurtanto S.T., M.T.  
Dosen Pembimbing Anggota : Gati Annisa Hayu S.T., M.T., M.Sc.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul "ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT MENGGUNAKAN METODE STATIK NONLINIER *PUSHOVER* (STUDI KASUS : HOTEL GRAND PADIS BONDOWOSO)"

telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 18 Juni 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji :

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dwi Nurtanto, S.T., M.T.  
NIP. 19710804 199803 1 002

Gati Annisa Hayu, S.T., M.T., M.Sc.  
NIP. 760015715

Ketua Penguji,

Anggota Penguji,

Indra Nurtjahjaningtyas, ST., MT.  
NIP. 19701024 199803 2 001

Winda Tri Wahyuningtyas, ST., MT.  
NIP. 760016772

Mengesahkan  
Dekan

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



## RINGKASAN

**ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT MENGGUNAKAN METODE STATIK NONLINIER *PUSHOVER* (STUDI KASUS: HOTEL GRAND PADIS BONDOWOSO)** ; Afi Atul Latifah, 151910301044; 2019 : 153 halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Perkembangan teknologi pada bidang konstruksi mempunyai tujuan untuk menghasilkan struktur yang stabil, kuat, awet dan aman. Disisi lain menuntut kualitas yang baik, ekonomis, pelaksanaan yang cukup mudah, serta ramah lingkungan. Material baja dijadikan sebagai alternatif pilihan para perencana dalam dunia konstruksi gedung, karena kuat tarik baja lebih tinggi dan lebih daktail dibandingkan struktur beton sehingga struktur baja lebih tahan terhadap guncangan gempa.

Dalam skripsi ini Hotel Grand Padis yang awalnya menggunakan struktur beton bertulang 6 lantai direncanakan menjadi 8 lantai dengan menggunakan struktur baja. Dan setelah dilakukan *redesign*, struktur bangunan ini dianalisis dengan metode *pushover* untuk mengetahui level kinerjanya saat terjadi beban gempa.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh dimensi struktur yang digunakan, antara lain: 1) B1: WF 450. 300. 11. 18 2) B2: WF 450. 200. 9. 14 3) B3: WF 300. 200. 9. 14 4) B4: WF 300. 200. 8. 12 5) B5: WF 500. 200. 10.16 6) B6: WF 600. 300. 14. 23. Sedangkan untuk profil kolom, diperoleh: 1) K1: WF 400.400. 16. 24 2) K2: WF 400. 400. 30. 50 3) K3: WF 400. 400. 45. 70 4) K4: WF Heavy 538. 432. 45. 90 5) K5: WF Heavy 538. 477. 60. 90 5) K6: WF Heavy 538. 477. 90. 90. Tebal plat lantai dan plat atap masing-masing adalah 12 cm dan 10 cm. Tinggi steel deck sebesar 53mm, tulangan atas  $\phi 10$ -125 cm dan tulangan bagi  $\phi 8$ -200 cm.

Hasil evaluasi kinerja struktur gedung berdasarkan ATC-40, FEMA-356 dan FEMA-440 menunjukkan bahwa kondisi gedung aman. Hal tersebut dibuktikan bahwa nilai *displacement* pada ketiga metode tersebut tidak ada yang melebihi



dari syarat SNI-1726-2012, Selain itu jika dilihat dari nilai *drift ratio* tingkat kinerja struktur termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* yang artinya bangunan masih aman untuk kegiatan operasional setelah terjadi gempa, ada kerusakan yang bersifat minor, namun perbaikannya tidak mengganggu pemakaian bangunan.



## SUMMARY

**PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTILEVEL BUILDING STRUCTURES USING NONLINIER STATIC PUSHOVER METHOD (CASE STUDY: GRAND PADIS HOTEL BONDOWOSO) ;** Afi Atul Latifah, 151910301044; 2019 : 153 page; Departement of Civil Engineering, Fakulty of Tecnique, Jember University.

Technology developments in construction sector has a purpose to produce stable, strong, durable and secure structure. On the other hand, its also has a good quality, economics, easy sufficient implementation, and environmentally friendly. Steel material are used as an alternative option of planners in the world of building construction, because the tensile strength of steel is higher and more ductile than the concrete structure, so the steel structure more resistant to earthquake shocks.

In this study, Grand Padis Hotel which initially used concrete structure boned 6 level was planned to be 8 level using steel structure. After doing redesign, the structure of building was analyzed by using pushover method to know the performance level during an earthquake load.

Base on the calculation result, the dimension structure are obtained that used to: 1) B1: WF 450. 300. 11. 18 2) B2: WF 450. 200. 9. 14 3) B3: WF 300. 200. 9. 14 4) B4: WF 300. 200. 8. 12 5) B5: WF 500. 200. 10.16 6) B6: WF 600. 300. 14. 23. While the coloumn profile are obtained: 1) K1: WF 400.400. 16. 24 2) K2: WF 400. 400. 30. 50 3) K3: WF 400. 400. 45. 70 4) K4: WF Heavy 538. 432. 45. 90 5) K5: WF Heavy 538. 477. 60. 90 5) K6: WF Heavy 538. 477. 90. 90. The thickness of the floor and roof plate are 12 cm and 10 cm. The height of steel deck is 53 mm, top reinforcement is  $\phi$ 10-125 cm and for reinforcement  $\phi$ 8-200 cm.

The result of performance evaluation of building strucutre based on ATC-40, FEMA-356 and FEMA-440 showed that the condition of the building is secure. That is proved with displacement value at three methods, nothing exceeded from SNI-1726-2012. Beside, if it seen from drift ratio value, structure

performance level is included to immediate occupancy category which means the building still secure for operational activity after the earthquake happened, there is a few minor damage, however the refinement not annoyed the used of the building.



## PRAKATA

*Alhamdulillah*, Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT MENGGUNAKAN METODE STATIK NONLINIER *PUSHOVER* (STUDI KASUS: HOTEL GRAND PADIS BONDOWOSO)”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Kedua orang tua, Hj. Jamila dan H. Kartono S.T., M.M.;
2. Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dwi Nurtanto S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama;
4. Gati Annisa Hayu S.T., M.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Anggota;
5. Indra Nurtjahjaningtyas S.T.,M.T., selaku Dosen Penguji Utama;
6. Winda Tri Wahyuningtyas ST., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota;
7. Firda Lutfiatul Fitria S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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, 9 Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Preliminary Design</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Konsep Pembebanan</b> .....	<b>4</b>
2.2.1 Beban Mati ( <i>Dead Load/DL</i> ).....	<b>4</b>
2.2.2 Beban Hidup ( <i>Life Load/LL</i> ) .....	<b>5</b>
2.2.3 Beban Angin .....	<b>6</b>
2.2.4 Beban Gempa ( <i>Eartquake Load/IEL</i> ) .....	<b>6</b>

2.2.5 Beban Khusus .....	6
<b>2.3 Konsep Perencanaan Struktur .....</b>	<b>6</b>
2.3.1 Tinjauan Umum .....	6
2.3.2 Kolom .....	7
2.3.3 Balok .....	9
2.3.4 Pelat .....	11
2.3.5 Tangga .....	15
<b>2.4 Sambungan .....</b>	<b>16</b>
2.4.1 Sambungan baut .....	16
2.4.2 Sambungan las .....	18
<b>2.5 Ketentuan Umum Bangunan Gedung Dalam Pengaruh Gempa .....</b>	<b>20</b>
2.5.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan ..	20
2.5.2 Kombinasi Pembebanan .....	23
<b>2.6 Prosedur Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik .....</b>	<b>24</b>
2.6.1 Klasifikasi Situs .....	24
2.6.2 Definisi Parameter Kelas Situs .....	25
<b>2.7 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons .....</b>	<b>26</b>
2.7.1 Parameter Percepatan Gempa .....	26
2.7.2 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan	
Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER).....	27
2.7.3 Parameter Percepatan Spektral Desain .....	29
2.7.4 Spektrum Respon Desain .....	29
2.7.5 Sistem Penahan Gaya Seismik .....	30
2.7.6 Gaya Geser Dasar Seismik .....	31
<b>2.8 Analisis Respon Struktur .....</b>	<b>32</b>
<b>2.9 Sendi Plastis .....</b>	<b>33</b>
2.9.1 <i>Hinge Propertis</i> Balok .....	33
2.9.2 <i>Hinge Propertis</i> Kolom .....	34
2.9.3 Penentuan Letak Sumbu Plastis .....	34
<b>2.10 Analisis <i>Pushover</i> .....</b>	<b>35</b>
2.10.1 Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40) .....	35



2.10.2 Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356) .....	40
2.10.3 Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 440) .....	43
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Umum.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Konsep Penelitian.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3 Rancangan Penelitian .....</b>	<b>45</b>
3.3.1 Lokasi Penelitian.....	45
3.3.2 Denah Gedung .....	46
<b>3.4 Hipotesis Penelitian.....</b>	<b>46</b>
<b>3.5 Pengumpulan Data.....</b>	<b>46</b>
<b>3.6 Tahapan Pemodelan .....</b>	<b>47</b>
<b>3.7 Flowchart .....</b>	<b>49</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 Data Dasar Struktur .....</b>	<b>50</b>
4.1.1 Lokasi Proyek Gedung.....	50
4.1.2 Data Geometri Struktur.....	50
<b>4.2 Preliminary Design .....</b>	<b>51</b>
4.2.1 Perencanaan Pelat .....	51
4.2.2 Perencanaan Balok Anak .....	62
4.2.3 Perencanaan Tangga .....	66
4.2.4 Perencanaan Balok induk.....	76
4.2.5 Perencanaan Kolom .....	80
<b>4.3 Pemodelan dan Analisa Struktur dengan Program SAP .....</b>	<b>87</b>
<b>4.4 Perencanaan Pembebanan .....</b>	<b>88</b>
4.4.1 Beban Lantai .....	88
4.4.2 Beban Atap .....	88
4.4.3 Beban Gempa.....	89
4.4.4 Kombinasi Pembebanan .....	90
<b>4.5 Perbandingan Perhitungan .....</b>	<b>91</b>

<b>4.6 Kontrol Profil .....</b>	<b>98</b>
4.6.1 Kontrol Profil Balok Anak.....	98
4.6.2 Kontrol Profil Balok Induk .....	100
4.6.3 Kontrol Profil Kolom.....	102
<b>4.7 Sambungan .....</b>	<b>106</b>
4.7.1 Sambungan Kolom Tengah dengan Balok .....	106
4.7.2 Sambungan Kolom Tepi dengan Balok .....	110
4.7.3 Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk.....	114
<b>4.8 Analisa Beban Gempa .....</b>	<b>116</b>
4.8.1 Perhitungan Koefisien Respon Seismik (Cs).....	116
4.8.2 Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik .....	117
4.8.3 Perhitungan Distribusi Gaya Gempa .....	118
<b>4.9 Analisis Kekuatan Struktur Gedung.....</b>	<b>119</b>
4.9.1 Kontrol Lendutan .....	120
4.9.2 Kontrol Simpangan Antar Lantai ( <i>Drift</i> ) .....	121
<b>4.10 Memodelkan Sendi Plastis.....</b>	<b>122</b>
4.10.1 Mendefinisikan Sendi Plastis Pada Balok .....	122
4.10.2 Mendefinisikan Sendi Plastis Pada Kolom .....	123
<b>4.11 Kapasitas Struktur.....</b>	<b>124</b>
4.11.1 Kurva Kapasitas Sistem Ganda (Arah x-x).....	124
4.11.2 Kurva Kapasitas Sistem Rangka (Arah y-y).....	133
<b>4.12 Evaluasi Kinerja Struktur.....</b>	<b>138</b>
4.12.1 Metode Spektrum Kapasitas ATC-40.....	138
4.12.2 Metode Koefisien Perpindahan FEMA-356 .....	144
4.12.3 Metode Koefisien Perpindahan FEMA-440 .....	147
4.12.4 Evaluasi Kinerja.....	150
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>152</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>152</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>153</b>

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>154</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>155</b>



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Beban Mati Pada Struktur .....	4
2.2 Beban Hidup Merata Minimum .....	5
2.3 Bentang untuk Pengekang Lateral .....	10
2.4 Tipe-tipe Baut.....	16
2.5 Nilai $\phi$ .ft untuk Berbagai Tipe Baut .....	18
2.6 Ukuran Minimum Las Sudut.....	19
2.7 Kategori Resiko Beban Gempa Bangunan Gedung dan Non Gedung .....	21
2.8 Faktor Keutamaan Gempa .....	23
2.9 Klasifikasi Situs .....	24
2.10 Klasifikasi Situs Lanjutan .....	25
2.11 Koefisien Situs, $F_a$ .....	28
2.12 Koefisien Situs, $F_v$ .....	28
2.13 Faktor $R_d$ , $\Omega_0^g$ , $C_d^b$ Pada Sistem Penahan Gaya Seismik .....	30
2.14 Faktor $R_d$ , $\Omega_0^g$ , $C_d^b$ Pada Sistem Penahan Gaya Seismik (lanjutan).....	31
2.15 Tingkat Kinerja Struktural .....	36
2.16 Batas Deformasi Bangunan Gedung .....	40
2.17 Kondisi Bangunan Pasca Gempa dan Kategori Bangunan Pada Tingkat Kinerja Struktural.....	41
4.1 Elevasi Antar Lantai.....	50
4.2 Inersia Penampang .....	53
4.3 Kontrol Momen Lentur dan Lendutan Pada Penyangga Pelat Tangga .....	74
4.4 Faktor Kekakuan Masing-masing Elemen .....	81
4.5 Faktor G Tiap Joint .....	83
4.6 Faktor Panjang Efektif, $k$ , Masing-masing Kolom .....	84
4.7 Hasil Perhitungan Berat Bangunan Program Batu SAP .....	91
4.8 Hasil Perhitungan Manual Berat Sendiri Plat Lantai .....	91

4.9 Hasil Perhitungan Manual Berat Sendiri Plat Atap.....	93
4.10 Hasil Perhitungan Manual Berat Sendiri Balok .....	94
4.11 Hasil Perhitungan Manual Berat Sendiri Kolom .....	96
4.12 Perhitungan Nilai Geser Dasar Seismik.....	117
4.13 Perhitungan Distribusi Gaya Gempa Pada Tiap Lantai .....	118
4.14 Kontrol Simpangan Arah-x .....	121
4.15 Kontrol Simpangan Arah-y.....	121
4.16 Beban Dorong Arah-x .....	125
4.17 Beban Dorong Arah-y.....	127
4.18 Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terbentuknya Sendi Plastis dalam Program Bantu SAP.....	137
4.19 <i>Pushover Curve Demand Capacity</i> ATC-40 Arah x .....	139
4.20 Parameter Spektrum Kapasitas Arah x .....	140
4.21 <i>Pushover Curve Demand Capacity</i> ATC-40 Arah y .....	142
4.22 Parameter Spektrum Kapasitas Arah y .....	143
4.23 Parameter Koefisien Perpindahan FEMA-356 Arah x.....	144
4.24 Parameter Koefisien Perpindahan FEMA-356 Arah y.....	146
4.25 Parameter Koefisien Perpindahan FEMA-440 Arah x.....	147
4.26 Parameter Koefisien Perpindahan FEMA-440 Arah y.....	148
4.27 Rangkuman Target Perpindahan .....	150

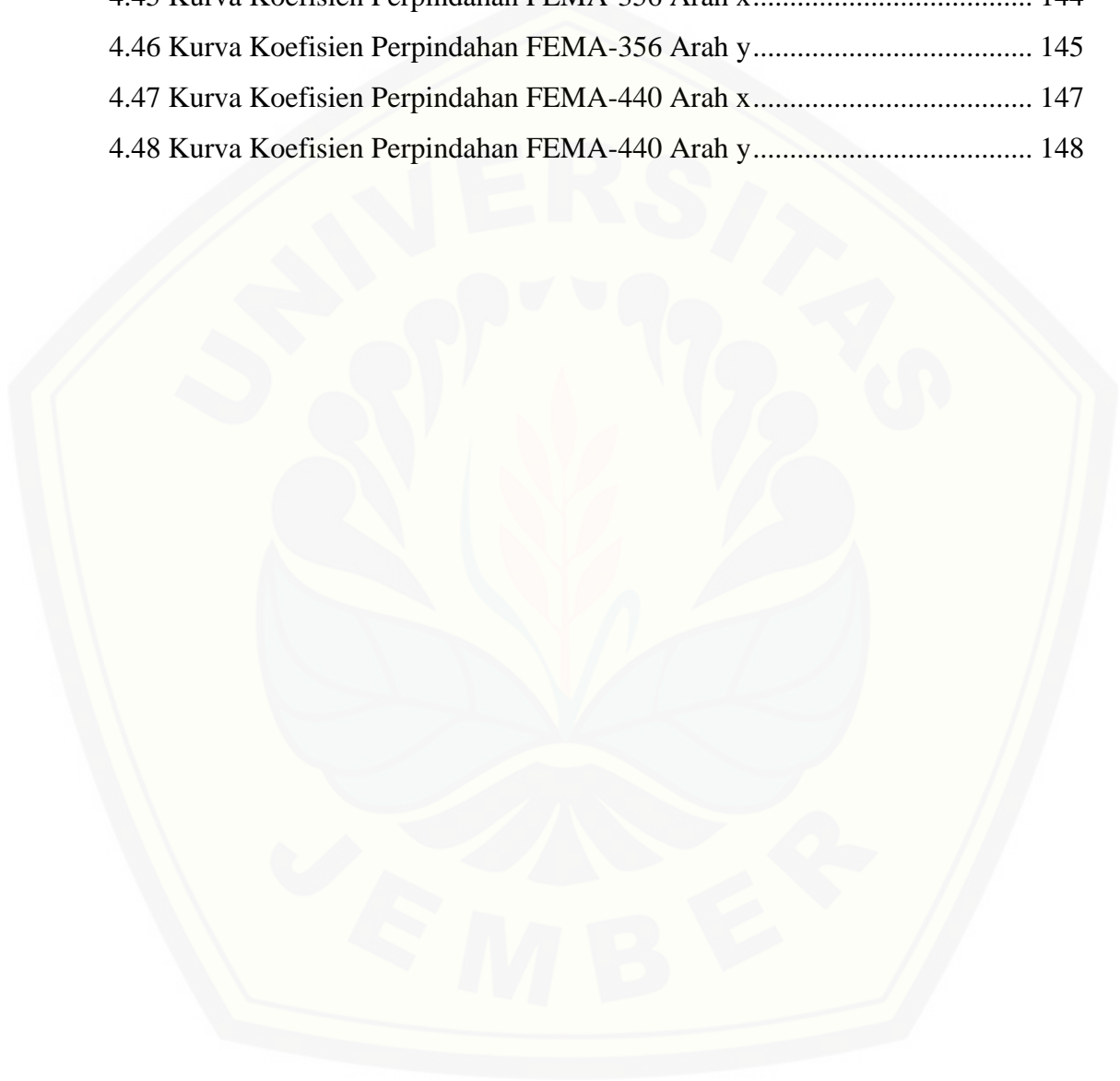
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Nomogram Faktor Panjang Tekuk .....	8
2.2 Lebar Efektif Balok Komposit .....	12
2.3 Kuat Lentur Nominal Berdasarkan Distribusi Tegangan Plastis .....	13
2.4 Macam-macam <i>Shear Connector</i> .....	14
2.5 SS, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER), Kelas Situs SB .....	26
2.6 S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER), Kelas Situs SB .....	27
2.7 Respon Spektrum desain .....	30
2.8 Respon Struktur .....	33
2.9 Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur .....	33
2.10 Posisi Sumbu Lokal Kolom .....	34
2.11 Sendi Plastis yang Terjadi Pada Balok Kolom .....	35
2.12 Tipikal Kurva Kapasitas Pada Berbagai Tingkat Kinerja Struktur .....	36
2.13 Struktur Bangunan yang Mendapat Beban Gempa dan Spektrum Kapasitas .....	39
2.14 Tingkat Kinerja Struktur .....	41
3.1 Lokasi Proyek Hotel Grand Padis .....	40
3.2 Flowchart .....	43
4.1 Segmen Pelat .....	52
4.2 Garis Netral Penampang Balok dan Pelat .....	53
4.3 Letak Sumbu Netral Plastis dan Distribusi Tegangan .....	57
4.4 Letak Stud Pada Balok dan Pelat .....	59
4.5 Denah dan Potongan Melintang Tangga Tipe A .....	68
4.6 Denah dan Potongan Melintang Tangga Tipe B .....	67
4.7 Perencanaan Pelat Tangga .....	67
4.8 Balok - Kolom .....	81
4.9 Pemodelan Struktur 3 Dimensi dengan Program Bantu SAP .....	87



4.10 Letak Koordinat Hotel Grand Padis .....	89
4.11 Hasil Analisis Respon Spektrum.....	90
4.12 Aksi Kolom .....	104
4.13 Sambungan Balok-Kolom Tengah.....	107
4.14 Detail Letak Baut .....	109
4.15 Sambungan Kolom Tepi-Balok.....	110
4.16 Detail Letak Baut .....	113
4.17 Sambungan Balok Anak-Balok Induk .....	114
4.18 Analisis Kekuatan Struktur Gedung .....	119
4.19 Lendutan yang Terjadi Pada SAP .....	120
4.20 <i>Input Hinges</i> Pada Balok.....	123
4.21 Input Hinges Pada Kolom .....	123
4.22 Kurva Kapasitas <i>Push-x</i> .....	124
4.23 Kurva Kapasitas <i>Push-y</i> .....	126
4.24 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 0</i> Arah x .....	128
4.25 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 1</i> Arah x .....	128
4.26 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 2</i> Arah x .....	129
4.27 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 3</i> Arah x .....	129
4.28 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 4</i> Arah x .....	130
4.29 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 5</i> Arah x .....	130
4.30 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 6</i> Arah x .....	131
4.31 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 7</i> Arah x .....	131
4.32 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 8</i> Arah x .....	132
4.33 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 9</i> Arah x .....	132
4.34 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 10</i> Arah x .....	133
4.35 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 11</i> Arah x .....	133
4.36 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 0</i> Arah y .....	134
4.37 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 1</i> Arah y .....	134
4.38 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 2</i> Arah y .....	135
4.39 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 3</i> Arah y .....	135
4.40 Distribusi Sendi Plastis <i>Step 4</i> Arah y .....	136

4.41 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 5</i> Arah y .....	136
4.42 <i>Distribusi Sendi Plastis Step 6</i> Arah y .....	137
4.43 <i>Kurva Spektrum Kapasitas ATC-40</i> Arah x .....	138
4.44 <i>Kurva Spektrum Kapasitas ATC-40</i> Arah y .....	141
4.45 <i>Kurva Koefisien Perpindahan FEMA-356</i> Arah x.....	144
4.46 <i>Kurva Koefisien Perpindahan FEMA-356</i> Arah y.....	145
4.47 <i>Kurva Koefisien Perpindahan FEMA-440</i> Arah x.....	147
4.48 <i>Kurva Koefisien Perpindahan FEMA-440</i> Arah y.....	148



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu perkembangan teknologi di bidang konstruksi mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Dimana perkembangan teknologi pada bidang konstruksi yang mempunyai tujuan untuk menghasilkan struktur yang stabil, kuat, awet dan aman. Disisi lain dalam era globalisasi menuntut kualitas yang baik, ekonomis, pelaksanaan yang cukup mudah, serta ramah lingkungan.

Suatu struktur dikatakan stabil apabila tidak mudah terguling dan tergeser selama umur gedung yang direncanakan. Struktur yang kuat biasanya memiliki dimensi yang besar, tetapi struktur tersebut tidak ekonomis jika diterapkan pada gedung bertingkat tinggi. Untuk mendapatkan dimensi yang tepat, maka diperlukan suatu analisis balok dan kolom untuk mengetahui besarnya gaya yang bekerja pada struktur tersebut (Setiawan, A. 2008).

Faktor yang sangat berkaitan dalam merencanakan suatu struktur yaitu keamanan dan ketahanan gedung dalam menopang beban yang bekerja pada strukturnya. Oleh karena itu dalam merencanakan sebuah gedung bertingkat harus direncanakan sedemikian rupa untuk memastikan kekakuan serta kegagalan struktur pada gedung tersebut.

Saat ini material baja dijadikan sebagai alternatif pilihan para perencana dalam dunia konstruksi gedung, dimana struktur baja lebih kuat dibandingkan struktur beton, hal ini dibuktikan bahwa kuat tarik baja lebih besar dibandingkan struktur beton sehingga struktur baja lebih tahan terhadap guncangan gempa. Selain memiliki kekuatan yang tinggi, baja juga memiliki sifat elastis dan daktilitas yang cukup tinggi serta kemudahan penyambungan antar elemen satu dan elemen yang lainnya dengan menggunakan alat sambung las atau baut (Padosbajoyo, 1994).

Dalam analisis ini akan dibahas tentang proyek pembangunan hotel Grand Padis yang saat ini dalam tahap pengerjaan. Gedung tersebut terletak di Jl. Ahmad Yani No.28, Kelurahan Badean, Kabupaten Bondowoso. Hotel Grand Padis ini didesain memiliki 6 lantai, gedung tersebut direncanakan menggunakan beton bertulang. Dalam tugas akhir ini penulis ingin merencanakan ulang gedung tersebut menjadi 8 lantai dengan menggunakan struktur baja dan menganalisis dengan metode *pushover*, untuk mengetahui terbentuknya sendi plastis pertama serta memperhitungkan kekuatan yang ada pada struktur mulai dari terbentuknya sendi plastis pertama hingga keruntuhan yang sebenarnya.

Analisis *pushover* (ATC-40, 1996) merupakan salah satu komponen *performance based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisis non-linier berbasis komputer untuk menganalisis perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah, dengan memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap sampai struktur tersebut mencapai pola keruntuhan tertentu (Agustina, A. 2016).

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang ada maka permasalahan dalam tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan balok, kolom, dan plat pada gedung menggunakan struktur baja yang memenuhi perencanaan dan aman terhadap beban-beban yang terjadi, tanpa mengabaikan faktor keamanan yang menyangkut kekuatan dan kestabilan struktur?
2. Bagaimana kinerja struktur setelah dilakukan analisis *pushover*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang didapat dari penelitian ini :

1. Dapat merencanakan balok, kolom, dan plat pada gedung menggunakan struktur baja yang memenuhi perencanaan dan aman terhadap beban-beban yang terjadi, tanpa mengabaikan faktor keamanan yang menyangkut kekuatan dan kestabilan struktur.
2. Untuk mengetahui kinerja struktur setelah dilakukan analisis *pushover*.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Masyarakat  
Menambah wawasan bagi para perencana konstruksi dalam mengetahui kinerja struktur gedung setelah penambahan beban dengan metode *pushover*.
2. Bagi Mahasiswa  
Menambah referensi dalam perencanaan ulang bangunan menggunakan struktur baja.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain :

1. Perencanaan struktur baja mengacu pada SNI 03-1729-2015.
2. Perencanaan pembebanan mengacu pada SNI 1727-2013.
3. Perencanaan ketahanan gempa mengacu pada SNI 1726-2012.
4. Membahas tentang model keruntuhan gedung Grand Padis akibat adanya penambahan gaya gempa dengan menggunakan metode statik nonlinier.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Preliminary Design

*Preliminary design* merupakan desain awal yang berupa perencanaan jenis material, mutu serta dimensi material yang mengacu pada *engineering judgement*. Spesifikasi material yang ditentukan dalam *Preliminary design* bukan merupakan spesifikasi yang akan digunakan di lapangan, melainkan spesifikasi yang akan dimodelkan dalam software untuk diuji dengan menggunakan pembebanan yang sesuai dengan SNI-1727-2013.

### 2.2 Konsep Pembebanan

Pembebanan adalah beban yang bekerja pada struktur suatu gedung. Struktur gedung tinggi harus kuat menahan semua beban yang bekerja pada strukturnya. Untuk itu, kita harus mengetahui macam-macam beban yang bekerja pada struktur gedung yang akan kita rencanakan. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, struktur gedung harus direncanakan terhadap pembebanan sebagai berikut :

#### 2.2.1 Beban Mati (*Dead Load/DL*)

Beban mati merupakan beban konstruksi bangunan gedung yang bersifat tetap, serta peralatan tetap yang tidak terpisahkan dari gedung, termasuk lantai, dinding, tangga, atap, plafon dan komponen arsitektur dan struktural lainnya.

**Tabel 2.1** Beban Mati Pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban (kg/m <sup>3</sup> )
Baja	7.850
Beton Bertulang	2.400
Dinding pasangan ½ bata	250
Langit-langit + penggantung	18



<b>Beban Mati</b>	<b>Besar Beban (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Lantai ubin semen portland	24
Spesi per cm tebal	21

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983)

### 2.2.2 Beban Hidup (*Life Load /LL*)

Beban hidup merupakan semua beban yang diakibatkan oleh penghuni dan pengguna suatu bangunan atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban hujan, beban gempa, beban angin. Misalnya beban-beban pada lantai yang berasal dari peralatan yang merupakan bagian dari gedung dan dapat dipindahkan, sehingga mengakibatkan perubahan pada pembebanan gedung. Termasuk beban lingkungan seperti beban hujan, beban angin, beban gempa (SNI-1727-2013).

**Tabel 2.2** Beban Hidup Merata Minimum

<b>Hunian atau penggunaan</b>	<b>Beban merata psf (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Hotel / Rumah Tinggal	
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)	
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) <sup>l</sup>
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96) <sup>m</sup>
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)
Semua ruangan kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)
Semua hunian rumah tinggal lainnya	
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)
Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)

(Sumber : SNI 1727-2013)

### 2.2.3 Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang disebabkan oleh angin. Beban angin tergantung dari lokasi dan ketinggian dari struktur. Besarnya beban angin diatur pada PPIUG 1983 pasal 4.2 dimana :

1. Tekanan tiup harus diambil minimum  $25 \text{ kg/m}^2$  pada bangunan jauh dari pantai.
2. Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum  $40 \text{ kg/m}^2$ .

### 2.2.4 Beban Gempa (*Earthquake Load/EL*)

Beban gempa merupakan beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang bergerak sesuai dengan arah gerakan tanah akibat gempa bumi. Dalam hal ini pengaruh struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka beban gempa disini diartikan dengan gaya-gaya di dalam struktur yang terjadi karena adanya pergerakan tanah akibat gempa bumi (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983).

## 2.3 Konsep Perencanaan Struktur

### 2.3.1 Tinjauan Umum

Struktur komposit adalah suatu struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat yang berbeda dan membentuk satu kesatuan (monolit), sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Misalnya sistem lantai beton dan balok baja penyangganya dihubungkan secara menyeluruh dan mengalami defleksi sebagai satu kesatuan.

### 2.3.2 Kolom

Kolom adalah suatu elemen struktur tekan yang memiliki peran penting dari sebuah bangunan, jika terjadi keruntuhan pada kolom maka lantai yang bersangkutan dengan kolom tersebut akan mengalami keruntuhan total. Jadi kolom memiliki peran yang sangat penting dalam meneruskan beban seluruh bangunan ke pondasi. Seluruh beban yang diterima kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya. (SNI 2847-2013).

- a. Perbandingan kekakuan rangka portal

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_c}{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_b} \quad (2.1)$$

Dimana :

$G$  = perbandingan kekuatan portal terhadap tekan

$\sum \left(\frac{I}{L}\right)_c$  = jumlah momen inersia kolom terhadap tinggi komponen struktur

$\sum \left(\frac{I}{L}\right)_b$  = jumlah momen inersia kolom terhadap panjang

- b. Pemeriksaan kelangsingan penampang kolom berdasarkan SNI 1729-2015

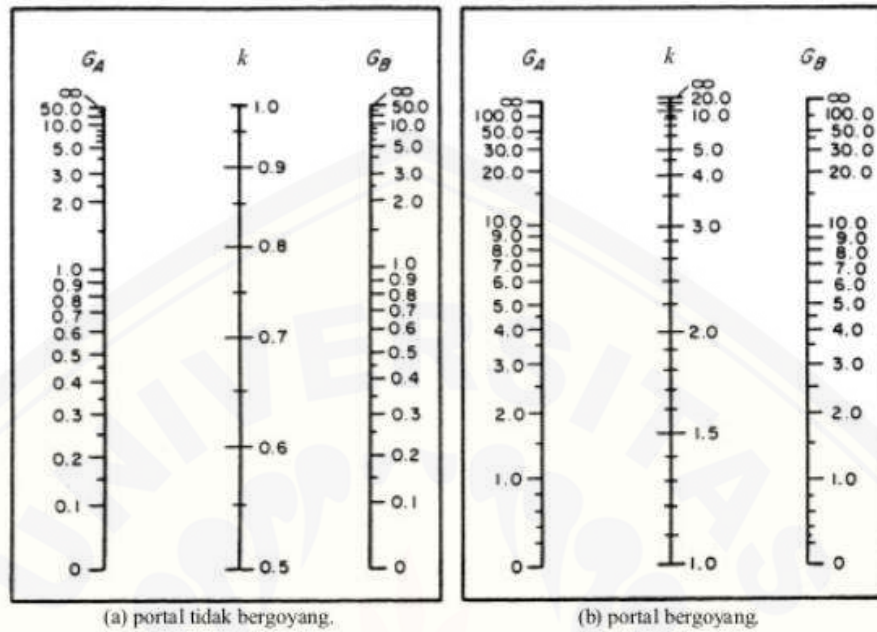
Untuk sayap :

$$\lambda_x = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} > \lambda_f = \frac{b}{2.t_f} \quad (2.2)$$

Untuk badan :

$$\lambda_x = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} > \lambda_w = \frac{h}{t_w} \quad (2.3)$$

## c. Panjang tekuk



Gambar 2.1 Nomogram Faktor Panjang Tekuk

(Sumber : SNI-1729-2002)

## d. Tahanan tekan nominal

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor,  $N_u$  harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$1. N_u \leq \phi_n \cdot N_n \quad (2.4)$$

Dimana :

 $N_u$  = beban terfaktor $\phi_n$  = faktor reduksi kekuatan (0,85) $N_n$  = kuat tekan nominal komponen struktur =  $A_g \cdot f_{cr}$ 

## 2. Menentukan tegangan kritis untuk daerah elastik

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.5)$$

Dimana :

Menentukan arah sumbu kuat (sumbu x)

$$\lambda_x = \frac{k \cdot L_x}{r_x} \quad (2.6)$$

Menentukan arah sumbu lemah (sumbu y)

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L_y}{r_y} \quad (2.7)$$

3. Daya dukung nominal  $N_u$  struktur tekan dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$N_u = A_g \cdot f_{cr} = A_g \frac{f_y}{\omega} \quad (2.8)$$

Dimana besarnya  $\omega$  ditentukan oleh  $\lambda_c$ , yaitu :

$$\text{Untuk } \lambda_c < 0,25 \quad \text{maka } \omega = 1 \quad (2.9)$$

$$\text{Untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \quad (2.10)$$

$$\text{Untuk } \lambda_c > 1,2 \quad \text{maka } \omega = 1,25 \lambda_c \quad (2.11)$$

### 2.3.3 Balok

Balok merupakan bagian dari struktur bangunan yang dirancang untuk menyalurkan beban menuju kolom penopang. Setiap komponen struktur yang memikul momen lentur, harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u \quad (2.12)$$

Dimana :

$\phi_b$  = faktor reduksi untuk lentur (0,9)

$M_n$  = kuat nominal momen lentur dari penampang

$M_u$  = beban momen lentur terfaktor

Kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral terdiri dari :

a. Batasan momen

Untuk faktor pengali momen  $C_b$  ditentukan dengan persamaan berikut :

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad R_m \leq 3 \quad (2.13)$$

Dengan :

$M_{max}$  = momen maksimum pada bentang yang ditinjau

$M_A$  = momen pada  $\frac{1}{4}$  bentang tak terkekang

$M_B$  = momen pada tengah bentang tak terkekang

$M_C$  = momen pada  $\frac{3}{4}$  bentang tak terkekang

$R_m$  = 1,0 untuk penampang simetris ganda

$R_m = 1,0$  untuk penampang simetris tunggal yang mengalami kelengkungan tunggal.

$R_m = 0,5 + 2 \left(\frac{lyc}{I_y}\right)^2$  untuk penampang simetri tunggal yang mengalami kelengkungan ganda.

b. Bentang pendek

Syarat untuk komponen struktur yang memenuhi  $L \leq L_p$  kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = M_p \tag{2.14}$$

**Tabel 2.3** Bentang untuk Pengekang Lateral

Profil	$L_p$	$L_r$
Profil – I dan kanal ganda	$1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ dengan $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah. $f_y =$ tegangan leleh material	$r_y \left[\frac{X_1}{f_L}\right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$ dengan $f_L = f_y \cdot f_r$ $X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X_2 = 4 \left(\frac{S}{GJ}\right)^2 \frac{I_w}{I_y}$ $I_w =$ konstanta puntir lengkung $I_y =$ momen inersia satu flens terhadap sumbu y $J =$ konstanta puntir torsi
Profil kotak pejal atau berongga	$0,13 E_r y \frac{\sqrt{JA}}{M_p}$	$2 E_r y \frac{\sqrt{JA}}{M_r}$

c. Bentang menengah

Syarat untuk struktur yang memenuhi  $L_p \leq L \leq L_r$  ,kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = \min C_b \left[ M_p + (M_p - 0,7 S_x F_y) \frac{(L_b - L_p)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p \tag{2.15}$$



## d. Bentang panjang

Syarat untuk komponen struktur yang memenuhi  $L_r \leq L$ , kuat nominal struktur terhadap lentur adalah

$$M_n = \min (F_{cr} S_x) \leq M_p \quad (2.16)$$

## e. Kelangsingan penampang balok

Berdasarkan SNI 1729-2015 tabel B4.1b syarat untuk kelangsingan penampang balok adalah sebagai berikut :

Penampang untuk sayap (flens)

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.17)$$

$$\lambda_r = 1,00 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.18)$$

$$\lambda_f = \frac{b}{2 t_f} \quad (2.19)$$

penampang untuk badan (web)

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.20)$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.21)$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} \quad (2.22)$$

## f. Kuat geser balok

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.23)$$

kuat geser nominal

$$V_n = 0,6.f_y.h.t_w \quad (2.24)$$

### 2.3.4 Pelat

Pelat merupakan struktur dengan arah bidang horizontal dengan beban yang bekerja tegak lurus. Apabila pelat mengalami rotasi bebas pada tumpuan, pelat dan tumpuan sangat kaku terhadap momen puntir, maka pelat itu dikatakan jepit penuh. Bila balok tepi tidak cukup kuat mencegah rotasi, maka dikatakan jepit sebagian.

Perencanaan dan analisis pelat menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Lebar efektif untuk slab beton yang bekerja secara komposit dengan balok baja adalah sebagai berikut :

- a. Untuk balok interior

$$b_{\text{eff}} \leq \frac{L}{4} \quad (2.25)$$

$$b_{\text{eff}} \leq \frac{(L_1 + L_2)}{2 L_1} \quad (2.26)$$

- b. Untuk balok eksterior

$$b_{\text{eff}} \leq \frac{L}{8} \quad (2.27)$$

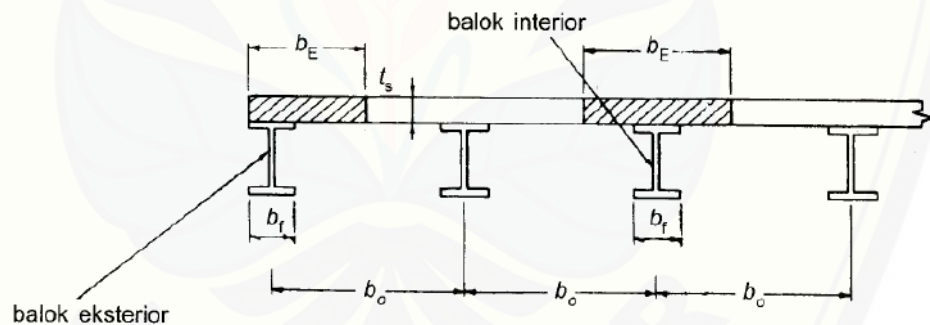
$$b_{\text{eff}} \leq \frac{L_1}{2 + b_o} \quad (2.28)$$

dimana :

L = panjang bentang

$b_o$  = jarak pusat balok ke tepi pelat

$L_1$  = jarak antar as balok



**Gambar 2.2** Lebar Efektif Balok Komposit

(sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan metode LRFD)

2. Menentukan nilai n

Untuk mentransformasikan struktur beton ke baja diperlukan nilai n, dengan rumus sebagai berikut :

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'c} \quad (2.29)$$

$$E_{\text{baja}} = 2.10^5 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} \quad (2.30)$$

## 3. Kuat lentur nominal

Kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis, dapat dikategorikan menjadi dua kasus yaitu :

## a. Sumbu netral jatuh pada pelat beton

Besar gaya tekan C adalah :

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E \quad (2.31)$$

Gaya tarik T pada profil baja

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.32)$$

Dari keseimbangan gaya  $C = T$ , maka diperoleh :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_E} \quad (2.33)$$

kuat lentur nominal

$$M_n = C \cdot d_1 \quad (2.34)$$

$$\text{Atau } = T \cdot d_1 = A_s \cdot f_y \left( \frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right) \quad (2.35)$$

## b. Sumbu netral plastis jatuh pada profil baja

Gaya tekan yang bekerja pada beton

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s \quad (2.36)$$

Dari keseimbangan gaya, diperoleh hubungan

$$T' = C_c + C_s \quad (2.37)$$

Besarnya  $T'$  sekarang lebih kecil dari pada  $A_s \cdot f_y$

$$T' = A_s \cdot f_y - C_s \quad (2.38)$$

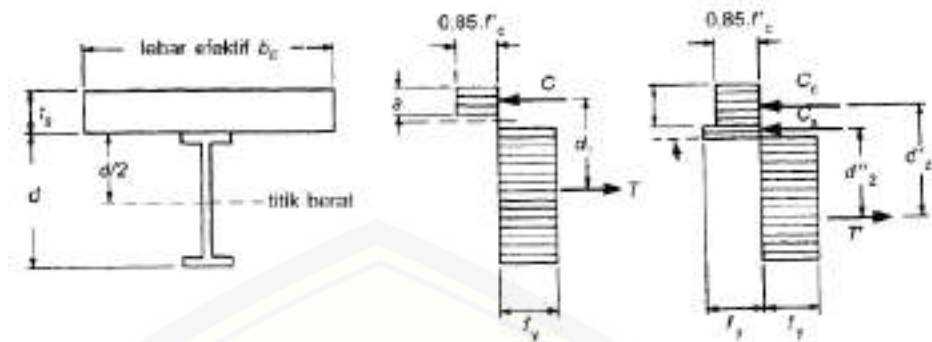
Dari persamaan 2.34 dan 2.35 maka diperoleh :

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - C_c}{2} \quad (2.40)$$

$$\text{Dan, } C_s = \frac{A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s}{2} \quad (2.41)$$

Kuat lentur nominal

$$M_n = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2'' \quad (2.42)$$



**Gambar 2.3** Kuat Lentur Nominal Berdasarkan Distribusi Tegangan Plastis

(sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan metode LRFD)

4. Penghubung geser (Shear connector)

Gaya geser horizontal yang terjadi antara pelat beton dan profil baja selama pembebanan harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser, agar penampang komposit bekerja secara monolit. Ada tiga macam shear connector antara lain :

a. Stud connector

Kuat nominal

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \sqrt{f'c \cdot Ec} \leq A_{sc} \cdot f_u \quad (2.43)$$

Dengan :

$A_{sc}$  = luas penampang penghubung geser

$f_u$  = tegangan putus penghubung geser

$Q_n$  = kuat geser nominal

b. Canal connector

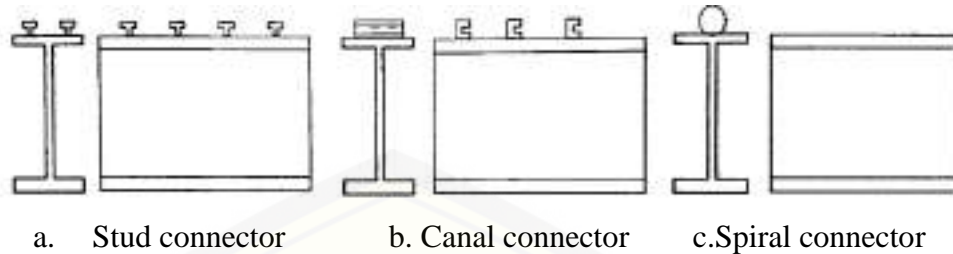
$$Q_n = 0,3 (t_r + 0,5 t_w) L_c \sqrt{f'c \cdot Ec} \quad (2.44)$$

$L_c$  = panjang penghubung geser

$t_r$  = tebal pelat sayap

$t_w$  = tebal pelat badan

## c. Spiral connector



**Gambar 2.4** Macam-macam *Shear connector*  
(Sumber : Ir. As'at Pujiyanto, M.T, 2011)

### 2.3.5 Tangga

Perencanaan tangga merupakan bagian dari perencanaan struktur gedung bertingkat yang sangat penting untuk penunjang antara struktur gedung dasar dengan struktur tingkat di atasnya. Penempatan tangga pada struktur suatu gedung sangat berhubungan dengan fungsi gedung bertingkat yang akan dioperasikan. Perencanaan tangga menggunakan rumus sebagai berikut :

## a. Tinggi pijakan tangga

$$t = \left( \frac{\text{panjang miring tangga} - \text{lebar pijakan}}{2} \right) \quad (2.45)$$

## b. Jumlah tanjakan

$$\text{Jumlah tanjakan} = \frac{\text{tinggi bordes}}{t} \quad (2.46)$$

## c. Jumlah pijakan

$$n = \text{jumlah tanjakan} - 1 \quad (2.47)$$

## d. Untuk mencari sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned} 60 \text{ cm} &< (2t + i) < 65 \text{ cm} \\ 20^\circ &< a < 40^\circ \end{aligned} \quad (2.48)$$

Dimana :

t = tinggi pijakan (cm)

i = lebar pijakan (cm)

a = kemiringan tangga

$$a = \text{arc tg} \left( \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{lebar pijakan} \times \text{jumlah pijakan}} \right) \quad (2.49)$$

## 2.4 Sambungan

Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan SNI-03-1729-2002 pasal 13.1.3. Dimana kuat rencana pada setiap komponen tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Berikut syarat perencanaan sambungan :

- a. Gaya dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan.
- b. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
- c. Sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya yang bekerja padanya.

### 2.4.1 Sambungan Baut

**Tabel 2.4** Tipe-tipe baut

Tipe Baut	Diameter (mm)	<i>Proof Stress</i> (Mpa)	Kuat tarik Min (Mpa)
A307	6,35 – 104	-	60
A325	12,7 – 25,4	585	825
28,6 – 38,1	510	725	-
A490	12,7 – 38,1	825	1035

Sumber : Setiawan. A.2008

#### a. Tahanan nominal baut

##### 1. Tata letak baut (berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 13.4)

$$\text{Jarak tepi minimum} = 1,5 d_{\text{baut}}$$

$$\text{Jarak tepi maksimum} = (4t_{\text{plat}} + 100 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak minimum antar baut} = 3 d_{\text{baut}}$$

$$\text{Jarak maksimum antar baut} = 15t_{\text{plat}} \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

##### 2. Tahanan geser baut

tahanan geser baut (berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.1)

$$V_d = \phi_f \cdot V_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$



Dimana :

$r_1 = 0,5$  = untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_1 = 0,4$  = untuk baut dengan ulir pada bidang geser

$f_u^b$  = tegangan tarik putus baut.

$A_b$  = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

$m$  = jumlah bidang geser

### 3. Tahanan tarik baut

Kuat tarik rencana satu baut dihitung (berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.2)

$$T_d = \phi_f T_n = 0,75 f_u^b . A_b$$

### 4. Tahanan tumpu baut

Kuat tarik rencana satu baut dihitung (berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.4)

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 f^d . t_p . f_u$$

Keterangan :

$d_b$  = diameter baut nominal pada daerah tak berulir

$t_p$  = tebal plat

$f_u$  = tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau plat

### b. Kombinasi geser dan tarik

#### 1. Sambungan tipe tumpu

$$\left[ \frac{R_{ut}}{\phi_t R_{nt}} \right]^2 + \left[ \frac{R_{uv}}{\phi_v R_{nv}} \right]^2 < 1$$

Dimana :

$R_{ut}$  = beban tarik terfaktor pada baut

$R_{uv}$  = beban geser terfaktor pada baut

$\phi_t R_{nt}$  = tahanan rencana pada baut dalam tarik saja

$\phi_v R_{nv}$  = tahanan rencana pada baut dalam geser saja

$\phi_t, \phi_v = 0,75$

$R_{nt}$  dan  $R_{uv}$  masing-masing merupakan tahanan nominal tarik dan geser yang besarnya sebagai berikut :

$$R_{nt} = 0,75 . f_u^b . A_b$$

$$R_{nv} = m . 0,5 . f_u^b . A_b \text{ (untuk baut tanpa ulir di bidang geser)}$$

$$R_{nv} = m \cdot 0,4 \cdot f_u^b \cdot A_b \text{ (untuk baut dengan ulir pada bidang geser)}$$

Ada 2 syarat yang harus dipenuhi dalam merencanakan sambungan untuk memikul kombinasi geser dan tarik.

1.  $f_{uv} = \frac{V_u}{n \cdot A_b} < \begin{cases} 0,5 \cdot \phi \cdot f_u^b \cdot m & \text{(tanpa ulir di bidang geser)} \\ 0,4 \cdot \phi \cdot f_u^b \cdot m & \text{(dengan ulir di bidang geser)} \end{cases}$
2.  $\phi \cdot R_{nt} = \phi \cdot f_t \cdot A_b > \frac{T_u}{n}$

**Tabel 2.5** Nilai  $\phi \cdot f_t$  untuk berbagai tipe baut

Tipe Baut	$\phi \cdot f_t$
A325 dengan ulir di bidang geser	$\phi \cdot (807 - 1,9 f_{uv}) < \phi \cdot 621$
A325 tanpa ulir di bidang geser	$\phi \cdot (807 - 1,5 f_{uv}) < \phi \cdot 621$
A490 dengan ulir di bidang geser	$\phi \cdot (1010 - 1,9 f_{uv}) < \phi \cdot 779$
A490 tanpa ulir di bidang geser	$\phi \cdot (1010 - 1,5 f_{uv}) < \phi \cdot 779$

Sumber : Setiawan. A.2008

## 2. Sambungan tipe friksi

$$\frac{V_u}{n} < \phi \cdot V_n \left( 1 - \frac{T_u / n}{1,13 \times \text{proof load}} \right)$$

Dimana :

$$V_n = 1,13 \cdot \mu \cdot \text{proof load} \cdot m$$

$$\text{Proof load} = 0,75 \times A_b \times \text{proof stress}$$

$$A_b = \text{luas bruto baut}$$

$$T_u = \text{beban tarik terfaktor}$$

$$n = \text{jumlah baut}$$

### 2.4.2 Sambungan Las

#### a. Jenis-jenis las

1. Las tumpul digunakan untuk menyambung batang-batang sebidang, karena las ini harus menyalurkan secara penuh beban yang bekerja. Sehingga las tumpul harus memiliki kekuatan yang sama dengan batang yang disambung.

2. Las sudut merupakan las yang paling banyak digunakan, karena tidak memerlukan presisi tinggi dalam pengerjaannya.
3. Las baji dan pasak biasanya digunakan bersama dengan las sudut. Manfaat dari las baji dan pasak adalah menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatan bila ukuran panjang las terbatas oleh panjang yang tersedia untuk las sudut.

b. Batasan las sudut

**Tabel 2.6** Ukuran minimum las sudut

Tebal plat (mm)	Ukuran minimum las sudut (mm)
$t < 7$	3
$7 < t < 10$	4
$10 < t < 15$	5
$15 < t$	6

Sumber : Setiawan. A.2008

Batas ukuran maksimum las sudut adalah sebagai berikut :

1. Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen.
2. Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen.

c. Luas efektif las

1. Las tumpul

Tebal las tumpul penetrasi penuh adalah tebal pelat yang paling tipis dari komponen yang disambung. Las tumpul digunakan untuk mengelas lebih dari 60°.

2. Las sudut

Tebal efektif las sudut adalah jarak nominal terkecil dari kemiringan las dengan titik sudut di depannya. Tebal efektif las sudut adalah 0,707 a. Las sudut digunakan untuk mengelas kurang dari 45°.

d. Tahanan nominal sambungan las

1. Las tumpul

- Bila sambungan dibebani gaya tarik atau gaya tekan aksial terhadap luas efektif, maka menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,90 \cdot t_e \cdot f_y \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,90 \cdot t_e \cdot f_{yw} \quad (\text{las})$$

- Bila sambungan dibebani gaya geser terhadap luas efektif, maka menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,90 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_y) \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,80 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \quad (\text{las})$$

Dengan  $f_y$  dan  $f_u$  merupakan kuat leleh dan kuat tarik putus.

2. Las sudut

Kuat rencana persatuan panjang, menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \quad (\text{las})$$

3. Las baji dan pasak

Kuat rencana las baji dan pasak, menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\phi \cdot R_{nw} = 0,75 \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \cdot A_w$$

Dimana :

$A_w$  = luas geser efektif las

$f_{uw}$  = kuat tarik putus logam las

## 2.5 Ketentuan Umum Bangunan Gedung Dalam Pengaruh Gempa

### 2.5.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana harus dikalikan  $I_e$  (faktor keutamaan), kategori risiko struktur bangunan sangat dipengaruhi oleh fungsi bangunan tersebut. Berdasarkan SNI 1726-2012 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, seperti pada tabel berikut:

**Tabel 2.7** Kategori Resiko Beban Gempa Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gudang penyimpanan</li> <li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, II, III, dan IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perumahan</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Pasar</li> <li>• Gedung perkantoran</li> <li>• Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>• Pusat perbelanjaan mall</li> <li>• Bangunan industri</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> <li>• Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusat pembangkit listrik biasa</li> </ul>	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas penanganan air</li> <li>• Fasilitas penanganan limbah</li> <li>• Pusat telekomunikasi</li> </ul> <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"> <li>• Bangunan-bangunan monumental</li> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>• Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> </ul>	IV
<p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
<p>(Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa SNI 1726-2012)</p>	



**Tabel 2.8** Faktor Keutamaan Gempa

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

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

### 2.5.2 Kombinasi Pembebanan

Struktur baja harus mampu menahan semua beban kombinasi berdasarkan peraturan SNI 1727-2013 yang berlaku tentang beban minimum perencanaan bangunan gedung dan struktur lain, maka digunakan kombinasi pembebanan sebagai berikut :

1.  $1,4 D$  (2.50)
2.  $D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$  (2.51)
3.  $1,2 D + 1,6 L (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$  (2.52)
4.  $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$  (2.53)
5.  $1,2 D + 1E + L$  (2.54)
6.  $0,9 D + 1,0W$  (2.55)
7.  $0,9 D + 1,0E$  (2.56)

Faktor beban untuk L pada kombinasi 2.4, 2.5 dan 2.6 boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar dari 500 kg/m<sup>2</sup>.

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 2.2 hingga 2.6 dan 2.8.

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

## 2.6 Prosedur Klasifikasi Situs Untuk Desain Seismik

### 2.6.1 Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu berdasarkan profil tanah lapisan 30m paling atas, berdasarkan tabel 2.6 dan 2.7.

Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada suatu situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh ahli geoteknik. Untuk penetapan kelas situs SA dan kelas situs SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit pondasi dan permukaan batuan dasar (SNI -1726-2012).

**Tabel 2.9** Klasifikasi Situs

Kelas Situs	Vs (m/detik)	N atau Nch	Su (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	5 sampai 100

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

**Tabel 2.10** Klasifikasi Situs Lanjutan

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

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

### 2.6.2 Definisi Parameter Kelas Situs

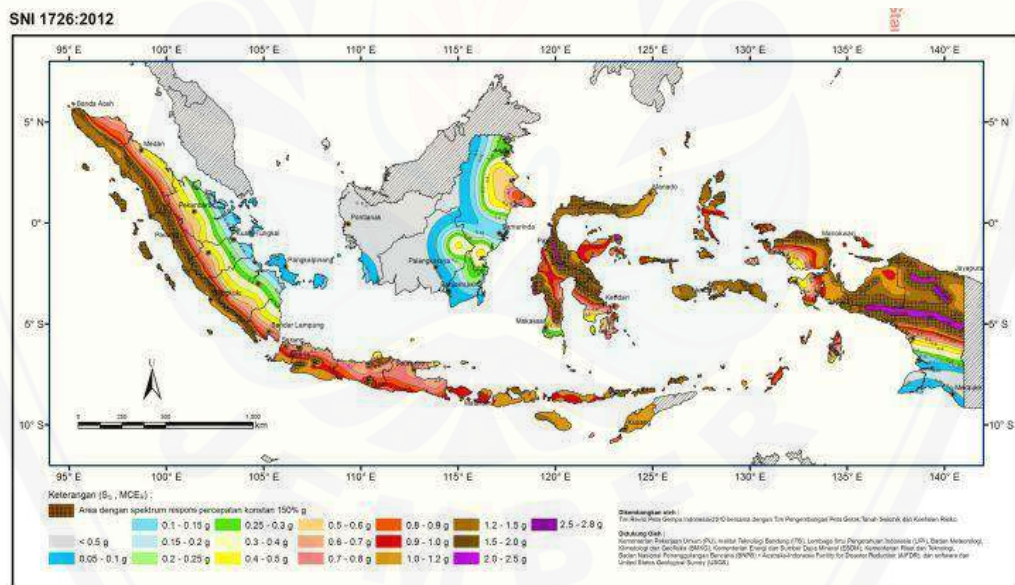
Profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah atau batuan yang nyatanya berbeda, harus dibagi menjadi beberapa lapisan yang diberi nomor ke-1 sampai ke- $n$  dari atas ke bawah, sehingga ada total  $n$ -lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30m paling atas tersebut. Apabila bagian dari lapisan  $n$  adalah kohesif dan yang lainnya non-kohesif, maka nilai  $k$  adalah jumlah lapisan kohesif dan nilai  $m$  adalah jumlah lapisan non-kohesif. Simbol  $i$  mengacu pada lapisan antara 1 dan  $n$  (SNI-1726-2012).

## 2.7 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

### 2.7.1 Parameter Percepatan Gempa

#### a. Parameter Percepatan Terpetakan

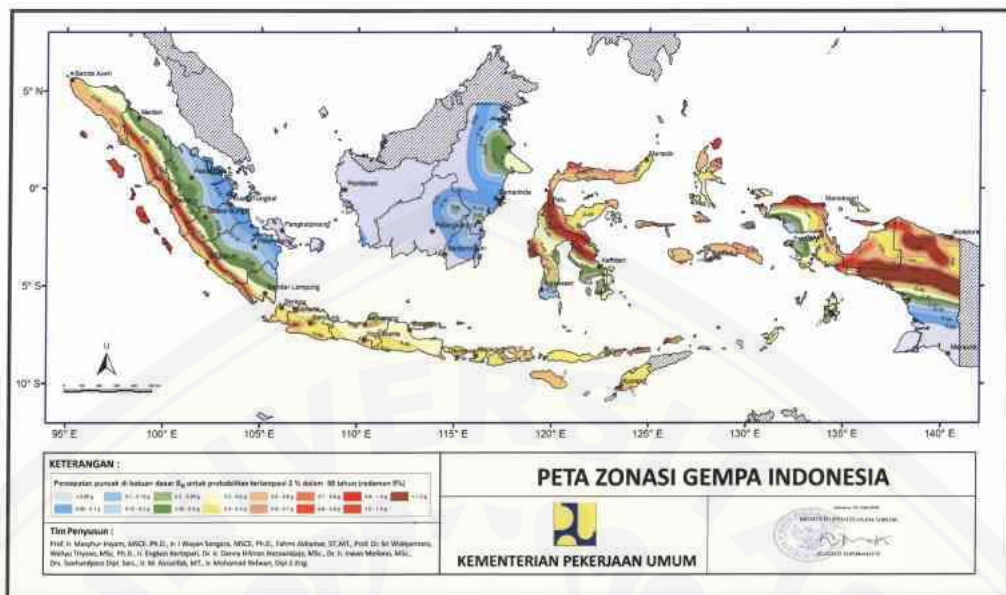
Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun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



**Gambar 2.5**  $S_s$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER), Kelas Situs SB.

(Sumber : SNI-1726-2012)





**Gambar 2.6** S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko tertarget (MCER), Kelas Situs SB.

(Sumber : SNI-1726-2012)

b. Kelas Situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi kelas situs *SA*, *SB*, *SC*, *SD*, *SE*, atau *SF*. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs *SE* dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs *SF* (SNI-1726-2012).

### 2.7.2 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan

pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut:

$$\text{SMS} = F_a \cdot S_s \quad (2.57)$$

$$\text{SM1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.58)$$

Keterangan :

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek.

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

**Tabel 2.11** Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode 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 (batuan keras)	0,8	0,8	0,8	0,8
SB (batuan)	1	1	1	1	1
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	1,2	1,2	1,1	1	1
SD (tanah sedang)	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE (tanah lunak)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF (tanah khusus)	SSb				

**Tabel 2.12** Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
	SA (batuan keras)	0,8	0,8	0,8	0,8
SB (batuan)	1	1	1	1	1
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD (tanah sedang)	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE (tanah lunak)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF (tanah khusus)	SSb				



### 2.7.3 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, SDS dan pada periode 1 detik, SD1, harus ditentukan melalui pertemuan melalui perumusan berikut ini:

$$SDS = \frac{2}{3} SMS \quad (2.59)$$

$$SD1 = \frac{2}{3} SM1 \quad (2.60)$$

### 2.7.4 Spektrum Respon Desain

Bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifikasi situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.7 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk periode yang lebih dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$ , harus diambil dari persamaan

$$S_a = SDS \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.61)$$

2. Untuk periode 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 SDS.

3. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (2.62)$$

Keterangan :

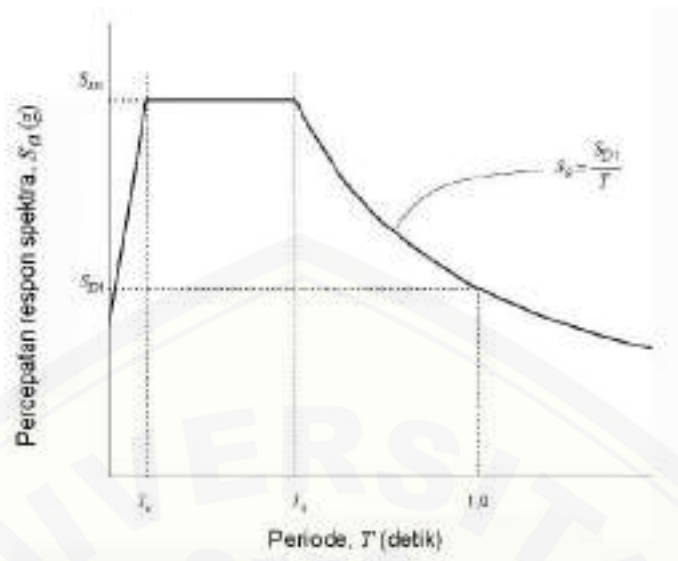
SDS = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

SD1 = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

T = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \quad (2.63)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.64)$$



**Gambar 2.7** Respon spektrum desain

(Sumber : SNI 1726-2012)

### 2.7.5 Sistem Penahan Gaya Seismik

**Tabel 2.13** Faktor  $R_d$ ,  $\Omega_0^g$ ,  $C_d^b$  Pada Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respon, $R_d$	faktor kuat lebih sistem $\Omega_0^g$ ,	faktor pembesaran defleksi $C_d^b$
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5
rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5
Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4
rangka baja pemikul momen biasa	5,5	3	3
rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5
rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5

**Tabel 2.14** Faktor  $R_d$ ,  $\Omega_0^g$ ,  $C_d^b$  Pada Sistem Penahan Gaya Seismik (lanjutan)

Sistem penahan gaya seismik	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
	Kategori desain seismik				
	B	C	Dd	Ed	Fe
Rangka baja pemikul momen khusus	TB	TB	TB	TB	TB
rangka batang baja pemikul momen khusus	TB	TB	5,5	30	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	TB	TB	10 h.i	Tlh	Tli
rangka baja pemikul momen biasa	TB	TB	Tih	Tlh	Tli
rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	TB	TB	TB	TB	TB
rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	TB	TB	TI	TI	TI

### 2.7.6 Gaya Geser Dasar Seismik

Pada saat menentukan waktu getar alami fundamental (T). Digunakan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) untuk syarat yang tidak memiliki 12 tingkat, dimana sistem penahan gaya seismik terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja dimana secara keseluruhan adalah 3 lantai. Didapat sebagai berikut :

$$T_a = 0,10 \times N$$

Dimana N = jumlah lantai.

Berdasarkan SNI 1726-2012 persamaan gaya geser dasar (V)

$$V = C_s \times W \quad (2.65)$$

$$C_s = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.66)$$

$$C_s = \frac{SDS}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.67)$$

$$C_{s_{min}} = 0,044 \times SDS \times I_e \geq 0,01 \quad (2.68)$$

Dimana :

$C_s$  = koefisien respon seismik

$W$  = berat seismik efektif

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Beban gempa dasar nominal  $V$  tersebut, harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekivalen  $F_x$  yang timbul pada setiap lantai gedung. Dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2012 :

$$F_x = \frac{W_x}{W_i} V \quad (2.69)$$

Dimana :

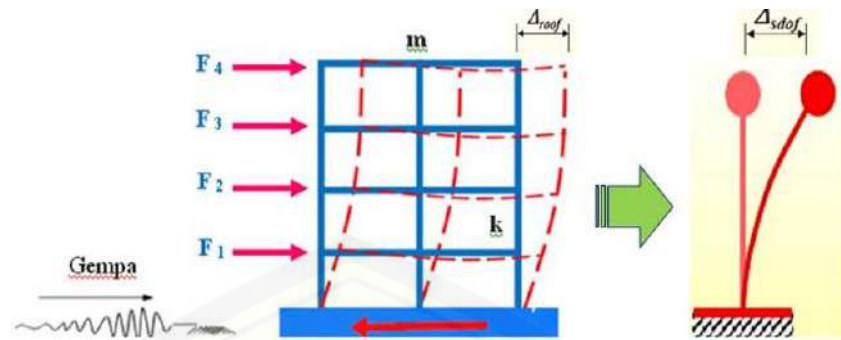
$W_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$ .

$V$  = gaya geser dasar seismik.

$W_i$  = berat total pada lantai bangunan.

## 2.8 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 / koordinat tunggal sehingga dapat dianggap sebagai suatu kesatuan *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan parameter *displacement* yang diukur adalah pada atap. Saat gaya gempa bekerja, maka gedung akan merespon beban gempa dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya dalam tersebut melebihi kemampuan / kapasitas gedung, maka gedung akan berperilaku inelastis apabila sifat struktur cukup daktail tetapi langsung hancur apabila kurang daktail (Afandi,2010).



**Gambar 2.8** Respon Struktur

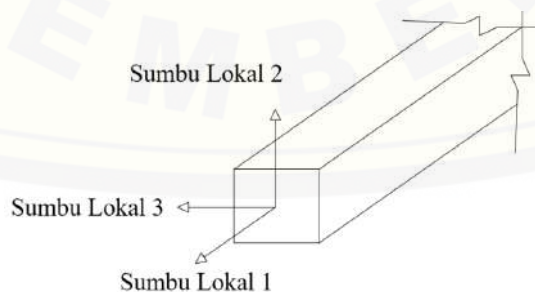
(Sumber : jurnal analisis desain gedung whiz hotel metode SRPMK)

## 2.9 Sendi Plastis

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 terlebih dahulu. Apabila kolomnya runtuh terlebih dahulu, maka struktur tersebut langsung hancur (Afandi,2010).

### 2.9.1 Hinge Propertis Balok

Data *hinge propertis* dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model momen M3, yaitu artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada gambar 2.9.



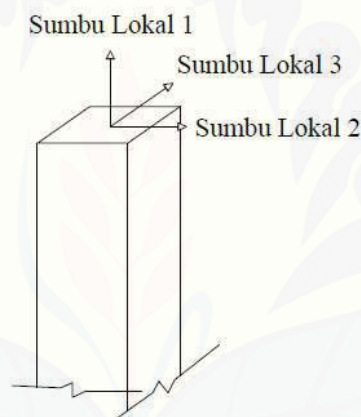
**Gambar 2.9** Posisi Sumbu Lokal Balok Struktur

(Sumber : jurnal analisis *pushover* pada gedung tidak beraturan dengan studi kasus pada gedung baru UNIBRAW)



### 2.9.2 Hinge Propertis Kolom

Data *hinge propertis* 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 terbesar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada gambar 2.10



**Gambar 2.10** Posisi Sumbu Lokal Kolom

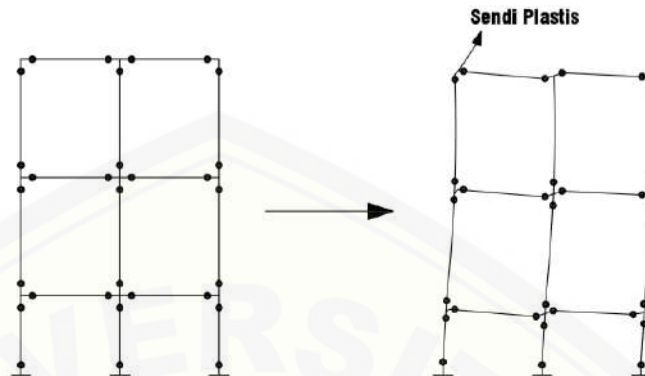
(Sumber : jurnal analisis *pushover* pada gedung tidak beraturan dengan studi kasus pada gedung baru UNIBRAW)

### 2.9.3 Penentuan Letak Sumbu Plastis

Setelah definisi data *hinge propertis* balok dan kolom adalah penentuan letak 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 2.11** Sendi Plastis yang Terjadi Pada Balok Kolom

### 2.10 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.

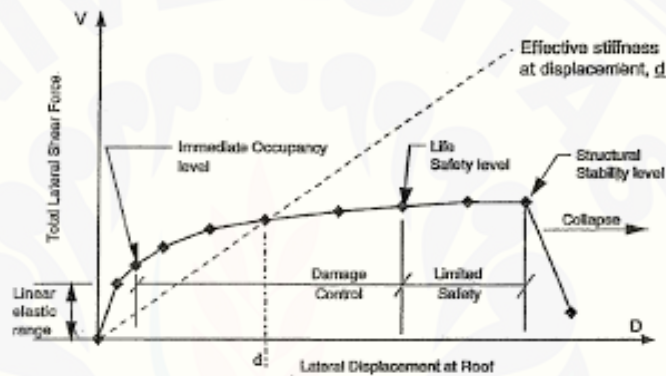
#### 2.9.1 Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40)

Metode Spektrum Kapasitas atau *Capacity Spectrum Method* (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Dalam

analisis *pushover* nonlinier ini didapatkan kurva kapasitas yang kemudian diolah lebih lanjut dengan metode spektrum kapasitas (ATC-40).

a. Kinerja struktur metode ATC-40

Ada beberapa tingkat kinerja yang sesuai ATC-40, dimana tingkatan kinerja digambarkan pada kurva hubungan antara perpindahan lateral dengan besar gaya yang bekerja atau kurva kapasitas. Kurva tersebut ditunjukkan pada gambar 2.12. Kurva kapasitas menggambarkan plot dari total gaya geser dasar akibat gempa pada struktur, untuk berbagai kenaikan pembebanan dan perpindahan lateral gedung pada tingkat gaya lateral tertentu.



**Gambar 2.12** Tipikal Kurva Kapasitas Pada Berbagai Tingkat Kinerja Struktur

(Sumber : ATC-40, 1996 : 6-6)

Tujuan utama dari desain berbasis kinerja yaitu untuk menentukan tingkat kinerja yang diinginkan dari bangunan. Kinerja seismik digambarkan dengan menetapkan tingkat kerusakan maksimum yang diijinkan (*performance level*) untuk mengidentifikasi bahaya gempa. Berikut deskripsi level kinerja bagaimana kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan yang diijinkan terhadap level kinerja tertentu. Berikut tabel tingkat kinerja struktural.

*Tabel 2.3 Tingkat Kinerja Struktural*

Tingkat kinerja	Kondisi bangunan pasca gempa	Kategori bangunan
SP-1 <i>Immediate Occupancy</i> ( IO)	Bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana

Tingkat kinerja	Kondisi bangunan pasca gempa	Kategori bangunan
	kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan, dan dapat difungsikan kembali.	penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan yang dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya rumah sakit, gudang bahan bakar / bahan berbahaya dll.
SP-2 <i>Damage Control</i> (DO)	Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
SP-3 <i>Life Safety</i> (LS)	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa (resiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non-struktural.	Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gudang, dll
SP-4 <i>Limited Safety</i>	Merupakan transisi antara SP-3 dan SP-4 dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.	-
SP-5 <i>Structural Stability</i> (SS)	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga ambang keruntuhan total	-

Tingkat kinerja	Kondisi bangunan pasca gempa	Kategori bangunan
	maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun seluruh kestabilan sudah diimbang keseluruhan.	
SP-6 <i>Not Considered</i>	Bukan merupakan tingkat kinerja struktur, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi seismik non-struktural atau <i>retrofit</i> .	-

(Sumber : ATC-40, 1996 : 3.2)

b. Titik kinerja struktur metode ATC-40

Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi dari masing-masing komponen struktur. Untuk merubah kurva kapasitas hasil *pushover* menjadi kapasitas spektrum seperti pada gambar 2.13 melalui persamaan :

$$S_a = \frac{V}{\alpha_1} \quad (2.70)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \Phi_{roof1}} \quad (2.71)$$

$$PF = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1}^2)}{g}} \right] \quad (2.72)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1})}{g} \right] \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(w_i \Phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad (2.73)$$

dimana :

$S_a$  = Spectral acceleration

$S_d$  = Spectral displacement

$PF_1$  = modal participation untuk modal pertama

$\alpha_1$  = modal massa coefficient untuk modal pertama

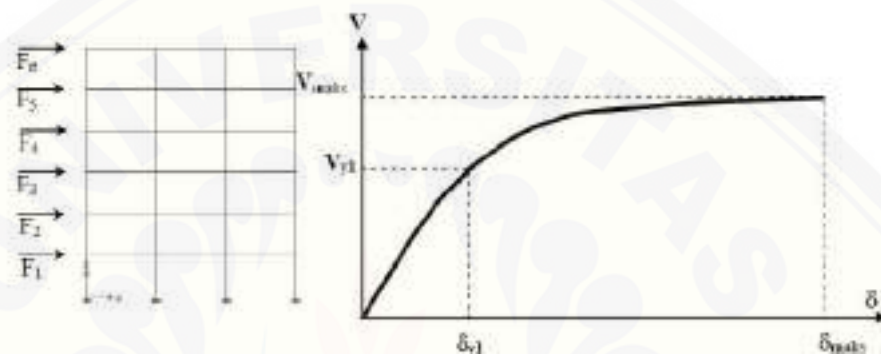
$\Phi_{i1}$  = amplitude of first untuk level i

V = gaya geser dasar

W = berat mati bangunan ditambah beban atap

$\Delta_{roof}$  = roof displacement

$W_i/g$  = massa pada level i



**Gambar 2.13** Struktur Bangunan yang Mendapat Beban Gempa dan Spektrum Kapasitas

(Sumber : SNI-1726-2002)

Keterangan :

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

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

$\delta_{V1}$  = Gaya geser saat leleh pertama

$\delta_{maks}$  = Gaya geser saat leleh terakhir

### c. Daktilitas

Nilai target peralihan ( $\delta_t$ ) digunakan sebagai parameter peralihan ultimit ( $\delta_u$ ) dalam perhitungan parameter daktilitas peralihan aktual struktur. Titik leleh pertama ( $\delta_y$ ) ditentukan dengan menggunakan metode luas area ekuivalen atau kurva idealisasi yang sama dengan kurva kapasitas. Nilai daktilitas ( $\mu\Delta$ ) diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$\mu\Delta = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (2.74)$$

Dimana :



$\mu\Delta$  = daktilitas struktur

$\delta u$  = peralihan pada kondisi ultimit atau target peralihan

$\delta y$  = peralihan pada saat leleh pertama

Tingkat kinerja struktur berhubungan dengan target pilihan yang diharapkan pada tahap pra-desain (ATC, 1996; 2000; 2004), sehingga dalam hal ini peralihan pada kondisi target peralihan ( $\delta t$ ) diasumsikan sebagai peralihan ultimit ( $\delta u$ ) dalam menentukan parameter daktilitas.

d. Batasan Deformasi

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terhadap deformasi limit yang ditetapkan dalam ATC-40, 1996 bab 11.3.3. deformasi limit pada berbagai tingkat kinerja dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2.16** Batas Deformasi Bangunan Gedung

	Tingkat Kinerja			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Interstory Drift Limite (batas simpangan antar lantai)	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33
DSAA Maximum total drift (simpang total maks)	0,01	0,01 – 0,02	0,02	Vi/Pi
Maximum inelastic drift (simpangan inelastis maks)	0,005	0,005 – 0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

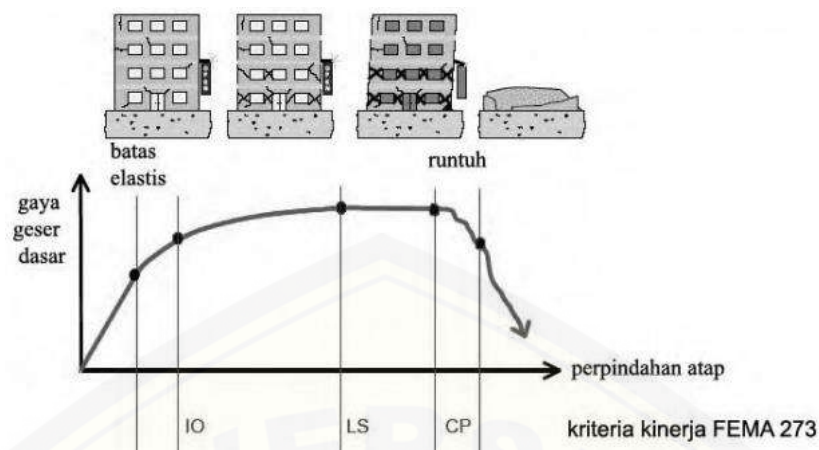
(Sumber : ATC-40, 1996)

### 2.9.2 Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

d. Kinerja Struktur FEMA 356

Berdasarkan FEMA 356 maka kinerja struktur bangunan saat terjadi gempa dibagi menjadi beberapa kategori dan dapat dilihat pada gambar 2.14. Dimana tingkat kinerja pada FEMA 356 ini secara garis besar sama dengan tingkat kinerja dalam ATC-40. Sedangkan kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur berbeda, kondisi tersebut diuraikan pada tabel 2.14.





**Gambar 2.14** Tingkat kinerja struktur

(Sumber : FEMA 273 / 356)

**Tabel 2.17** Kondisi Bangunan Pasca Gempa dan Kategori Bangunan Pada Tingkat Kinerja Struktur.

Tingkat kinerja	Kondisi bangunan pasca gempa	Kategori bangunan
<i>Operational</i>	Bangunan tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun non-struktural. Secara spesifik hal ini ditandai dengan tidak ada pergeseran permanen pada bangunan, sebagian besar struktur dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya, sedikit retak serta semua sistem penting pada gedung dapat beroperasi dengan normal.	-
<i>Immediate Occupancy</i>	Bangunan tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktural. Kekuatan dan kekakuan gedung masih hampir sama dengan kondisi sebelum struktur dilanda gempa. Pada komponen non-struktural, peralatan, dan isi gedung umumnya masih aman, tetapi secara operasional tidak dapat bekerja karena kegagalan mekanik atau kurangnya utilitas.	Rumah sakit, gudang bahan bakar / bahan berbahaya, dll

Tingkat kinerja	Kondisi bangunan pasca gempa	Kategori bangunan
<i>Life Safety</i>	Dalam kategori ini berarti bangunan pasca gempa terjadi beberapa kerusakan komponen struktur dan kekuatan serta kekakuannya berkurang. Struktur masih mempunyai kekuatan cukup untuk memikul beban-beban yang terjadi pada ambang keruntuhan. Komponen non-struktural masih ada tetapi tidak dapat berfungsi dan dapat digunakan kembali apabila telah dilakukan perbaikan.	Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gudang dll

(Sumber : FEMA 356)

e. Titik Kinerja Struktur FEMA 356

Metode koefisien perpindahan FEMA 356 adalah suatu metode pendet yang menyediakan perhitungan numerik langsung dari perpindahan global maksimum pada struktur. Dimana prosedur dimulai dengan penetapan waktu getar efektif ( $T_e$ ) yang memperhitungkan kondisi elastik bangunan. Berikut rumus untuk mencari waktu getar efektif :

$$T_e = T_1 \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.75)$$

Dimana :

$T_e$  = waktu getar efektif

$T_1$  = waktu getar elastik

$K_i$  = kekakuan lateral elastik

$K_e$  = kekakuan lateral efektif

Kekakuan lateral efektif ditentukan tergantung dari perilaku struktur.

Kekakuan efektif dihitung dengan persamaan berikut :

$$K_e = \frac{0,6 \times V_y}{0,6 \times \Delta y} \quad (2.76)$$

Kemudian 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 ( $\delta_T$ ).

$$\delta_T = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{4\pi}\right)^2 \cdot g \quad (2.77)$$

$\delta_T$  = target perpindahan

$C_0$  = faktor modifikasi untuk perpindahan spektral menjadi perpindahan atap / puncak (lantai teratas yang tidak dihuni).

$C_1$  = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastis linier.

$$C_1 = 1,0 \text{ untuk } T_e \geq T_s \quad (2.78)$$

$$C_1 = \frac{[1,0 + (R-1)\frac{T_s}{T_e}]}{R}, \text{ untuk } T_e < T_s \quad (2.79)$$

$T_s$  = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respon spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.

$R$  = rasio kaku elastik perlu terhadap kuat leleh terhitung.

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (2.80)$$

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

$V_y$  = gaya geser dasar pada saat leleh.

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

$C_m$  = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif.

$g$  = percepatan gravitasi  $9,81 \text{ m/det}^2$ .

### 2.9.3 Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 440)

Metode FEMA 440 merupakan metode pengembangan dari metode koefisien perpindahan FEMA 356. Secara garis besar, dasar dalam perhitungan metode FEMA 440 ini sama dengan FEMA 356, yaitu dengan hasil akhir menentukan nilai target perpindahan. Perbaikan tersebut untuk menentukan parameter  $C_1$  dan  $C_2$ . Perhitungan tersebut ditentukan dengan persamaan berikut :

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{a \cdot T_e^2} \quad (2.81)$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T_e} \right)^2 \quad (2.82)$$

Dimana :

a = konstanta (nilainya = 130, 90 dan 60 untuk *site* kategori B, C dan D)

1. 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.
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.

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Umum**

Metode penelitian adalah salah satu kerangka pendekatan pola pikir bagaimana suatu penelitian akan dilaksanakan. Tujuan dari adanya suatu metodologi penelitian adalah untuk mengarahkan proses berfikir dan proses kerja untuk menjawab permasalahan dalam suatu penelitian. Pada bab ini membahas tentang metode penelitian yang berisi penjelasan mengenai pemilihan metode penelitian, proses penelitian, variabel dan ukuran penelitian, serta metode analisis yang digunakan.

### **3.2 Konsep Penelitian**

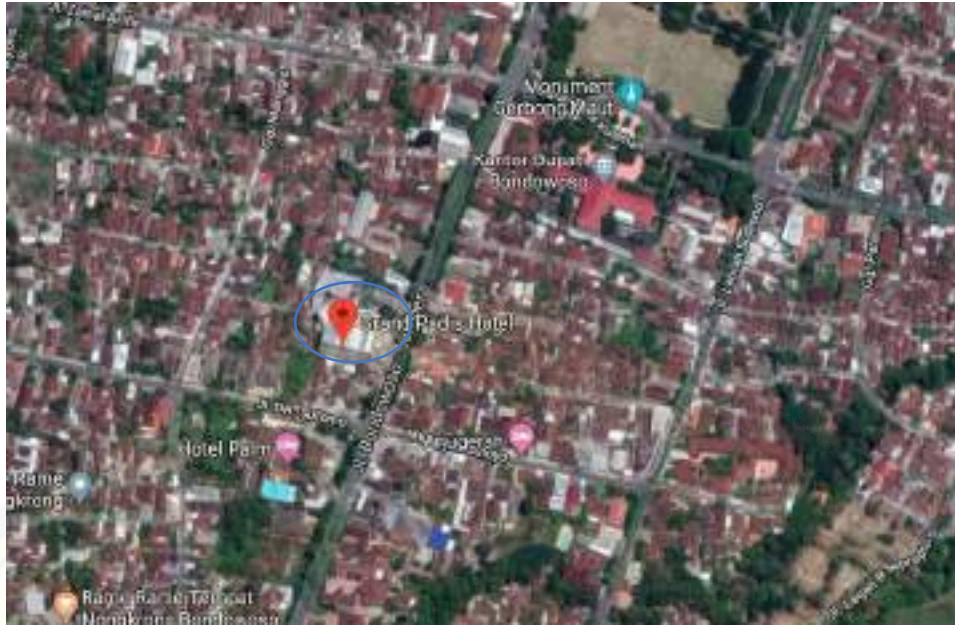
Penelitian ini merupakan studi kasus yang bertujuan untuk merencanakan ulang Hotel Grand Padis dengan struktur baja tahan gempa, yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pembaruan konstruksi gedung atau perencanaan konstruksi gedung yang sama.

### **3.3 Rancangan Penelitian**

#### **3.3.1 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian yang dilakukan yaitu pada proyek pembangunan Hotel Grand Padis. Pembangunan Hotel Grand Padis ini terdapat di jalan Ahmad Yani No.28, Kelurahan Badean, Bondowoso. Lokasi spesifik penelitian pada pembangunan Hotel Grand Padis adalah berikut:





**Gambar 3.1** Lokasi Proyek Hotel Grand Padis

(Sumber : <http://maps.google.com> )

### 3.3.2 Denah Gedung

Gedung hotel Grand Padis didesain memiliki 6 lantai, namun pada tugas akhir ini penulis merencanakan ulang gedung tersebut menjadi 8 lantai, dengan tinggi total bangunan 35 meter. Denah bangunan selengkapnya dijelaskan pada lampiran.

### 3.4 Hipotesis Penelitian

Dengan dilakukan analisa struktur baja berdasarkan SNI-03-1729-2015, maka dapat dilakukan pemilihan tindakan koreksi yang tepat, guna meminimalisir dan mengantisipasi kesalahan serta ketidak sesuaian dalam perencanaan konstruksi gedung.

### 3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah hal penting yang harus dilakukan agar analisis ini dapat berjalan. Semua data yang diperlukan dalam analisis ini diperoleh dari PT.



Dwi Bintang Perkasa. Adapun data yang diperoleh untuk melaksanakan analisis ini antara lain :

- a. Gambar denah struktur gedung dengan bentuk 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 yaitu 250 Mpa.
- d. kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) yang dipergunakan adalah U39
- e. Bondowoso termasuk zona gempa 3.

### 3.6 Tahapan Pemodelan

- a. Pengumpulan data.
- b. Tahap pertama merupakan persiapan pengumpulan data yang akan dilakukan untuk mendukung perencanaan struktur.
- c. Preliminary design

Tahap kedua yaitu menghitung perencanaan balok anak, perhitungan gedung dan perencanaan tangga.

- d. Pembebanan struktur utama

Tahap ketiga merupakan perhitungan pembebanan struktur utama yang meliputi:

1. Beban mati

Merupakan beban seluruh unsur konstruksi bangunan gedung yang bersifat tetap, serta peralatan yang tidak terpisahkan dari gedung.

2. Beban hidup

Merupakan semua beban yang diakibatkan oleh penghuni dan pengguna suatu bangunan atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan.

3. Beban Gempa (respon spektrum)

Merupakan beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang bergerak sesuai arah gerakan tanah akibat gempa bumi. Untuk menghitung beban gempa maka harus menentukan lokasi

struktur yang akan dianalisis dan menentukan karakteristik tanah setempat.

e. **Pemodelan SAP**

Tahap keempat melakukan pemodelan struktur bangunan menggunakan SAP, sehingga diperoleh hasil pemodelan.

f. **Kontrol Validasi SAP**

Tahap ini merupakan tahap paling penting yang menentukan hasil dari perencanaan gedung. Apabila hasil kontrol desain balok induk, penampang dan kolom tidak memenuhi syarat, maka perencanaan struktur gedung diulang ke tahap ketiga yaitu preliminary design. Jika hasil kontrol desain memenuhi syarat, maka perencanaan dilanjutkan ke tahap perencanaan sambungan.

g. **Analisis Kekuatan Struktur**

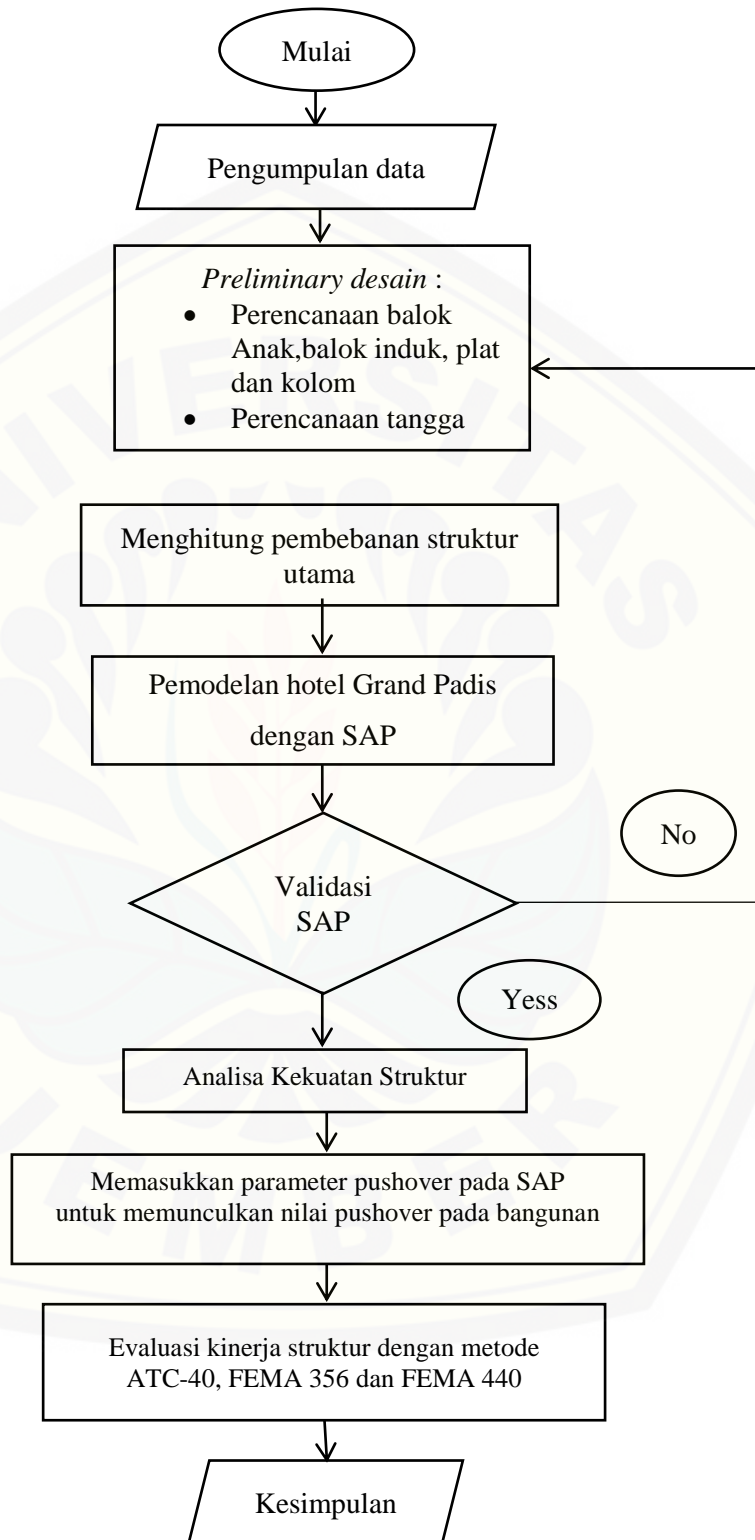
Tahap keenam melakukan analisis struktur gedung (beban gempa diperbesar hingga terjadi kondisi leleh pada struktur penahan beban lateral).

h. **Evaluasi Kinerja struktur**

Tahap ketujuh melakukan evaluasi kinerja struktur dengan metode ATC-40, FEMA-440, dan SNI 1726-2012.

i. **Mengambil kesimpulan**

### 3.7 Flowchart



**Gambar 3.2** Flowchart

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pada bangunan hotel Grand Padis, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dimensi dari struktur yang digunakan adalah sebagai berikut :
  - a. Profil balok :
    - B1 : WF 450. 300. 11. 18
    - B2 : WF 450. 200. 9. 14
    - B3 : WF 300. 200. 9. 14
    - B4 : WF 300. 200. 8. 12
    - B5 : WF 500. 200. 10.16
    - B6 : WF 600. 300. 14. 23
  - b. Profil kolom :
    - K1 : WF 400.400. 16. 24
    - K2 : WF 400. 400. 30. 50
    - K3 : WF 400. 400. 45. 70
    - K4 : WF Heavy 538. 432. 45. 90
    - K5 : WF Heavy 538. 477. 60. 90
    - K6 : WF Heavy 538. 477. 90. 90
  - c. Tebal dan diameter tulangan plat :
    - Tebal plat lantai 12 cm, dengan tulangan atas  $\phi$ 10-125 cm dan tulangan bagi  $\phi$ 8-200 cm.
    - Tebal plat atap 10 cm, dengan tulangan atas  $\phi$ 10-125 cm dan tulangan bagi  $\phi$ 8-200 cm.
  - d. Sambungan yang digunakan adalah sambungan baut dan sambungan las, untuk detail gambar dapat dilihat pada lampiran
  - e. Momen maksimum pada balok terletak pada frame 846 dengan nilai sebesar 419646,0 N/m, sedangkan momen maksimum pada kolom terletak pada frame 1133 dengan nilai sebesar -3602087 N/m.

2. Hasil evaluasi kinerja struktur gedung berdasarkan ATC-40, FEMA-356 dan FEMA-440 menunjukkan bahwa kondisi gedung aman, hal tersebut dibuktikan bahwa nilai *displacement* pada ketiga metode tersebut tidak ada yang melebihi dari syarat SNI-1726-2012, Selain itu jika dilihat dari nilai *drift ratio* tingkat kinerja struktur termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* yang artinya bangunan masih aman untuk kegiatan operasional setelah terjadi gempa, ada kerusakan yang bersifat minor, namun perbaikannya tidak mengganggu pemakaian bangunan.

## 5.2 Saran

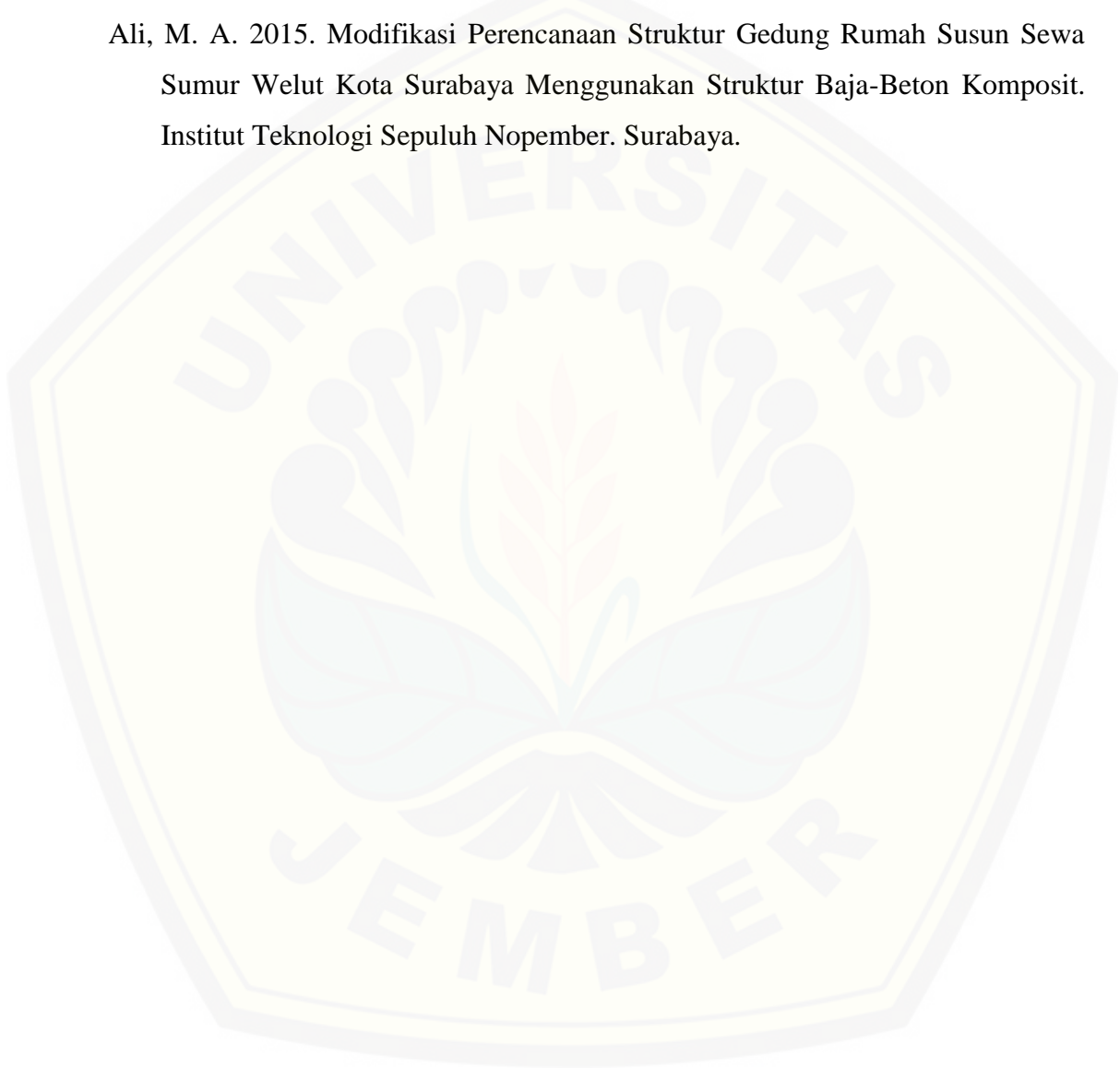
Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil perhitungan dan analisis dalam tugas akhir ini adalah memperhatikan konfigurasi struktur gedung, kemudian melakukan analisis evaluasi kinerja struktur gedung dengan zona gempa yang lebih tinggi, dan memperhitungkan struktur bangunan bawah.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Agustina, A. 2016. Analisis Model Keruntuhan Gedung C-DAST II Akibat Gaya Gempa Dengan Menggunakan Metode Statik Nonlinier. *Skripsi*. Jember : Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Alrasyid, H dan I. Mudji. Perbandingan Prosedur Evaluasi Analisis Nonlinier FEMA 356 dan FEMA 440. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI-1726-2012. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan struktur Lain SNI 1727-2013. Badan Standarisasi Nasional: Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 03-1729-2015. Badan Standarisasi Nasional: Bandung.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1993. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan: Bandung.
- Firdauzy, F. A. dan C. Remayanti. Perencanaan Alternatif Struktur Baja Gedung PTIIK Universitas Brawijaya Malang Mengacu Pada SNI 1729-2015. Universitas Brawijaya Malang.
- Iskandar, C. 2018. Perencanaan Gedung Asrama Empat Lantai di Jember dengan Struktur Baja. *Skripsi*. Jember : Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Putri, M. D. S, G. E. Wibowo, S. Tadjono dan H. Wibowo. 2017. Redesain Struktur Gedung Kuliah Umum Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Menggunakan Konstruksi Baja Berdasarkan SNI 1729-2015 dan SNI 7972-2013. Universitas Diponegoro.
- Setiawan, Agus. 2008. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, Erlangga, Jakarta.

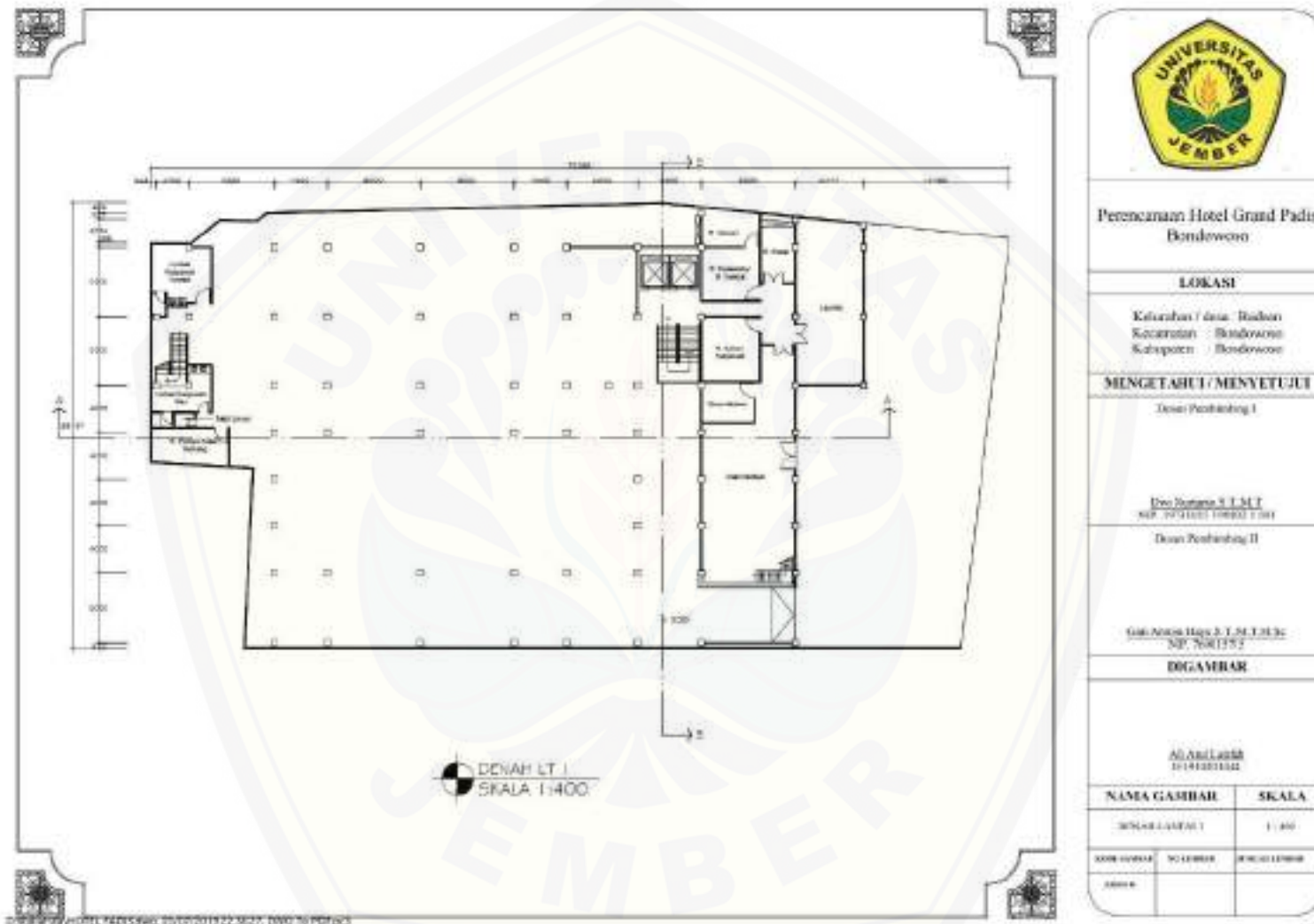


- Yanti, N. T. 2017. Perencanaan Ulang Struktur Atas Gedung Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Malang Menggunakan Konstruksi Baja Komposit dengan Metode LRFD. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Yehezkiel, H. D. 2012. Analisis Pushover Pada Bangunan Dengan Soft First Story. Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Ali, M. A. 2015. Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Rumah Susun Sewa Sumur Welut Kota Surabaya Menggunakan Struktur Baja-Beton Komposit. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.





**LAMPIRAN**



**Perencanaan Hotel Grand Padis  
Bondowoso**

**LOKASI**

Kelurahan / Desa : Bondon  
Kecamatan : Bondowoso  
Kabupaten : Bondowoso

**MENGETAHUI / MENSETUJUI**

Desain Pembimbing I

Desi Nuraini S.T.M.T.  
NIP. 70110011000011001

Desain Pembimbing II

Gani Anissa Hary S.T.M.T.S.E.  
NIP. 70011971

**DIGAMBAR**

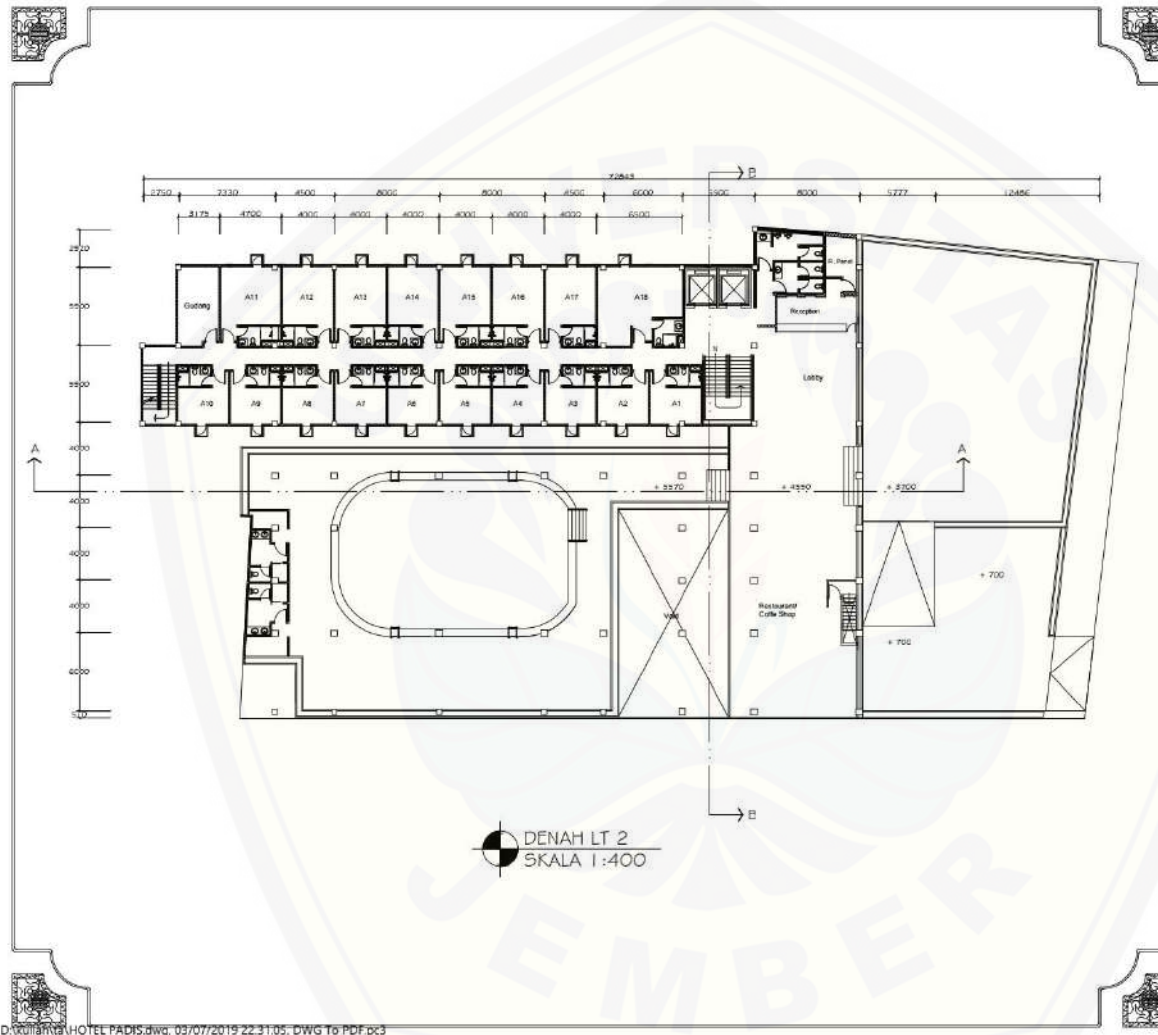
Al Anis Luthfi  
ID 141021002

**NAMA GAMBAR SKALA**

DENAH LANTAI 1	1 : 400
----------------	---------

KORIDOR	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
---------	-----------	---------------

00000		
-------	--	--



**Perencanaan Hotel Grand Padis  
Bondowoso**

**LOKASI**

Kelurahan / desa : Badean  
Kecamatan : Bondowoso  
Kabupaten : Bondowoso

**MENGETAHUI / MENSETUJUI**

Dosen Pembimbing I

Dwi Nurtanto S.T.,M.T  
NIP. 19731015 199802 1 001

Dosen Pembimbing II

Gati Annisa Haru S.T.,M.T.,M.Sc  
NIP. 760015715

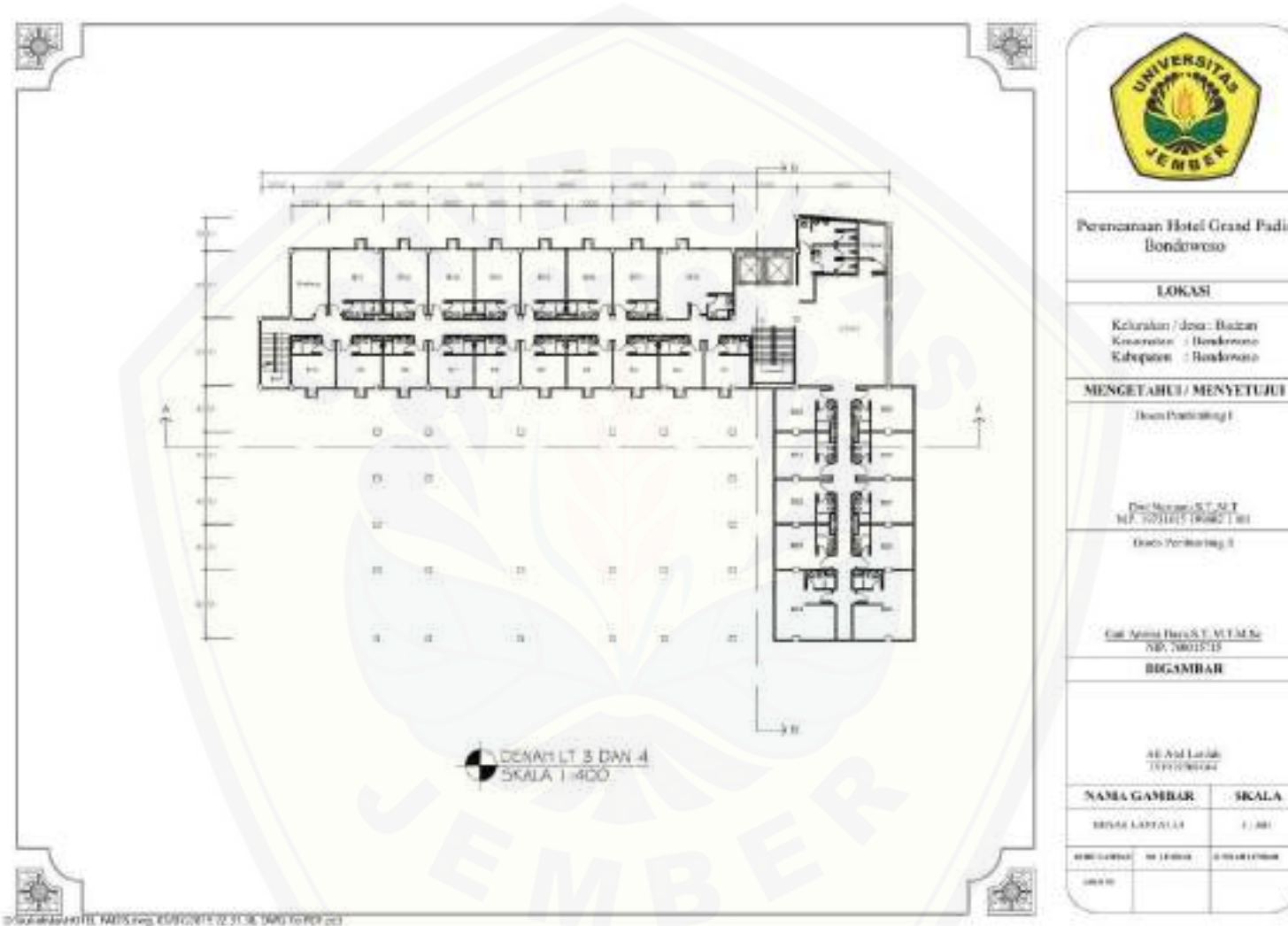
**DIGAMBAR**

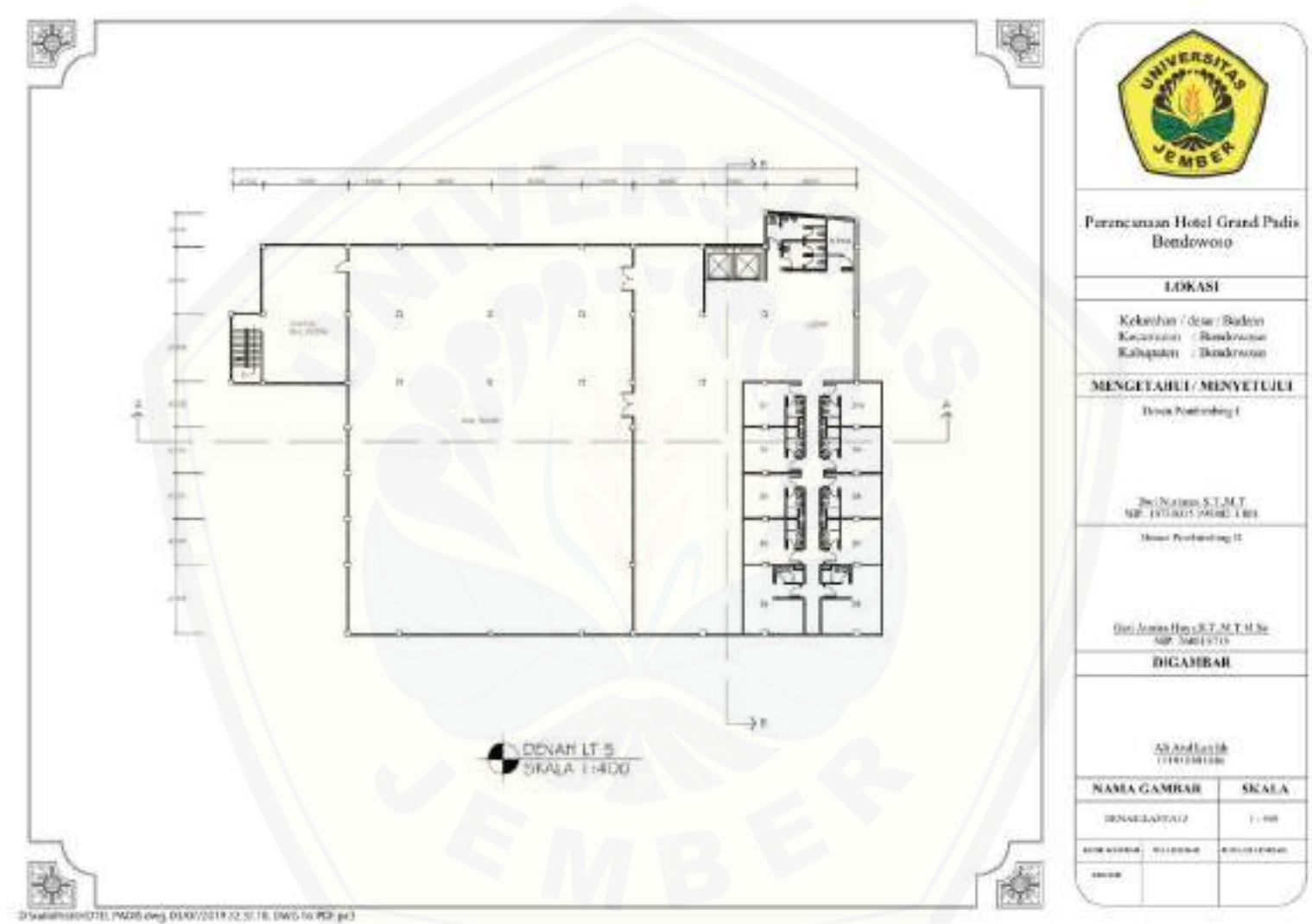
Afi Atal Latifah  
151910301044

NAMA GAMBAR	SKALA
-------------	-------

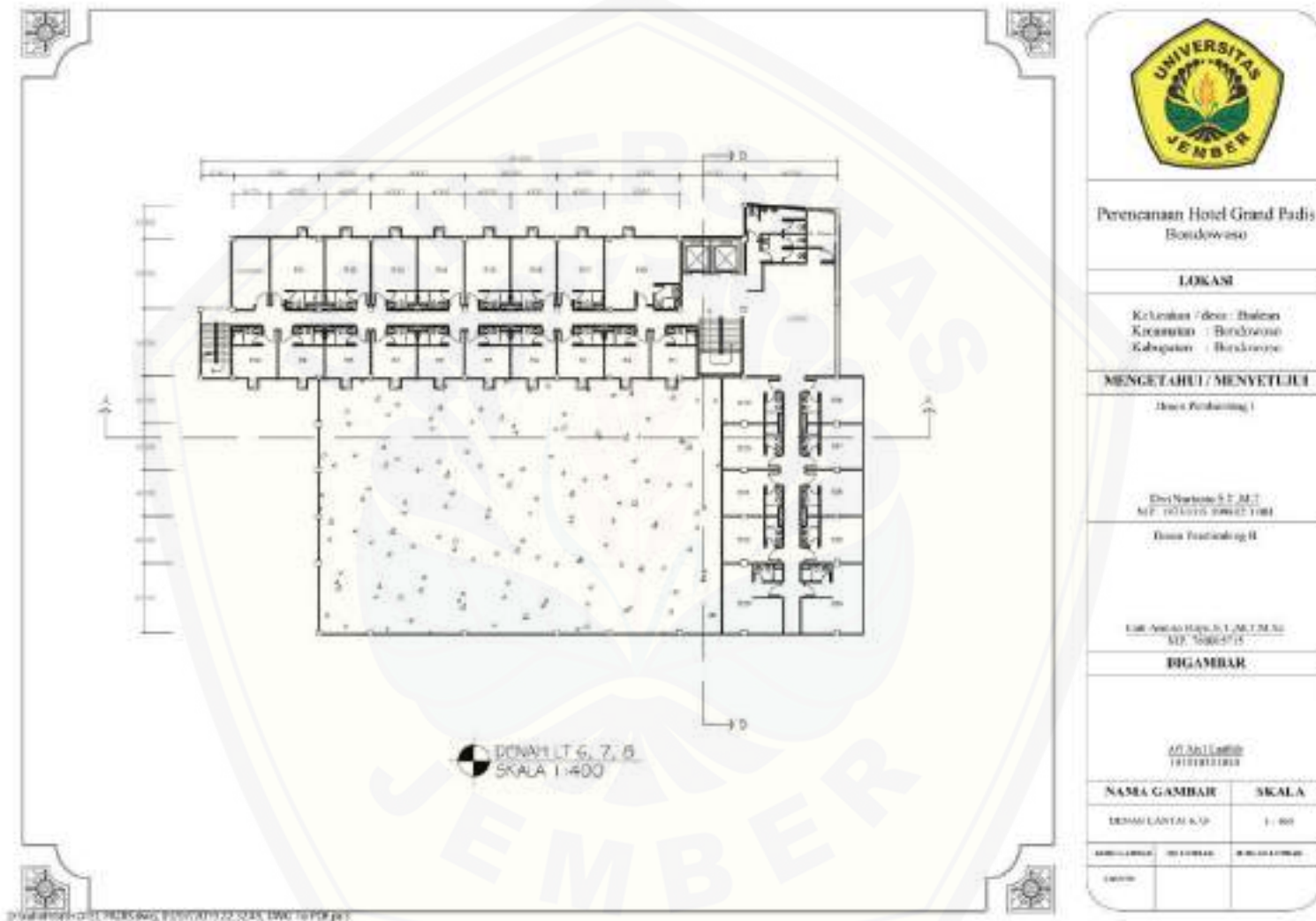
DENAH LANTAI 2	1 : 400
----------------	---------

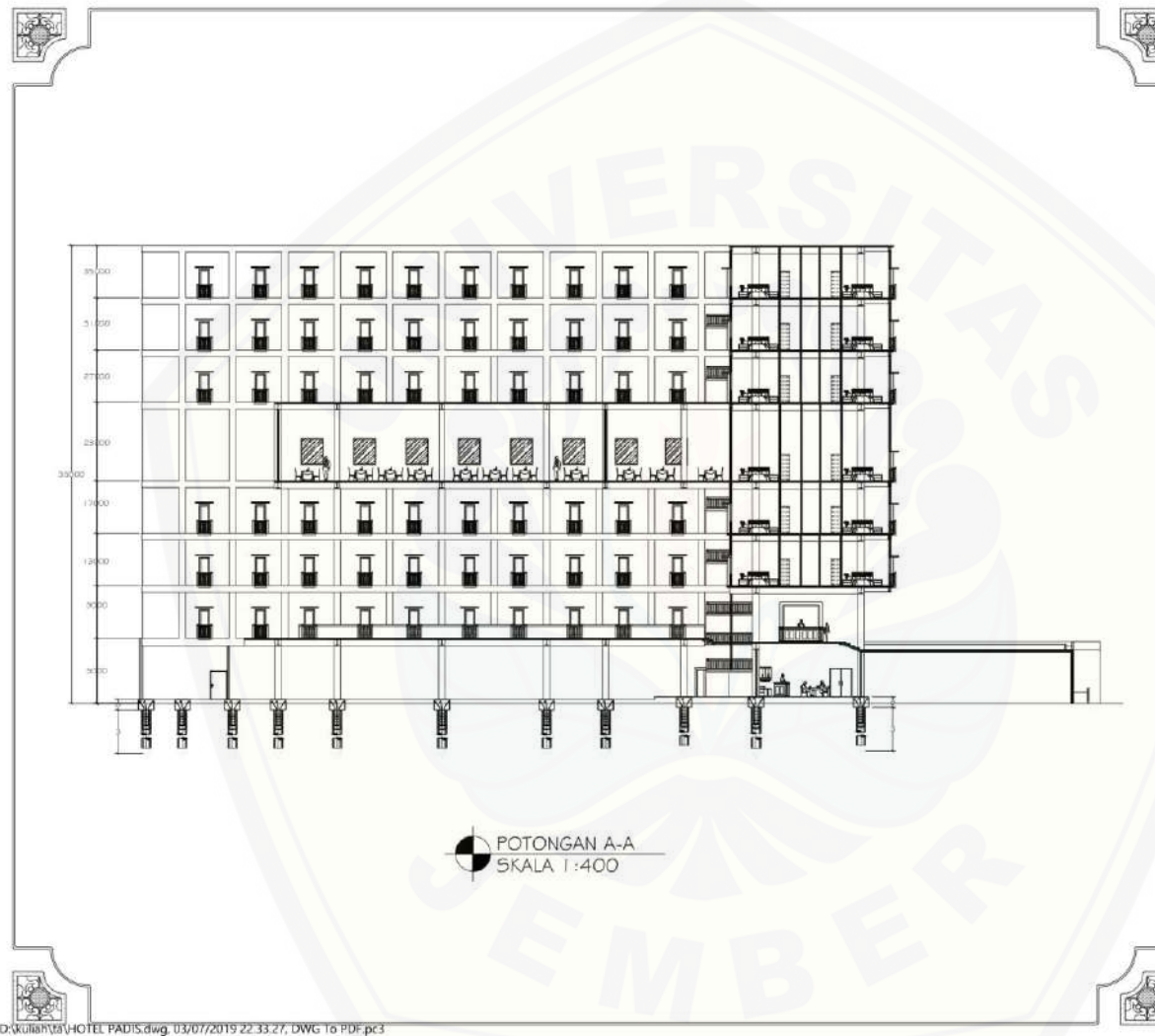
KODE GAMBAR	NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARSSTR		











Perencanaan Hotel Grand Padis  
Bondowoso

**LOKASI**

Kelurahan / desa : Badean  
Kecamatan : Bondowoso  
Kabupaten : Bondowoso

**MENGETAHUI / MENYETUJUI**

Dosen Pembimbing I

Dwi Nurtanto S.T.,M.T  
NIP. 19731015 199802 1 001

Dosen Pembimbing II

Gati Annisa Hayu.S.T.,M.T,M.Sc  
NIP. 760015715

**DIGAMBAR**

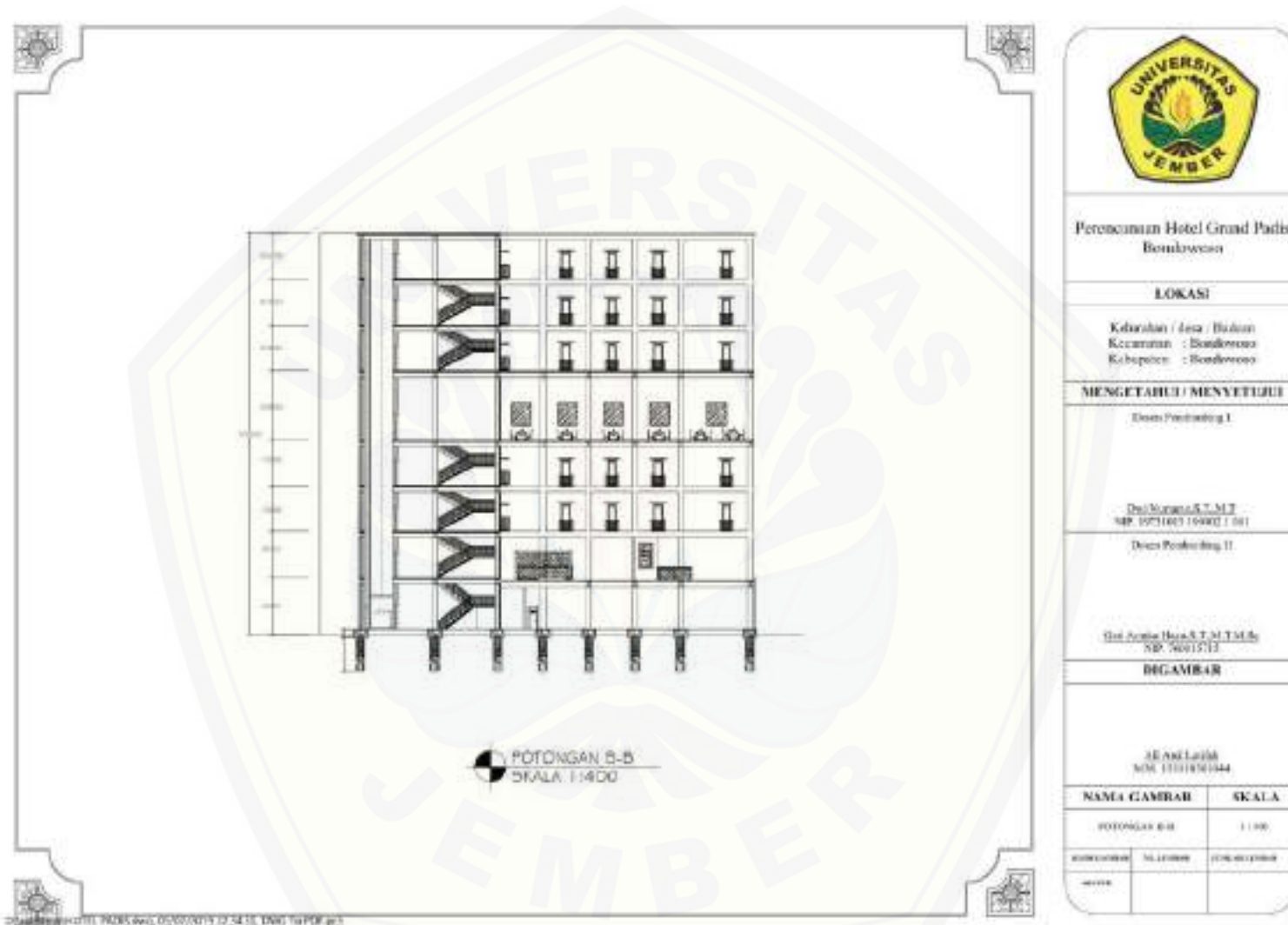
Afi Atul Latifah  
151910301044

NAMA GAMBAR		SKALA
POTONGAN A-A		1 : 400
KODE GAMBAR	NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS/STR		

POTONGAN A-A

1 : 400

KODE GAMBAR	NO. LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS/STR		



Perencanaan Hotel Grand Paris  
Bomawasa

**LOKASI**

Kelurahan / Desa / Kecamatan : Bomawasa  
Kabupaten : Bomawasa

**MENGETABUI / MENSETUJUI**

Dosen Pembimbing I

Drs. Murni S.T.M.T  
NIP. 19731003 199001 001

Dosen Pembimbing II

Drs. Anisa Haris S.T.M.T.M.Eng  
NIP. 20015113

**DIGAMBAR**

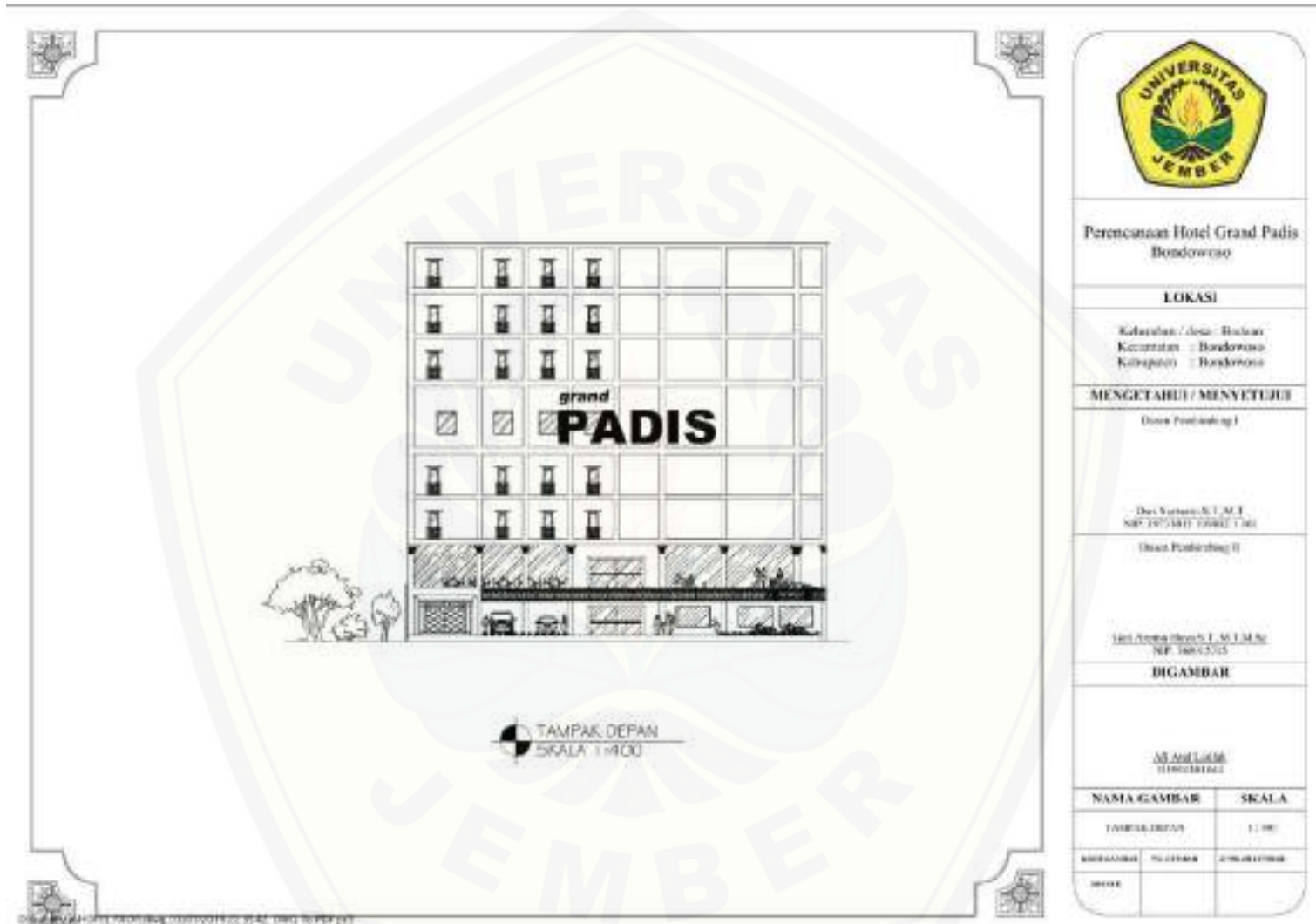
SE ANE LUTH  
NIM. 111110301044

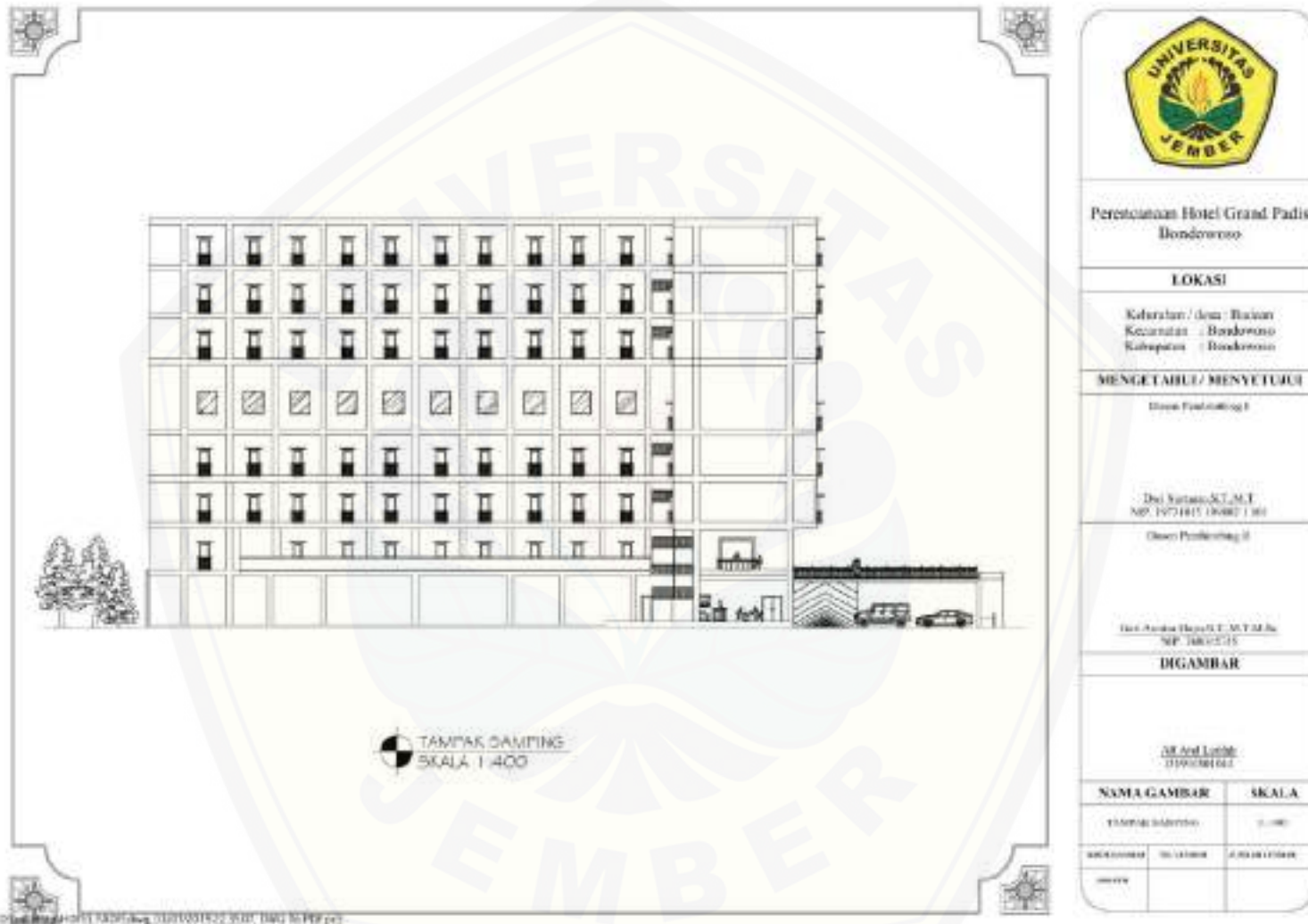
**NAMA GAMBAR**      **SKALA**

POTONGAN B-B      1:100

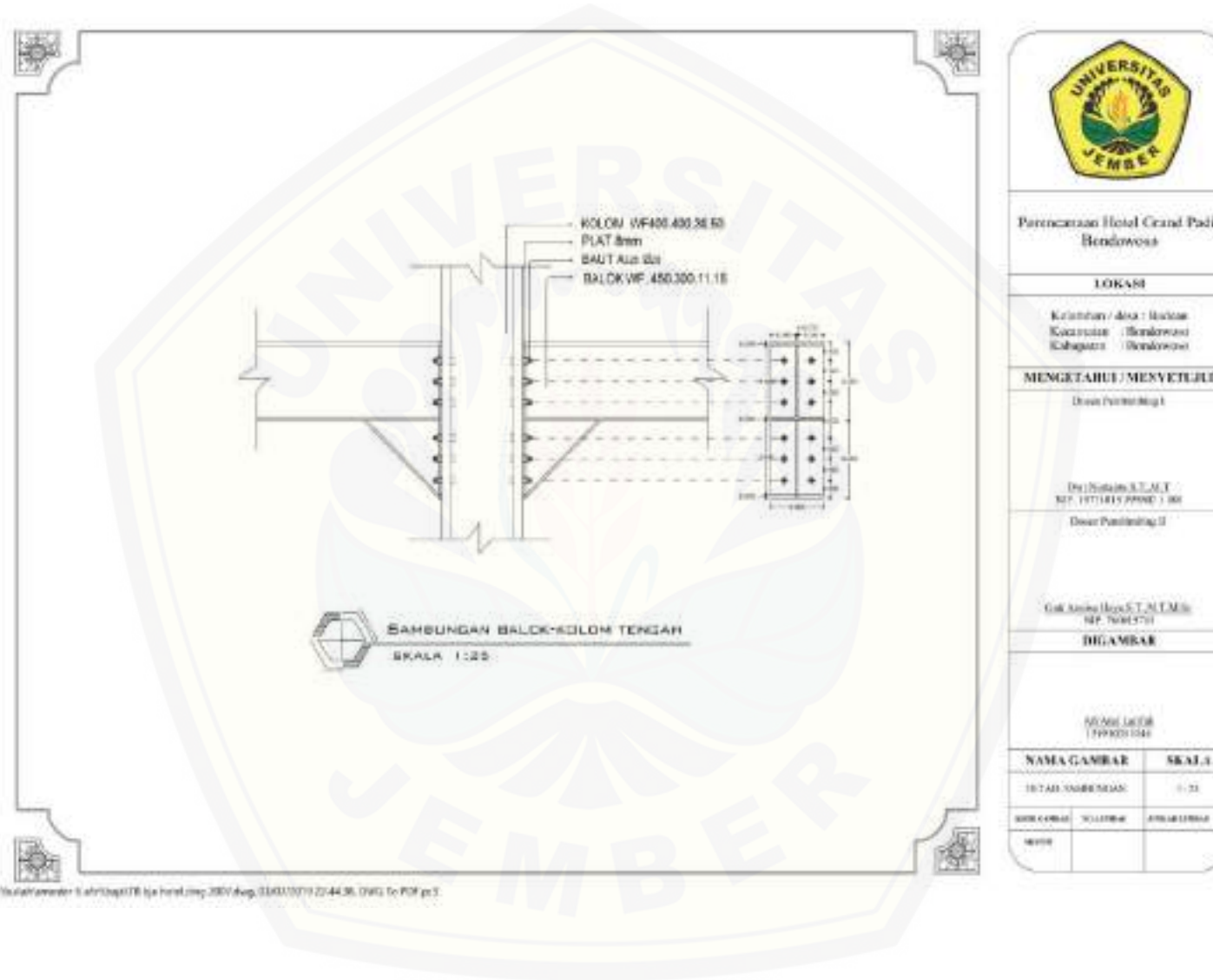
REVISI      NO.      TANGGAL

1      1      1

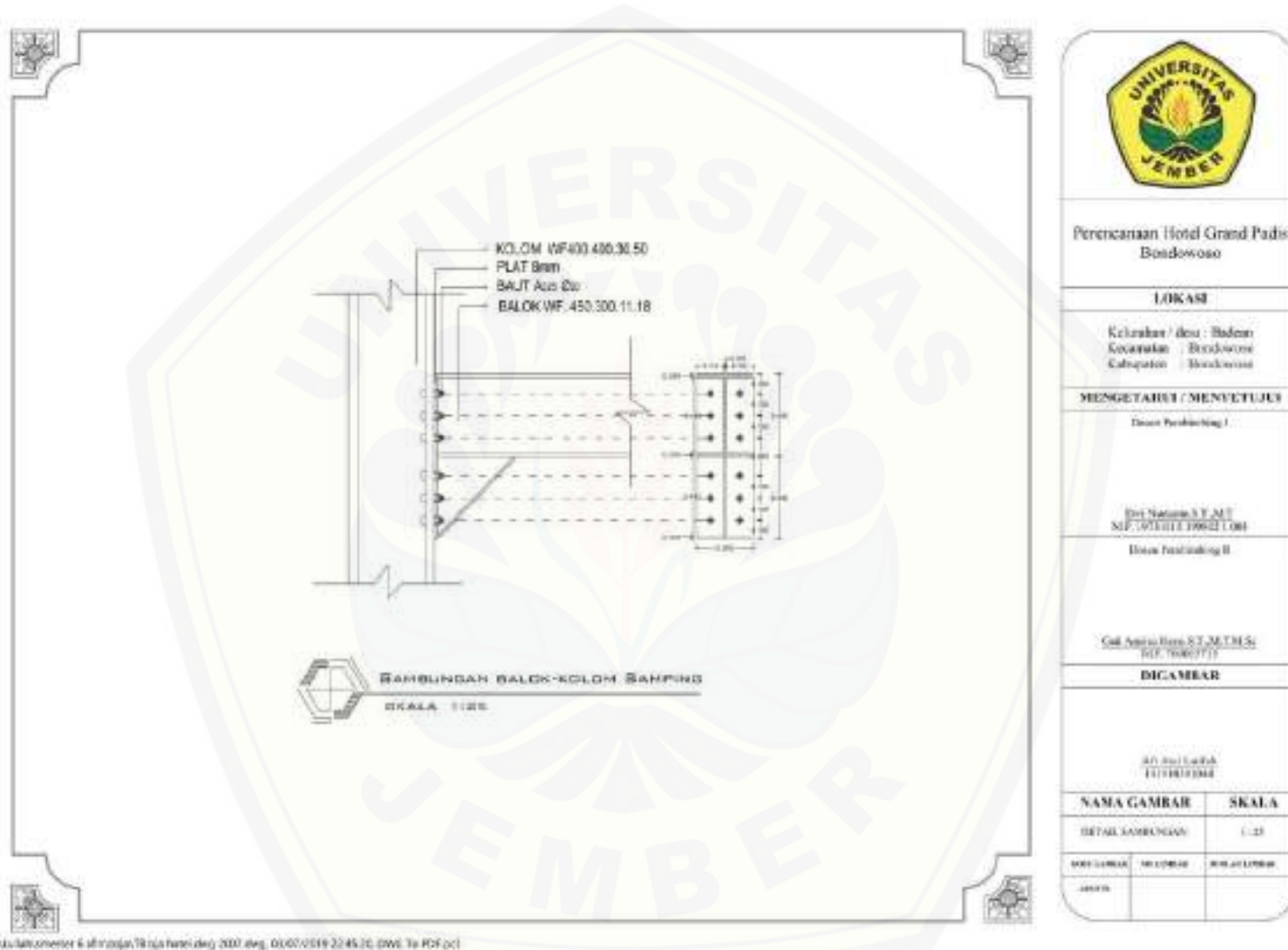












**SAMBUNGAN BALOK INDUK-BALOK ANAK**  
 SKALA 1:25

Perencanaan Hotel Grand Pacific  
Bondowoso

**LOKASI**

Kecamatan / desa : Bondowoso  
Kecamatan : Bondowoso  
Kabupaten : Bondowoso

**MENGETAHUI / MENYETUJUI**

Dosen Pembimbing I

Drs. Nurhikmah S. T. ST  
NIP. 19710115 196011 3000

Dosen Pembimbing II

Drs. Agus Supriyanto S.T.M.M.Si  
NIP. 14011111

**DIGAMBAR**

Drs. Agus Lestari  
NIP. 1961011444

NAMA GAMBAR	SKALA
DETAIL SAMBUNGAN	1:25
REVISI NO. 1	NO. 1
AMBY	

D:\skripsi\skripsi 6\afriyasa\18 hja hotel\dwg\2017\dwg (15.07.2017 22.45) 1:1 DWG 1x PDF.pdf