

**ANALISIS KINERJA BANGUNAN BETON
BERTULANG DENGAN BAJA MUTU TINGGI**

TESIS



Oleh:

**Adi Mulya Sanjaya
2013831011**

Pembimbing :

Prof. Ir. Iswandi Imran, MAS.c., Ph.D.

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JUNI 2017**

**ANALISIS KINERJA BANGUNAN BETON
BERTULANG DENGAN BAJA MUTU TINGGI**

TESIS

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Dapat Mengikuti
Sidang Tesis**



Oleh:

**Adi Mulya Sanjaya
2013831011**

Pembimbing :

Prof. Ir. Iswandi Imran, MAS.c., Ph.D.

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JUNI 2017**

HALAMAN PENGESAHAN



**ANALISIS KINERJA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN
BAJA MUTU TINGGI**



Oleh:

**Adi Mulya Sanjaya
2013831011**

**Disetujui Untuk Diajukan Ujian Sidang pada Hari/Tanggal:
Sabtu, 17 Juni 2017**

Pembimbing :

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Iswandi Imran'.

Prof. Ir. Iswandi Imran, MAS.c., Ph.D.

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
JUNI 2017**



Pernyataan

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut.

Nama : ADI MULYA SANJAYA, S.T.
Nomor Pokok Mahasiswa : 2013831011
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Program Pascasarjana
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul :

**ANALISIS KINERJA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN
BAJA MUTU TINGGI**

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan Pembimbing, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatan gelar akadeik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan : di Bandung
Tanggal : 03 Juni 2017



ADI MULYA SANJAYA, S.T.

ANALISIS KINERJA BANGUNAN BETON BERTULANG DENGAN BAJA MUTU TINGGI

ADI MULYA SANJAYA (2013831011)
Pembimbing : Prof. Ir. Iswandi Imran, MAS.c., Ph.D.
Magister Teknik
Bandung
Juni 2017

ABSTRAK

Pembangunan gedung-gedung pencakar langit sebagai sarana penunjang ekonomi merupakan arah perkembangan infrastruktur yang sangat diminati oleh banyak negara, baik negara maju maupun negara berkembang. Kebutuhan material konstruksi tahan gempa dengan mutu yang lebih tinggi menjadi tantangan bagi perkembangan ilmu teknologi bahan konstruksi modern. Penggunaan material beton dan baja tulangan mutu tinggi pada struktur bangunan gedung beton bertulang akan menunjang efektifitas bentuk serta efisiensi pengadaan dan pelaksanaan konstruksi. Namun pada prakteknya, penggunaan baja tulangan mutu tinggi pada struktur bangunan gedung beton bertulang tahan gempa di Indonesia masih dibatasi. Peraturan SNI 2847:2013 pasal 9.4 mensyaratkan bahwa mutu baja tulangan untuk desain tulangan geser, torsi, dan lentur tidak boleh melebihi 420MPa. Pembatasan ini disebabkan karena penggunaan baja tulangan dengan mutu yang lebih tinggi dapat menimbulkan tegangan geser dan tegangan lekatan yang berlebih antara material beton dengan baja tulangan.

Studi teknologi bahan konstruksi di negara maju seperti Amerika, New Zealand, dan Jepang telah menggunakan baja tulangan dengan mutu hingga hingga 700MPa untuk struktur bangunan gedung beton bertulang tahan gempa. *National Institute of Standards and Technology* mengeluarkan laporan NIST GCR 14-917-30 yang membahas tentang syarat dan ketentuan penggunaan baja tulangan mutu tinggi pada struktur bangunan gedung tahan gempa. Peraturan ACI 318-14 pasal 18.2.6.1 mengatakan bahwa baja tulangan dengan mutu lebih dari 420MPa dapat digunakan untuk struktur beton bertulang tahan gempa bila didukung dengan hasil uji eksperimen dan analisis yang dapat dipertanggungjawabkan.

Bangunan gedung apartemen beton bertulang tahan gempa 20 lantai yang terletak di Denpasar-Bali didesain dengan menggunakan baja tulangan mutu 550MPa dan 690MPa sebagai bagian dari material beton bertulang, baik untuk tulangan lentur maupun geser. Kajian literatur sebagai dasar ilmu penggunaan baja tulangan mutu tinggi pada struktur beton bertulang tahan gempa dibahas untuk mendukung hasil analisis struktur yang dilakukan. Pada studi ini, desain dan analisis kinerja struktur bangunan gedung beton bertulang tahan gempa dengan baja tulangan mutu tinggi dilakukan dengan bantuan program ETABS 2016 v.16.0.2. Analisis dinamik non-linear inelastik riwayat waktu dengan tujuh pasang rekaman percepatan gerak tanah aktual digunakan sebagai metode analisis untuk memperoleh taraf kinerja struktur bangunan gedung apartemen beton bertulang tersebut. Akibat ketujuh pasang percepatan gerak tanah aktual tersebut, struktur bangunan gedung beton bertulang dengan baja tulangan 550MPa memiliki mekanisme keruntuhan sistem struktur yang didominasi oleh *beam mechanism*. Sedangkan struktur bangunan gedung beton bertulang dengan baja tulangan 690MPa memiliki mekanisme keruntuhan sistem struktur yang didominasi oleh *story mechanism*. Namun secara *global performance*, kedua sistem struktur masih berada pada level taraf kinerja *Damage Control* (IO – LS).

Kata kunci : daktilitas, baja tulangan mutu tinggi, *time history analysis*, *performance base design*

SEISMIC PERFORMANCES OF HIGH RISE R/C FRAME STRUCTURES REINFORCED WITH HIGH STRENGTH REBARS

ADI MULYA SANJAYA (2013831011)

Adviser : Prof. Ir. Iswandi Imran, MAS.c., Ph.D.

Magister of Civil Engineering

Bandung

June 2017

ABSTRACT

Construction of high rise buildings as supporting infrastructures for economic growth has increased significantly in numbers in many big cities around the world. In Indonesia, most of the high-rise buildings constructed are made of reinforced concrete structures. In principles, the use of high-strength concrete, coupled with high strength rebars for high rise r/c buildings will result in more efficient and more constructible r/c constructions. However, in Indonesia, the use of high strength rebars for seismic resistant r/c buildings is still prohibited. SNI 2847:2013 Section 21 specifies that the yield strength for reinforcing bars used in structural elements of special moment resisting frames is limited to 420 MPa. This provision is meant to limit higher shear and higher bond demand in the structural elements assigned to dissipate seismic energy.

This paper presents a study on the use of high strength rebars in seismic resistant r/c buildings. In the study, 20 story buildings located in a region with high seismicity are designed. Two types of rebars are used, i.e. those with the yield strength of 550 MPa and of 690 MPa. The building structures are designed as the special moment resisting frame. The seismic performances of the buildings are then investigated by performing non-linear time history analysis. Seven pairs of scaled ground motions are used for the analysis. From this analysis, the failure mechanism of r/c buildings reinforced with 550 MPa yield strength is governed by beam mechanism. While the buildings reinforced with 690MPa yield strength rebars shows failure mechanism dominated by story mechanism. Globally, the performance levels of the buildings are within the zone of Damage Control (i.e. between immediate occupancy and life safety). Based on the findings, some recommendations are proposed for the use of high strength rebars in the design of seismic resistant high rise r/c buildings.

Keywords : ductility, non-linear time history analysis, performance based design, high strength rebars.

KATA PENGANTAR

Yeremia 29 : 11, “Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman TUHAN, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan.”. Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan penyertaan-Nya, sehingga studi tesis dengan judul Analisis Kinerja Bangunan Beton Bertulang dengan Baja Mutu Tinggi dapat diselesaikan tepat pada akhir waktu yang telah ditetapkan. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan program pendidikan pascasarjana S2 di Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Banyak sekali hambatan dan masalah yang dihadapi oleh penulis selama proses pembuatan tesis ini. Tuntutan ilmu pengetahuan dan kompetensi pemahaman yang cukup melalui studi mandiri dari setiap berbagai macam literatur sempat membuat penulis putus asa. Akan tetapi berkat bimbingan, saran, kritik, kesabaran, dan semangat dari banyak pihak, membuat penulis tidak menyerah sehingga studi tesis ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah menuangkan waktu, uang, dan tenaga untuk membantu kelancaran pengerjaan studi tesis ini, yaitu kepada:

1. Prof. Ir. Iswandi Imran, MAS.c., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, ilmu, pikiran, dan kesabarannya dalam proses bimbingan dan pengarahan selama penyusunan skripsi.

2. Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D., selaku dosen penguji.
3. Dr. Paulus Karta Wijaya, selaku dosen penguji.
4. PT. PENTA REKAYASA, Ir. Forest Jiprang M.Ars., dan Afraniyah Komanah S.T., yang telah memberikan dukungan moral dan mengizinkan penulis untuk meminjam program CSI ETABS 2016 v.16.02 berlisensi sehingga hasil analisis dari studi tesis ini dapat dipertanggungjawabkan.
5. Andri Saputra Gunawan S.T., M.T., Andy Sunjaya S.T., M.T., Dita Faridah S.T., M.T., Edo Permana S.T., M.T., Sandhi Kwani S.T., M.T., Anita Wijaya S.T., M.T., Mahendra Denny Saputra S.T., M.Sc., Dennie Supriatna, S.T., M.T., selaku rekan dan senior sejawat yang telah memberikan banyak sekali masukan, dukungan, dan ilmu pengetahuannya yang sangat berharga bagi penulis dalam proses studi tesis ini.
6. Josephine Raphaela Handojo S.E., selaku kekasih dari penulis yang selalu menemani dalam susah dan senang selama proses studi tesis ini.
7. Papa, Mama, Adi Cipto S.T., Novi Setiawardhani S.E., Silvana S.Psi., Jocelyn Ameris Raharjo, selaku keluarga dari penulis yang selalu berdoa, memberikan dukungan baik moral maupun materil kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih dari jauh dari sempurna, tapi penulis berharap karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi orang-orang yang membacanya.

Bandung, Juni 2017

Adi Mulya Sanjaya, S.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	lxi
DAFTAR LAMPIRAN	lxxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	3
1.3 Tujuan Penulisan	5
1.4 Pembatasan Masalah	5
1.5 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 METODOLOGI PENELITIAN	9
2.1 Langkah Kerja Studi	9
2.2 Diagram Alir Kerja Studi	19
BAB 3 STUDI LITERATUR	21
3.1 Karakteristik Material Baja Tulangan	21
3.1.1 Titik Leleh (<i>Yeild Point</i>)	22
3.1.2 Kuat Leleh (<i>Yield Strength</i>)	24
3.1.3 Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	26

3.1.4	Regangan (<i>Elongation</i>)	27
3.1.5	Daktilitas	32
3.2	Produksi Material Baja Mutu Tinggi	45
3.2.1	<i>Cold Working</i>	46
3.2.2	<i>Micro-Alloying</i>	49
3.2.3	<i>Quenching and Tempering</i>	55
3.3	Perkembangan Material Baja Tulangan Mutu Tinggi	59
3.3.1	Baja Tulangan Mutu Tinggi di Amerika	60
3.3.2	Baja Tulangan Mutu Tinggi di Negara Maju	65
3.3.3	Baja Tulangan Mutu Tinggi di Indonesia	74
3.4	Sifat Mekanik Material Baja Tulangan Mutu Tinggi	86
3.4.1	ASTM A706/A706M	87
3.4.2	ASTM A615/A615M	105
3.4.3	Baja Tulangan USD685 dan SD685	111
3.4.4	Baja Tulangan AS/NZS 500E	119
3.4.5	ASTM A1035/A1035M	121
3.4.6	Baja Tulangan SAS 670	140
3.4.7	Perbandingan Sifat Mekanik Baja Tulangan ASTM	154
3.5	Efek Penggunaan Baja Tulangan Mutu Tinggi	157
3.5.1	Model Respon Siklik Non-linear	158
3.5.1.1	Bi-linear Histeresis	166

3.5.1.2	Ramberg Osgood Histeresis	169
3.5.1.3	Tri-linear Histeresis	173
3.5.1.4	<i>Clough's Degrading</i> Histeresis	176
3.5.1.5	Takeda Histeresis	181
3.5.1.6	Pivot Histeresis	188
3.5.2	Hubungan Balok-Kolom	198
3.5.2.1	Hubungan Balok-Kolom Interior	204
3.5.2.2	Hubungan Balok-Kolom Eksterior	214
3.5.3	Kriteria Desain Kuat Lentur Struktur Kolom Khusus	222
3.5.4	Tahanan Tekuk Baja Tulangan	229
3.5.5	Batas Regangan Terkendali Tarik	237
3.5.6	Redistribusi Momen Komponen Struktur Lentur Menerus	246
3.6	Mutu Material Beton	251
3.6.1	Teori <i>Hognestad</i>	255
3.6.2	Teori <i>Kent dan Park</i>	257
3.6.3	Teori <i>Scott</i>	260
3.6.4	Teori <i>Mander</i>	262
BAB 4	STUDI KASUS	269
4.1	Pemodelan Struktur	269
4.1.1	Data Struktur Gedung	270
4.1.2	Data Material	272

4.1.2.1	Material Beton	272
4.1.2.2	Material Baja Tulangan	274
4.1.3	Pembebanan Struktur	280
4.1.3.1	Beban Mati	281
4.1.3.2	Beban Hidup	283
4.1.3.3	Beban Gempa	285
4.1.4	<i>Preliminary</i> Dimensi Penampang Struktur	296
4.1.4.1	Dimensi Pelat Lantai	298
4.1.4.2	Dimensi Balok	300
4.1.4.3	Dimensi Kolom	305
4.2	Analisis Dinamik Linear Ragam Respon Spektrum	319
4.2.1	Kombinasi Pembebanan	329
4.2.2	Klasifikasi Ketidakberaturan Struktur	331
4.2.3	Desain Struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	353
4.3	Analisis Dinamik Non-Linear Inelastik Riwayat Waktu	365
4.3.1	Penskalaan Percepatan Gerak Tanah	366
4.3.2	Analisis Momen-Kelengkungan Elemen Struktur	384
4.3.3	Sendi Plastis Elemen Struktur	420
4.3.4	Kombinasi Pembebanan	439
4.3.5	Analisis Dinamik Integrasi Numerik Langsung	441

4.3.6	<i>Stiffness and Mass Proportional Damping</i>	446
4.4	Analisis Taraf Kinerja Struktur	449
4.4.1	Parameter Taraf Kinerja Elemen Struktur (<i>Component Performance</i>)	454
4.4.2	Parameter Taraf Kinerja Sistem Struktur (<i>Global Performance</i>)	461
BAB 5 PEMBAHASAN		465
5.1	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i>	465
5.1.1	<i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Balok	466
5.1.2	<i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom	469
5.1.3	Pengaruh <i>Pbalance</i> pada <i>Moment Curvature Xtract v.3.0.8</i>	475
5.2	<i>Ground Motion</i> pada ETABS	480
5.3	<i>Component Performance Level</i>	487
5.3.1	Sendi Plastis	487
5.3.2	Taraf Kinerja Elemen Struktur Balok	556
5.4	<i>Global Performance Level</i>	575
5.4.1	Rasio Simpangan Antar Lantai Tingkat (<i>Interstory Drift Ratio</i>)	575
5.4.2	Rasio Simpangan Lantai Tingkat Atap (<i>Roof Drift Ratio</i>)	586
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		603
6.1	Kesimpulan	603

6.2	Saran	605
	DAFTAR PUSTAKA	607

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	=	tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm).
a_b	=	tinggi blok tegangan persegi ekuivalen elemen struktur balok beton bertulang (mm).
A_g	=	luas bruto penampang beton (mm^2).
A_j	=	luas penampang efektif pada <i>joint</i> di bidang yang paralel terhadap bidang tulangan yang menimbulkan geser dalam <i>joint</i> (mm^2).
A_s	=	luas total baja tulangan tarik (mm^2).
A_{sb}	=	luas total baja tulangan tarik pada kondisi <i>balance</i> (mm^2).
A_{st}	=	luas tulangan longitudinal non-prategang (batang tulangan atau profil baja) (mm^2).
A_{tr}	=	luas penampang total semua tulangan transversal dalam spasi s yang melintasi bidang potensial pembelahan melalui tulangan yang disalurkan (mm^2).
b	=	dimensi lebar penampang (mm).
c_b	=	jarak garis netral ke serat tekan terluar penampang (mm).
c_b	=	yang lebih kecil dari: (a) jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat, dan (b) setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan atau kawat yang disalurkan.
C_d	=	faktor amplifikasi defleksi struktur.
d	=	tinggi efektif penampang (mm).
d_b	=	diameter baja tulangan longitudinal (mm).
d_s	=	diameter baja tulangan transversal (mm).
E_h	=	indeks disipasi energi kurva histeresis struktur.
E_s	=	modulus elastisitas material baja tulangan.
f	=	tegangan material baja (MPa).

F_a	=	koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0.2 detik).
f_{cr}	=	tegangan tekan kritis material baja (MPa).
f_{ctm}	=	nilai rata-rata dari kuat tarik material beton.
f_c'	=	kuat tekan material beton (MPa).
f_s	=	kuat tarik material baja tulangan (MPa).
f_u	=	tegangan tarik maksimum (<i>ultimate</i>) material baja (MPa).
F_v	=	koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik).
f_y	=	tegangan leleh spesifikasi material baja (MPa).
f_{ya}	=	tegangan leleh aktual material baja (MPa).
h_c	=	dimensi kolom yang sejajar dengan panjang penyaluran tulangan pada hubungan balok-kolom (mm).
k	=	rasio perbandingan tinggi efektif terhadap tinggi serat tekan pada persamaan (3.3).
k	=	kekakuan elemen struktur.
k_1	=	nilai koefisien untuk menghitung besar tegangan lekatan berdasarkan tipe agregat material beton.
k_2	=	nilai koefisien untuk menghitung besar tegangan lekatan berdasarkan kekuatan minimum penyaluran untuk material beton mutu tinggi.
k_3	=	nilai koefisien untuk menghitung besar tegangan lekatan berdasarkan kondisi letak posisi kait penyaluran.
k_4	=	nilai koefisien untuk menghitung besar tegangan lekatan berdasarkan diameter bengkokan kait penyaluran.
k_c	=	nilai koefisien untuk menghitung besar tegangan lekatan berdasarkan besar selimut beton.
k_D	=	faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada tingkat daktilitas struktur.
k_h	=	nilai koefisien untuk menghitung besar tegangan lekatan berdasarkan panjang penyaluran.

k_s	=	nilai koefisien untuk menghitung besar tegangan lekatan berdasarkan jumlah tulangan transversal.
K_{tr}	=	indeks tulangan transversal.
l_{bond}	=	panjang penyaluran dengan kait spesifikasi baja tulangan SAS 670.
l_d	=	panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir, kawat ulir, tulangan kawat las polos dan ulir, atau <i>strand</i> pratarik (mm)
$l_{d,aci}$	=	panjang penyaluran spesifikasi baja tulangan SAS 670 (mm).
l_{dh}	=	panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir atau kawat ulir dengan kait standar, yang diukur dari penampang kritis ujung luar kait (panjang penanaman lurus antara penampang kritis dan awal kait [titik tangen] ditambah jari-jari dalam bengkokan dan satu diameter batang tulangan) (mm).
l_p	=	panjang sendi plastis (mm).
l_s	=	panjang penyaluran spesifikasi pada sambungan baja tulangan SAS 670.
M_n	=	kekuatan lentur nominal pada penampang (N.mm).
M_{nb}	=	kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam joint (N.mm).
M_{nc}	=	kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur yang terendah (N.mm).
n	=	jumlah benda.
P_{max}	=	gaya tarik maksimum benda uji baja tulangan SAS 670.
P_n	=	kekuatan aksial nominal penampang (N).
$P_{n(max)}$	=	nilai P_n maksimum yang diperbolehkan (N).
P_u	=	gaya aksial terfaktor, diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik (N).
R	=	koefisien modifikasi respons struktur.

- S_{kritis} = jarak spasi baja tulangan transversal ketika baja tulangan longitudinal mengalami tegangan kritis.
- S_{MS} = parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
- S_s = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda pendek, redaman 5%.
- S_{M1} = parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
- S_1 = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5%.
- S_{DS} = parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek, redaman 5%.
- U_{aci} = kuat tarik spesifikasi baja tulangan SAS 670 (MPa).
- U_{test} = kuat tarik aktual baja tulangan SAS 670 (MPa).
- V = gaya geser desain total di dasar struktur (base shear) (N).
- V_E = gaya geser maksimum gempa rencana yang dapat diserap oleh struktur bangunan gedung elastik (N).
- V_{max} = gaya geser maksimum gempa rencana yang dapat diserap oleh struktur bangunan gedung inelastis (fully-yielded system) (N).
- V_n = kekuatan geser nominal (N) pada persamaan (3.54).
- α_b = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran dengan kait berdasarkan pada kriteria desain tulangan lentur.
- α_f = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada kondisi beban kerja pada struktur.
- α_s = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada kondisi luas tulangan tarik dan tekan pada sebuah penampang beton bertulang.
- α_1 = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran dengan kait berdasarkan pada diameter tulangan longitudinal dan besar selimut beton pada bagian kait.
- α_2 = faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran dengan kait berdasarkan pada jarak tulangan pengekang pada hubungan balok-kolom.

β_1	=	faktor koreksi blok tekan penampang.
γ_{Rd}	=	rasio kuat ultimit baja tulangan.
Δ	=	perpindahan inelastis maksimum sistem struktur (mm).
Δ_E	=	perpindahan sistem struktur akibat gaya geser desain (mm).
Δ_n	=	perpindahan titik kumpul elemen struktur kolom beton bertulang sisi utara pada persamaan (3.25) (mm).
Δ_s	=	perpindahan titik kumpul elemen struktur kolom beton bertulang sisi selatan pada persamaan (3.26) (mm).
ε_c	=	regangan material beton.
ε_{cu}	=	regangan ultimit material beton.
ε_s	=	regangan material baja tulangan.
ε_{sh}	=	regangan awal <i>strain hardening</i> material baja tulangan.
ε_{su}	=	regangan ultimit material baja tulangan.
ε_t	=	regangan material baja tulangan pada serat tarik penampang.
ε_y	=	regangan leleh material baja tulangan.
θ_n	=	drift rasio elemen struktur kolom beton bertulang sisi utara pada persamaan (3.25).
θ_p	=	rotasi plastis.
θ_s	=	drift rasio elemen struktur kolom beton bertulang sisi selatan pada persamaan (3.26).
θ_{stub}	=	drift rasio titik kumpul benda uji elemen kolom beton bertulang pada gambar 3.82.
λ	=	faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kuat tekan yang sama.
μ	=	daktilitas tegangan.
μ_ϕ	=	daktilitas kelengkungan.

μ_u	=	daktilitas perpindahan.
μ_m	=	daktilitas perpindahan maksimum.
φ_u	=	kelengkungan (<i>curvature</i>) ultimate (1/mm).
φ_u	=	lengkungan maksimum (<i>ultimate</i>) yang terjadi.
φ_y	=	kelengkungan (<i>curvature</i>) leleh (1/mm).
φ_y	=	lengkungan pada saat material pertama kali leleh.
ρ	=	rasio baja tulangan tarik.
ρ_b	=	rasio baja tulangan tarik pada kondisi <i>balance</i> .
ρ_{max}	=	rasio maksimum baja tulangan.
ρ'	=	rasio baja tulangan tekan.
ρ''	=	rasio baja tulangan transversal.
ν_D	=	perbandingan gaya aksial terfaktor terhadap kuat tekan penampang beton.
ϕ	=	faktor reduksi kekuatan.
ψ_c	=	faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada ukuran tulangan dan tebal selimut beton.
ψ_e	=	faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada pelapis tulangan.
ψ_p	=	faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada kondisi terjadinya kegagalan <i>top bar effect</i> .
ψ_r	=	faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada kondisi desain tulangan pengekang.
ψ_s	=	faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada ukuran tulangan.
ψ_t	=	faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada lokasi tulangan.
Ω_0	=	faktor kuat lebih struktur.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Tower Apartment The Mension, Kemang, Jakarta Selatan</i>	12
Gambar 2.2	Diagram Alir Metodologi Penelitian	19
Gambar 3.1	Kurva Tegangan-Regangan Material Baja	21
Gambar 3.2	Diagram Tegangan-Regangan yang Menunjukkan Titik Leleh akibat Perubahan Kemiringan (ASTM A370).....	23
Gambar 3.3	Diagram Tegangan-Regangan yang Menunjukkan Titik Leleh dengan Metode <i>Extension Under Load</i> (ASTM A370).....	23
Gambar 3.4	Grafik Metode Penentuan Titik Leleh Material Baja Tulangan Mutu Tinggi.....	25
Gambar 3.5	Grafik Kuat Leleh Material Baja Tulangan Tanpa Titik Leleh yang Definitif (R. Park and T. Paulay)	25
Gambar 3.6	Distribusi Keruntuhan pada Sistem Kantilever (R. Park and T. Paulay)	27
Gambar 3.7	Pengukuran Pertambahan Panjang untuk Memperoleh Regangan Rata-Rata Saat Terjadi Kegagalan <i>Fracture</i> pada Tulangan Baja (<i>Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc.</i>).....	28
Gambar 3.8	Penentuan Regangan Rata-Rata (Agt) Pada Material Baja Tulangan (<i>Reinforcement Handbook, ARC;The Australian Reinforcing Company</i>).....	30
Gambar 3.9	Pengukuran Pertambahan Panjang untuk Memperoleh Regangan Total Saat Terjadi Kegagalan <i>Fracture</i> pada Tulangan Baja (<i>Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc.</i>).....	31

Gambar 3.10	Kurva Perilaku Material yang Menerima Beban Lentur (<i>R. Park and T. Paulay</i>)	33
Gambar 3.11	Kurva Distribusi Tegangan-Regangan pada Penampang Elemen Struktur Lentur (<i>R. Park and T. Paulay</i>).....	35
Gambar 3.12	Diagram Momen vs. Kelengkukang Elemen Struktur Lentur (Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang; ITB)	37
Gambar 3.13	Efek Peningkatan Rasio Baja Tulangan Tarik pada Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Lentur (<i>MacGregor dan Wight 2009</i>)	38
Gambar 3.14	Deformasi pada Elemen Struktur yang Mengalami Beban Lateral (<i>MacGregor dan Wight 2009</i>)	40
Gambar 3.15	Efek Daktilitas Perpindahan pada Struktur Gedung pang Menerima Beban Lateral (<i>MacGregor dan Wight 2009</i>).....	42
Gambar 3.16	Pelepasan Energi pada Vibrasi Struktur Bandul Terjepit (<i>John Wiley & Sons, Inc.</i>)	43
Gambar 3.17	Ilustrasi Faktor Kinerja Seismik (R , Ω_0 , dan C_d) yang didefinisikan oleh <i>NEHRP Recommended Provisions</i> (FEMA P695, 2009).....	44
Gambar 3.18	Produk Butiran Struktur Baja <i>Low Carbon</i> dengan <i>Cold Working</i> (ASM Handbook Vol. 9, Metallography and Microstructure)....	46
Gambar 3.19	Efek Metode <i>Cold Work</i> pada Sifat Mekanik Material Baja (2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc.)	48
Gambar 3.20	Contoh Proses <i>Precipitation Hardening</i> Pada Logam Aluminium (Al) dengan 4% Tembaga (Cu) sebagai Presipitat	50

Gambar 3.21	Karakteristik dan Morfologi Lapisan Zat Intermetalik akibat Unsur Aluminium (Al) pada Campuran Baja Karbon.....	53
Gambar 3.22	Grafik Proses <i>Quenching and Tempering</i> (Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam; Ing. Alois Schonmetz; Karl Gruber)	56
Gambar 3.23	Pengaruh Suhu Oli pada Kecepatan <i>Quenching</i>	57
Gambar 3.24	Kurva Tegangan-Regangan Aktual untuk ASTM A615/A615M, ASTM A706/A706M, dan ASTM A1035/A1035M yang Menunjukkan Perbedaan Mutu Baja Tulangan (<i>WJE 2008</i>).....	62
Gambar 3.25	Mutu Kuat Material dan Zona Hasil Penelitian Pembangunan <i>New RC Project</i> (Aoyama 2001).....	66
Gambar 3.26	Kurva Tegangan-Regangan untuk Berbagai Mutu Baja Tulangan di Negara Jepang (Aoyama 2001).....	69
Gambar 3.27	Baja Tulangan SAS 670 dan Alat Penghubungnya (<i>Coupler</i>); ESR-1163 (ICC-ES, 2013).....	71
Gambar 3.28	Aplikasi <i>Coupler</i> pada Baja Tulangan SAS 670 (<i>Compression Members with SAS 670/800 High Strength Reinforcement Steel</i> ; (SAH)Stahlwerk Annahutte).	72
Gambar 3.29	Identifikasi Mutu Baja Tulangan Menurut Bentuk Sirip Permukaan (AS/NZS 4671:2001).....	73
Gambar 3.30	Hubungan Beban-Perpindahan pada Sampel Monotonik dengan Baja Tulangan BJTD40 <i>Compliance</i> (Imran dkk., 2008).....	76
Gambar 3.31	Hubungan Beban-Perpindahan pada Sampel Monotonik dengan Baja Tulangan BJTD40 <i>Non-Compliance</i> (Imran dkk., 2008) ...	76

Gambar 3.32	Pola Pembebanan Siklik yang Diaplikasikan pada Benda Uji (Imran dkk., 2008)	77
Gambar 3.33	Kurva Histeresis Benda Uji dengan Baja Tulangan BJTD40 <i>Compliance</i> (Imran dkk., 2008).....	78
Gambar 3.34	Kurva Histeresis Benda Uji dengan Baja Tulangan BJTD40 <i>Non-Compliance</i> (Imran dkk., 2008).....	78
Gambar 3.35	Perbandingan Energi Disipasi Kumulatif (Imran dkk., 2008).....	79
Gambar 3.36	Hasil Uji Tarik Baja Tulangan di Indonesia (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi).....	80
Gambar 3.37	Pemodelan Struktur <i>Tower Apartment The Mansion</i> (Pusat Rekayasa Industri, ITB, 2012).....	85
Gambar 3.38	Kurva Tegangan-Regangan Baja Tulangan ASTM A706 dengan Mutu 60ksi (<i>Courtesy of Wiss Janney Elstner Associates, Inc., Copyright 2012</i>).....	88
Gambar 3.39	Kurva Tegangan-Regangan Baja Tulangan ASTM A706 dengan Mutu 80ksi (<i>Data Courtesy of Nucor Steel Seattle, Inc.</i>)	89
Gambar 3.40	Ilustrasi Kategori Karakteristik Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan (<i>Charles Pankow Foundation, RGA 04-13, WJE.</i>).....	90
Gambar 3.41	Kurva Tegangan-Regangan <i>Elastic-Plastic Curve with Strain Hardening</i> (EPSH) dengan Mutu Baja Tulangan 80ksi (550MPa).	91
Gambar 3.42	Perbandingan Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Idealisasi CODE dan EPSH terhadap Kurva Aktual untuk Mutu Baja	

	Tulangan 60ksi dan 80ksi (<i>Charles Pankow Foundation, RGA 04-13, WJE.</i>).....	91
Gambar 3.43	Kurva Tegangan-Regangan <i>Round House Curve</i> (RH29, 29000ksi) dengan Mutu Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	92
Gambar 3.44	Perbandingan Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Idealisasi CODE dan RH29 (29000ksi) terhadap Kurva Aktual untuk Mutu Baja Tulangan 60ksi (<i>Charles Pankow Foundation, RGA 04-13, WJE.</i>).....	93
Gambar 3.45	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Aktual Baja Tulangan ASTM 706 dengan Mutu 80ksi (550MPa) (RD-15-15, <i>A706 Grade 80 Reinforcement for Seismic Applications</i>)	94
Gambar 3.46	Perbandingan Kurva Hubungan Tegangan-Regangan EPSH terhadap Kurva Aktual Baja Tulangan ASTM A706 (RD-15-15, <i>A706 Grade 80 Reinforcement for Seismic Applications</i>)	94
Gambar 3.47	Detail Tulangan Benda Uji Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang dengan Baja Tulangan ASTM A706 (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	96
Gambar 3.48	Tipikal Kurva Hubungan Tegangan-Regangan a) Baja Tulangan Longitudinal, b) Baja Tulangan Transversal ASTM A706 (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	98
Gambar 3.49	Model Struktural Tipikal dan Hasil Uji Kuat Tekan Material Beton Benda Uji (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	99
Gambar 3.50	Sketsa Ketentuan Beban Siklik untuk Pengujian Histeresis Elemen Struktur (FEMA 461, 2007)	100

Gambar 3.51	Kurva Histeresis Benda Uji Kolom CS60 dengan Baja Tulangan ASTM A706 Mutu 60ksi (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	102
Gambar 3.52	Kurva Histeresis Benda Uji Kolom CS80 dengan Baja Tulangan ASTM A706 Mutu 80ksi (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	102
Gambar 3.53	Perbandingan Kurva Histeresis Benda Uji Kolom CS60 dan CS80 dengan Baja Tulangan ASTM A706 Mutu 80ksi (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	103
Gambar 3.54	Perbandingan Kurva <i>Backbone</i> Benda Uji Kolom CS60 dan CS80 dengan Baja Tulangan ASTM A706 Mutu 80ksi (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	104
Gambar 3.55	Representasi Sifat Mekanik Baja Tulangan ASTM A615 pada Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan dengan Mutu 60, 80, dan 100ksi (NIST, 2014).....	106
Gambar 3.56	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Aktual dari Benda Uji Baja Tulangan dengan Mutu 100ksi (690MPa) (RGA #03-14, <i>Charles Pankow Foundation; WJE</i>).....	107
Gambar 3.57	Benda Uji Baja Tulangan untuk Perhitungan Regangan Rata-Rata (RGA #03-14, <i>Charles Pankow Foundation; WJE</i>).....	109
Gambar 3.58	Detail Diameter Bengkokan 180° Baja Tulangan Tarik (ACI 318-14).....	110
Gambar 3.59	Kurva Tegangan-Regangan Baja Tulangan USD685 (Aoyama, 2001)	112

Gambar 3.60	Kurva Histeresis Tegangan-Regangan Hasil Uji Beban Siklik Satu Arah Baja Tulangan USD685B (Aoyama, 2001).....	114
Gambar 3.61	Kurva Histeresis Tegangan-Regangan Hasil Uji Beban Siklik Dua Arah Baja Tulangan USD685B (Aoyama, 2001).....	114
Gambar 3.62	Kurva Tegangan-Regangan Baja Tulangan SD685 (Ousalem et al., 2009).....	115
Gambar 3.63	Benda Uji Elemen Struktur Balok Kantilever Beton Bertulang dengan Baja Tulangan Mutu Tinggi (Aoyama, 2001).....	117
Gambar 3.64	Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok Kantilever Beton Bertulang dengan <i>Yield Ratio</i> 90% tanpa Sambungan (Aoyama, 2001).....	117
Gambar 3.65	Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok Kantilever Beton Bertulang dengan <i>Yield Ratio</i> 75% dan Sambungan (Aoyama, 2001).....	118
Gambar 3.66	Kurva Tegangan-Regangan Baja Tulangan AS/NZS 500E dengan mutu 72.5ksi (500MPa) (Lin et al., 2000).....	120
Gambar 3.67	Kurva Tegangan-Regangan Tarik Baja Tulangan ASTM A1035 dengan Mutu 100ksi (690MPa) (<i>Courtesy of Wiss Janney Elstner Associate, Inc., Copyright 2008</i>).....	122
Gambar 3.68	Kurva Tegangan-Regangan Tarik Baja Tulangan ASTM A1035 dengan Mutu 120ksi (830MPa) (<i>Courtesy of Wiss Janney Elstner Associate, Inc., Copyright 2008</i>).....	122

Gambar 3.69	Kurva Tegangan-Regangan Tekan Baja Tulangan ASTM A1035 dengan mutu 100ksi dan 120ksi (<i>Courtesy of Wiss Janney Elstner Associate, Inc., Copyright 2008</i>)	123
Gambar 3.70	Kurva Tegangan-Regangan Baja Tulangan MMFX ₂ (<i>MMFX Technologies Corporation, 2014</i>).....	124
Gambar 3.71	Parameter Kurva Hubungan Tegangan-Regangan <i>Ramberg-Osgood Function</i> (<i>NCHRP Project 12-77; NCHRP Report 679; 2011</i>)	125
Gambar 3.72	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan ASTM A1035 Mutu 100ksi (690MPa) berdasarkan <i>Ramberg-Osgood Function</i>	127
Gambar 3.73	Perbandingan Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Aktual ASTM A1035 Mutu 100ksi dengan <i>Mast's Equation</i> (<i>NCHRP Report 679; Appendix C, 2011</i>).....	128
Gambar 3.74	Identifikasi Kurva Hubungan Tegangan-Regangan <i>Ramberg-Osgood Function</i> Baja Tulangan ASTM A1035 Mutu 100ksi (690MPa) berdasarkan <i>Mast's Equation</i>	129
Gambar 3.75	Kurva <i>Ramberg-Osgood Function</i> vs <i>Mast's Equation</i> Baja Tulangan ASTM A1035 Mutu 100ksi (690MPa).....	129
Gambar 3.76	Pendekatan Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan ASTM A1035 dengan Mutu 100ksi (<i>ACI ITG-6R, 2010</i>).....	131
Gambar 3.77	Perbandingan Kurva Hubungan Tegangan-Regangan ACI ITG-6R-10 terhadap Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A1035 dengan Mutu 100ksi (<i>WJE. 2008; ACI ITG-6R, 2010</i>).....	131

Gambar 3.78	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan pada Uji Beban Siklik Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang (J. M. Rautenberg; 2011).....	132
Gambar 3.79	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan ASTM A1035 Mutu 120ksi (1030MPa) berdasarkan <i>Ramberg-Osgood Function</i>	133
Gambar 3.80	Tipikal Mekanisme Pengujian Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang Terhadap Beban Siklik (J. M. Rautenberg; 2011)....	134
Gambar 3.81	Beban Uji Siklik Benda Uji Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang (J. M. Rautenberg; 2011)	135
Gambar 3.82	Model Peralihan Tipikal Benda Uji Elemen Kolom Beton Bertulang akibat Beban Siklik (J. M. Rautenberg; 2011).....	136
Gambar 3.83	Perbandingan Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang <i>CC-3.3-10</i> dan <i>UC-1.6-10</i> (J. M. Rautenberg; 2011).....	137
Gambar 3.84	Perbandingan Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang <i>CC-3.3-20</i> dan <i>UC-1.6-20</i> (J. M. Rautenberg; 2011).....	138
Gambar 3.85	Kurva Tegangan-Regangan Baja Tulangan SAS 670 (<i>Compression Members with SAS 670/800 High Strength Reinforcement Steel; (SAH)Stahlwerk Annahutte</i>).	142
Gambar 3.86	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan pada Uji Beban Siklik Elemen Struktur Balok Beton Bertulang (H. Tavallali; ASCE/SEI 2011).....	143

Gambar 3.87	Tipikal Geometri dan Mekanisme Pengujian Elemen Struktur Balok Beton Bertulang Terhadap Beban Siklik (H. Tavallali; 2011)	144
Gambar 3.88	Struktur dan Metode Kerja Beban Siklik pada Pengujian Elemen Struktur Balok Beton Bertulang (H. Tavallali; 2011).....	145
Gambar 3.89	Tipikal <i>Detailing</i> Baja Tulangan Benda Uji Elemen Struktur Balok Beton Bertulang (H. Tavallali; 2011)	146
Gambar 3.90	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan Benda Uji Balok CC4-X (H. Tavallali; 2011)	147
Gambar 3.91	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan Benda Uji Balok UC4-X (H. Tavallali; 2011)	147
Gambar 3.92	Beban Uji Siklik Benda Uji Elemen Struktur Balok Beton Bertulang (H. Tavallali; 2011).....	148
Gambar 3.93	Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok CC4-X akibat Beban Siklik (H. Tavallali; 2011).....	149
Gambar 3.94	Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok UC4-X akibat Beban Siklik (H. Tavallali; 2011).....	149
Gambar 3.95	Lanjutan Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok CC4-X akibat Beban <i>Final Push</i> (H. Tavallali; 2011)	150
Gambar 3.96	Lanjutan Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok UC4-X akibat Beban <i>Final Push</i> (H. Tavallali; 2011)	150
Gambar 3.97	Perbandingan Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok CC4-X dan UC4-X akibat Beban Uji Siklik dan <i>Final Push</i> (H. Tavallali; 2011).....	151

Gambar 3.98	Kurva <i>Backbone</i> Benda Uji Elemen Struktur Balok CC4-X akibat Beban Uji Siklik (H. Tavallali; 2011).....	152
Gambar 3.99	Kurva <i>Backbone</i> Benda Uji Elemen Struktur Balok UC4-X akibat Beban Uji Siklik (H. Tavallali; 2011).....	152
Gambar 3.100	Perbandingan Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok CC4-X dengan Kurva <i>Takeda Hysteresis</i> (H. Tavallali; 2011).	153
Gambar 3.101	Perbandingan Kurva Histeresis Benda Uji Elemen Struktur Balok UC4-X dengan Kurva <i>Takeda Hysteresis</i> (H. Tavallali; 2011)	153
Gambar 3.102	Tipe Respon Degradasi Histeresis Struktur Beton Bertulang (NIST GCR 10-917-5; NEHRP, 2010).....	159
Gambar 3.103	Hipotenikal Batasan Respon <i>In-cyclic Degradation</i> pada Kurva Histeresis (J. M. Rautenberg; 2011)	161
Gambar 3.104	Hipotenikal Batasan Respon <i>Cyclic Degradation</i> pada Kurva Histeresis (J. M. Rautenberg; 2011)	161
Gambar 3.105	Siklus Kurva Histeresis akibat Beban Siklik (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	162
Gambar 3.106	Model Respon Kurva Histeresis <i>Masing Type</i> (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	163
Gambar 3.107	Indeks Disipasi Energi Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda)	164
Gambar 3.108	Perkembangan Bi-linear Model Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	166

Gambar 3.109	Perbandingan Kurva Model Respon Bi-linear Histeresis dengan Kurva Histeresis Struktur Kolom Beton Bertulang SP-5 (Shusuke Otani, 1979).....	167
Gambar 3.110	Kurva Hubungan Indeks Disipasi Energi Model Respon Bi-linear Histeresis Terdegradasi dan Faktor Daktilitas Struktur (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	168
Gambar 3.111	Model Respon Ramberg Osgood Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	170
Gambar 3.112	Model Respon Siklus <i>Loading</i> Ramberg Osgood Histeresis akibat Variasi Parameter Rasio Frekuensi Getar Struktur (Jennings, 1963)	171
Gambar 3.113	Model Respon Siklus <i>Loading</i> Ramberg Osgood Histeresis akibat Variasi Parameter Ramberg Osgood (Jennings, 1963).....	171
Gambar 3.114	Kurva Hubungan Indeks Disipasi Energi Model Respon Ramberg Osgood Histeresis dan Faktor Daktilitas Struktur (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	172
Gambar 3.115	Siklus Degradasi Model Respon Tri-Linear Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	174
Gambar 3.116	Perbandingan Kurva Model Respon Tri-linear Histeresis dengan Kurva Histeresis Struktur Kolom Beton Bertulang SP-5 (Shusuke Otani, 1979).....	175
Gambar 3.117	Kurva Hubungan Indeks Disipasi Energi Model Respon Tri-Linear Histeresis dan Rasio Titik Retak Terhadap Titik Leleh Elemen Struktur (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda). 176	

Gambar 3.118	Simulasi Model Respon <i>Clough's Degrading</i> Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	177
Gambar 3.119	Modifikasi Simulasi Model Respon <i>Clough's Degrading</i> Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	178
Gambar 3.120	Perbandingan Kurva Model Respon <i>Clough's Degrading</i> Histeresis dengan Kurva Histeresis Struktur Kolom Beton Bertulang (Shusuke Otani, 1979)	179
Gambar 3.121	Kurva Hubungan Indeks Disipasi Energi Model Respon Bi-linear Histeresis Terdegradasi dan Faktor Daktilitas Struktur (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	180
Gambar 3.122	Batasan-Batasan pada Siklus Model Respon Takeda Histeresis (ASCE Vol. 96; Takeda T., M. A. Sozen, N. N. Nielsen; 1970).....	181
Gambar 3.123	Sifat dan Karakteristik Model Respon Takeda Histeresis (T. Kabeyasawa, H. Shiohara, S. Otani, H. Aoyama; University of Tokyo; 1983).....	185
Gambar 3.124	Kurva Hubungan Indeks Disipasi Energi Model Respon Takeda Histeresis dan Faktor Daktilitas Struktur (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	186
Gambar 3.125	Gerak Siklus pada Model Respon Bi-linear Takeda Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	187
Gambar 3.126	Perbandingan Kurva Model Respon Takeda Histeresis dengan Kurva Histeresis Struktur Kolom Beton Bertulang (Shusuke Otani, 1979).....	187

Gambar 3.127	Titik-Titik Utama Model Respon Pivot Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	188
Gambar 3.128	Idealisasi Model Respon Pivot Histeresis pada Karakteristik Histeresis Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	189
Gambar 3.129	Degradasi Siklus Model Respon Pivot Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	190
Gambar 3.130	Kurva Kontur Parameter α (a) dan $\beta * (b)$ untuk Elemen Struktur Kolom Lingkaran Beton Bertulang (Akanshu Sharma, G. R. Reddy, K. K. Vaze; 2011).....	191
Gambar 3.131	Batasan-Batasan Simulasi Model Respon Pivot Histeresis (<i>Otani Hysteresis Models</i> , Manuel Miranda).....	192
Gambar 3.132	Batasan-Batasan Simulasi Model Respon Pivot Histeresis (<i>ACI Structural Journal</i> , Vol. 95; 1998).....	193
Gambar 3.133	Klasifikasi Tipe Hubungan Balok-Kolom pada Struktur Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang (Dr. S. R. Uma, Dr. Sudhir K. Jain; IITK-GSDMA-EQ32-V1.0).....	199
Gambar 3.134	Konfigurasi dan Koefisien Kekuatan Hubungan Balok-Kolom pada Struktur Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang (NIST GCR 8-917-1, NEHRP; 2008).....	199
Gambar 3.135	Mekanisme Tahanan Tegangan Lekatan pada Elemen Struktur Beton Bertulang (Jack Moehle; 2014).....	201

Gambar 3.136 Grafik Pengaruh Besar Faktor Tulangan Pengekang Terhadap Kuat Geser Elemen Struktur Beton Bertulang (Seliem dkk.; 2009) 204

Gambar 3.137 Mekanisme Tegangan Lekatan Material Beton dan Baja Tulangan pada Hubungan Balok-Kolom Interior (NIST GCR 14-917-30, NEHRP; 2014)..... 205

Gambar 3.138 Siklus Respon Histeresis Hubungan Balok-Kolom Interior Elemen Struktur Beton Bertulang (Jack Moehle; 2014)..... 206

Gambar 3.139 Siklus Respon Histeresis Hubungan Balok-Kolom Interior Elemen Struktur Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 75ksi (Lin, dkk.; 2000)..... 207

Gambar 3.140 Grafik Tahanan Tegangan Lekatan Hubungan Balok-Kolom Interior Elemen Struktur Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 75ksi (Lin, dkk.; 2000)..... 208

Gambar 3.141 Grafik Perbandingan Rasio hc/db Antara ACI 318 (Lin, dkk.; 2000) dan Aoyama (Aoyama; 2001) Berdasarkan Besar Beban Aksial dan Mutu Material (NIST GCR 14-917-30, NEHRP; 2014) 211

Gambar 3.142 Grafik Perbandingan Kebutuhan Dimensi Kolom pada HBK Interior Antara ACI 318, NZS 3101:1995, dan EN 1998-1:2003 Berdasarkan Besar Beban Aksial dan Mutu Material (Dr. S. R. Uma, Dr. Sudhir K. Jain; IITK-GSDMA-EQ32-V1.0) 213

Gambar 3.143 Mekanisme Tegangan Lekatan Material Beton dan Baja Tulangan pada Hubungan Balok-Kolom Eksterior (Jack Moehle; 2014). 214

Gambar 3.144 Spesifikasi Tipe Kait Tambahan Berdasarkan ACI 318 (Jack Moehle; 2014).....	215
Gambar 3.145 Spesifikasi Tulangan Sengkang dan Pengikat Area Penyaluran Dengan Kait pada Hubungan Balok-Kolom Eksterior (Jack Moehle; 2014).....	216
Gambar 3.146 Spesifikasi dan Penampang Kolom Spesimen untuk Uji Penyaluran Dengan Kait Hubungan Balok-Kolom Eksterior (Aoyama; 2001).....	218
Gambar 3.147 Grafik Perbandingan Kebutuhan Dimensi Kolom pada HBK Eksterior Antara ACI 318, NZS 3101:1995, dan EN 1998-1:2003 Berdasarkan Besar Beban Aksial dan Mutu Material (Dr. S. R. Uma, Dr. Sudhir K. Jain; IITK-GSDMA-EQ32-V1.0).....	221
Gambar 3.148 Konsep Desain Kolom Kuat – Balok Lemah (NIST GCR 8-917-1, NEHRP; 2008).....	223
Gambar 3.149 Perbandingan Diagram Momen Nominal Elemen Struktur Kolom Akibat Beban Horisontal Statik dan Dinamik (T. Paulay, M. J. N. Priestley; 1992).....	227
Gambar 3.150 Mekanisme Lentur Struktur Balok dan Pelat Beton bertulang (MacGregor dan Wight; 2009).....	229
Gambar 3.151 Desakan Inti Beton dan Keretakan Selimut Beton pada Elemen Struktur Beton Bertulang (Jack Moehle; 2014).....	230
Gambar 3.152 Tahanan Lateral Baja Tulangan Pengekang dan Idealisasi Peristiwa Tekuk Baja Tulangan Longitudinal (Jack Moehle; 2014)	231

Gambar 3.153	Modulus Tangensial pada Tegangan Ultimit Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A706 60ksi (Naito; 1999)	233
Gambar 3.154	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Tarik dan Tekan Baja Tulangan dengan Parameter Mutu dan rasio s / db yang Berbeda (NIST GCR 14-917-30, NEHRP; 2014)	234
Gambar 3.155	Variasi Faktor Reduksi Kuat Nominal Lentur Akibat Regangan Baja Tulangan Tarik Terluar (ACI 318-14)	239
Gambar 3.156	Kurva Daktilitas Lengkung Elemen Struktur Lentur Menggunakan Baja Tulangan ASTM A615 60ksi dan ASTM A1035 100ksi dengan $f_c' = 4$ ksi; $\rho' / \rho = 0$; $d' / d = 0$ (NCHRP Report 679; Appendix C, 2011)	241
Gambar 3.157	Korelasi Hasil Perhitungan Batasan Kontrol Regangan Penampang Terkendali Tarik dan Tekan Elemen Struktur Lentur dengan Baja Tulangan ASTM A1035 100ksi (NCHRP Report 679; Appendix C, 2011)	242
Gambar 3.158	Variasi Faktor Reduksi Kuat Nominal Lentur Akibat Regangan Baja Tulangan Tarik Terluar ASTM A615 60ksi dan ASTM A1035 (ACI ITG-6R, 2010)	243
Gambar 3.159	Variasi Faktor Reduksi Kuat Nominal Lentur Akibat Regangan Baja Tulangan Tarik Terluar ASTM A615 60ksi dan ASTM 1035 100ksi (Bahram M. Shahrooz, M.ASCE, dkk.; 2014)	244
Gambar 3.160	Variasi Faktor Reduksi Kuat Nominal Lentur Akibat Regangan Baja Tulangan Tarik Terluar ASTM A615 414MPa, ASTM A706	

	550MPa dan ASTM 1035 689MPa (<i>AASHTO LRFD Bridge Design Specification</i> , 2014).....	245
Gambar 3.161	Batasan Redistribusi Momen untuk Kapasitas Rotasi Minimum Penampang Terkendali Tarik (ACI 318-14; Pasal 6.6.5).....	248
Gambar 3.162	Ilustrasi Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Agregat, Pasta Semen, dan Material Beton (Iswandi Imran & Ediansjah Zulkifli; 2014)	251
Gambar 3.163	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Dengan Berbagai Mutu Kuat Tekan (<i>MacGregor dan Wight</i> 2009).....	253
Gambar 3.164	Model Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton <i>Hognestad</i> (Akanshu Sharma, G. R. Reddy, K. K. Vaze; 2011).....	256
Gambar 3.165	Model Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton <i>Kent dan Park</i> (Madhu Karthik Murugesan Reddiar, <i>Texas A&M University</i> ; 2009)	259
Gambar 3.166	Model Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton <i>Scott</i> , dkk. (Madhu Karthik Murugesan Reddiar, <i>Texas A&M University</i> ; 2009)	261
Gambar 3.167	Model Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Dari Uji Monotonik Material Beton Dengan dan Tanpa Tulangan Pengekang (J. B. Mander, M. J. Priestley, R. Park, Fellow; ASCE; 1988)	262
Gambar 3.168	Luasan Efektif Inti Beton Terkekang untuk Bentuk Pengekang Segi Empat (J. B. Mander, M. J. Priestley, R. Park, Fellow; ASCE; 1988)	265

Gambar 3.169	Model Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton <i>Mander</i> , dkk. (Madhu Karthik Murugesan Reddiar, <i>Texas A&M University</i> ; 2009)	265
Gambar 3.170	Perbandingan Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang dengan Metode <i>Scott</i> dan <i>Mander</i>	266
Gambar 3.171	Perbandingan Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Elemen Struktur Balok Beton Bertulang dengan Metode <i>Scott</i> dan <i>Mander</i>	267
Gambar 4.1	Model Tipikal Tiga Dimensi Struktur Gedung Apartemen 20 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (<i>Open Frame</i>)	271
Gambar 4.2	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton <i>Unconfined</i> 35MPa dengan Metode <i>Kent and Park</i>	273
Gambar 4.3	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton <i>Unconfined</i> 45MPa dengan Metode <i>Kent and Park</i>	274
Gambar 4.4	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan EPSH Material Baja Tulangan ASTM A706 80ksi (550MPa).....	277
Gambar 4.5	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan RH Material Baja Tulangan ASTM A1035 100ksi (690MPa).....	279
Gambar 4.6	Kurva Percepatan Respon Spektra Gempa Maksimum MCE_R di Permukaan Tanah Sedang, Denpasar, Bali	288
Gambar 4.7	Kurva Percepatan Respon Spektra Gempa Desain di Permukaan Tanah Sedang, Denpasar, Bali.....	289

Gambar 4.8	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Chichi, Taiwan</i> arah Horizontal 1	292
Gambar 4.9	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Chichi, Taiwan</i> arah Horizontal 2	292
Gambar 4.10	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Imperial Valley, El Centro</i> arah Horizontal 1	292
Gambar 4.11	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Imperial Valley, El Centro</i> arah Horizontal 2	293
Gambar 4.12	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Kobe, Shin Osaka</i> arah Horizontal 1	293
Gambar 4.13	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Kobe, Shin Osaka</i> arah Horizontal 2	293
Gambar 4.14	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Landers, North Palm Springs</i> arah Horizontal 1	294
Gambar 4.15	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Landers, North Palm Springs</i> arah Horizontal 2	294
Gambar 4.16	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Loma Prieta, Hollister – South & Pine</i> arah Horizontal 1	294
Gambar 4.17	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Loma Prieta, Hollister – South & Pine</i> arah Horizontal 2	295
Gambar 4.18	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Northridge, Rinaldi Receiving Sta</i> arah Horizontal 1	295
Gambar 4.19	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Northridge, Rinaldi Receiving Sta</i> arah Horizontal 2	295

Gambar 4.20	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>San Fernando, Whitter Narrow Dam</i> arah Horizontal 1	296
Gambar 4.21	Rekaman Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>San Fernando, Whitter Narrow Dam</i> arah Horizontal 2	296
Gambar 4.22	Batasan Geometri Elemen Struktur Balok Rangka Pemikul Momen Khusus (NIST GCR 16 – 917 – 40, NEHRP; 2016) ...	305
Gambar 4.23	Batasan Geometri Elemen Struktur Kolom Rangka Pemikul Momen Khusus (NIST GCR 16 – 917 – 40, NEHRP; 2016) ...	318
Gambar 4.24	Berat Seismik Efektif Struktur pada Pemodelan ETABS	319
Gambar 4.25	Gerak Tiga Derajat Kebebasan Dinamis Model Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	320
Gambar 4.26	Gerak Tiga Derajat Kebebasan Dinamis Model Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	321
Gambar 4.27	Ilustrasi Periode Fundamental yang Digunakan (Periode Getar Struktur; <i>Rezky Mulia</i> , 2013).....	323
Gambar 4.28	Kurva Periode Fundamental Pendekatan Sistem Rangka Pemikul Momen 100% Gaya Gempa (SNI 1726:2012, Pasal 7.8.2.1) ...	324
Gambar 4.29	Percepatan Respon Spektra Gempa Desain Minimum Model Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa).....	325

Gambar 4.30	Klasifikasi Ketidakberaturan Horisontal 1a dan 1b Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa)	333
Gambar 4.31	Klasifikasi Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	336
Gambar 4.32	Klasifikasi Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	337
Gambar 4.33	Gaya Geser Tingkat Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa).	341
Gambar 4.34	Klasifikasi Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa)	343
Gambar 4.35	Batasan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) yang Menahan 35% Lebih Gaya Geser Dasar Seismik	345
Gambar 4.36	Batasan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) yang Menahan 35% Lebih Gaya Geser Dasar Seismik.....	346
Gambar 4.37	Lokasi Balok Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa) yang Dikondisikan untuk Kehilangan Tahanan Momen ($M_2 - M_3$)	347

Gambar 4.38	Reduksi Kuat Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa) Akibat Kehilangan Tahanan Momen	349
Gambar 4.39	Batasan Simpangan antar Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa).....	352
Gambar 4.40	Denah Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Lantai 1... ..	354
Gambar 4.41	Denah Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Lantai 2-10	354
Gambar 4.42	Denah Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Lantai 11-15	355
Gambar 4.43	Denah Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Lantai 16-20	355
Gambar 4.44	Denah Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Lantai 1.	356
Gambar 4.45	Denah Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Lantai 2-10	356
Gambar 4.46	Denah Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Lantai 11-15	357
Gambar 4.47	Denah Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Lantai 16-20	357
Gambar 4.48	Desain Penulangan Kolom Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Lantai 16-20	361

Gambar 4.49	Desain Penulangan Kolom Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Lantai 11-15	362
Gambar 4.50	Desain Penulangan Kolom Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Lantai 1-10	362
Gambar 4.51	Desain Penulangan Kolom Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Lantai 16-20	363
Gambar 4.52	Desain Penulangan Kolom Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Lantai 11-15	363
Gambar 4.53	Desain Penulangan Kolom Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Lantai 1-10	364
Gambar 4.54	Desain Penulangan Pelat Lantai Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa)	364
Gambar 4.55	<i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Chichi, Taiwan</i> Tak Terskala	370
Gambar 4.56	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Chichi, Taiwan</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	370
Gambar 4.57	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Chichi, Taiwan</i> Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa)	370
Gambar 4.58	<i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Imperial Valley, El Centro</i> Tak Terskala	371
Gambar 4.59	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Imperial Valley, El Centro</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	371

Gambar 4.60	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Imperial Valley, El Centro</i> Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	371
Gambar 4.61	<i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Kobe, Shin Osaka</i> Tak Terskala	372
Gambar 4.62	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Kobe, Shin Osaka</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)...	372
Gambar 4.63	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Kobe, Shin Osaka</i> Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).	372
Gambar 4.64	<i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Landers, North Palm</i> Tak Terskala	373
Gambar 4.65	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Landers, North Palm</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)..	373
Gambar 4.66	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Landers, North Palm</i> Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa)	373
Gambar 4.67	<i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Loma Prieta, Hollister SP</i> Tak Terskala	374
Gambar 4.68	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Loma Prieta, Hollister SP</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	374
Gambar 4.69	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Loma Prieta, Hollister SP</i> Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	374

Gambar 4.70	<i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Northridge</i> , <i>Rinaldi R.</i> Tak Terskala.....	375
Gambar 4.71	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Northridge</i> , <i>Rinaldi R.</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	375
Gambar 4.72	Skala FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>Northridge</i> , <i>Rinaldi R.</i> Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	375
Gambar 4.73	<i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>SanFernando</i> , <i>WNarrowD</i> Tak Terskala	376
Gambar 4.74	Skal FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>SanFernando</i> , <i>WNarrowD</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	376
Gambar 4.75	Skal FP <i>Pseudospectra</i> Percepatan Gerak Tanah Aktual <i>SanFernando</i> , <i>WNarrowD</i> Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	376
Gambar 4.76	<i>Pseudospectra</i> Rata-Rata Percepatan Gerak Tanah Aktual dengan Skala <i>Fundamental Period</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	377
Gambar 4.77	<i>Pseudospectra</i> Rata-Rata Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Dengan Skala <i>Suite Scale</i>	377

Gambar 4.78	<i>Pseudospectra</i> Rata-Rata Percepatan Gerak Tanah Aktual dengan Skala <i>Fundamental Period</i> Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	378
Gambar 4.79	<i>Pseudospectra</i> Rata-Rata Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Dengan Skala <i>Suite Scale</i>	378
Gambar 4.80	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Chichi, Taiwan</i> arah Horizontal 2 Terskala Model Struktur 80ksi (550MPa)	379
Gambar 4.81	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Chichi, Taiwan</i> arah Horizontal 2 Terskala Model Struktur 100ksi (690MPa).....	380
Gambar 4.82	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Im. Valley, ElCentro</i> arah Horizontal 1 Terskala Model Struktur 80ksi (550MPa)....	380
Gambar 4.83	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Im. Valley, ElCentro</i> arah Horizontal 1 Terskala Model Struktur 100ksi (690MPa)..	380
Gambar 4.84	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Kobe, Shin Osaka</i> arah Horizontal 2 Terskala Model Struktur 100ksi (690MPa).....	381
Gambar 4.85	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Kobe, Shin Osaka</i> arah Horizontal 2 Terskala Model Struktur 100ksi (690MPa).....	381
Gambar 4.86	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Landers, North Palm</i> arah Horizontal 1 Terskala Model Struktur 80ksi (550MPa)....	381
Gambar 4.87	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Landers, North Palm</i> arah Horizontal 1 Terskala Model Struktur 100ksi (690MPa)..	382

Gambar 4.88	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Loma Prieta, Hollister</i> <i>SP</i> arah Horizontal 1 Terskala Model Struktur 80ksi (550MPa)	382
Gambar 4.89	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Loma Prieta, Hollister</i> <i>SP</i> arah Horizontal 1 Terskala Model Struktur 100ksi (690MPa)	382
Gambar 4.90	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Northridge, Rinaldi R.</i> arah Horizontal 1 Terskala Model Struktur 80ksi (550MPa)....	383
Gambar 4.91	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>Northridge, Rinaldi R.</i> <i>SP</i> arah Horizontal 1 Terskala Model Struktur 100ksi (690MPa)	383
Gambar 4.92	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>SanFernando, WNarr.D</i> arah Horizontal 2 Terskala Model Struktur 80ksi (550MPa)....	383
Gambar 4.93	Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur <i>SanFernando, WNarr.D</i> arah Horizontal 2 Terskala Model Struktur 100ksi (690MPa)..	384
Gambar 4.94	Perbandingan Nilai Daktilitas Kelengkungan dengan $f_c' = 30\text{MPa}$ dan $f_y = 500\text{MPa}$ (<i>Curvature Ductility of Concrete Element under High Strain-Rates, Zubair Imam Syed et. al.; 2012</i>)	386
Gambar 4.95	Variasi Nilai Daktilitas Kelengkungan Elemen Struktur Balok Beton Bertulang dengan $f_y = 414\text{MPa}$ (<i>Reinforced Concrete Structure, R. Park and T. Paulay; 1933</i>).....	387

Gambar 4.96 Struktur Kantilever Kolom Beton Bertulang dengan Beban Lateral Ultimit (*Reinforced Concrete Structure, R. Park and T. Paulay; 1933*) 389

Gambar 4.97 Variasi Nilai Daktilitas Kelengkungan Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang dengan $f_y = 414\text{MPa}$ dan $f_c' = 27.6\text{MPa}$ (*Reinforced Concrete Structure, R. Park and T. Paulay; 1933*) 391

Gambar 4.98 Penampang Elemen Struktur Beton Bertulang pada *Xtract v.3.0.8* 392

Gambar 4.99 Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Terkekang Elemen Struktur Kolom dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) 394

Gambar 4.100 Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Terkekang Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) 395

Gambar 4.101 Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Terkekang Elemen Struktur Kolom dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) 395

Gambar 4.102 Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Terkekang Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) 396

Gambar 4.103 Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Tak Terkekang *Kent and Park 35MPa (Xtract v.3.0.8)*..... 397

Gambar 4.104 Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Tak Terkekang *Kent and Park 45MPa (Xtract v.3.0.8)*..... 397

Gambar 4.105	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Baja Tulangan dengan Mutu 80ksi (550MPa) (<i>Xtract v.3.0.8</i>)	398
Gambar 4.106	Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Baja Tulangan dengan Mutu 100ksi (690MPa) (<i>Xtract v.3.0.8</i>)	398
Gambar 4.107	Contoh Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Terkekang <i>Kent and Park</i> Kolom (<i>Xtract v.3.0.8</i>)	399
Gambar 4.108	Contoh Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Material Beton Terkekang <i>Kent and Park</i> Balok (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	399
Gambar 4.109	Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Balok B48-A-4 (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	401
Gambar 4.110	Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Balok B69A-A (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	401
Gambar 4.111	Hubungan Besar Gaya Aksial Terhadap Tingkat Daktilitas Kelengkungan Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang (Prof. Oral Buyukozturk, <i>Massachusetts Institute of Technology</i> ; 2004)	405
Gambar 4.112	Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks dengan $P = P_{min}$ (<i>Xtract v.3.0.8</i>)	405
Gambar 4.113	Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks dengan $P = 0.1 A_g f_c'$ (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	406

Gambar 4.114 Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan
Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks dengan $P = 0.2 Ag f_c'$
(*Xtract v.3.0.8*)..... 406

Gambar 4.115 Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan
Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks dengan $P = P_{max}$ (*Xtract*
v.3.0.8) 406

Gambar 4.116 Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan
Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks dengan $P = 0.3 Ag f_c'$
(*Xtract v.3.0.8*)..... 407

Gambar 4.117 Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan
Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks dengan $P = 0.4 Ag f_c'$
(*Xtract v.3.0.8*)..... 407

Gambar 4.118 Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan
Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks dengan $P = P_{balance}$
(*Xtract v.3.0.8*)..... 407

Gambar 4.119 Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan
Elemen Struktur Kolom K1010A1-Eks dengan $P = P_{min}$ (*Xtract*
v.3.0.8) 408

Gambar 4.120 Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan
Elemen Struktur Kolom K1010A1-Eks dengan $P = 0.1 Ag f_c'$
(*Xtract v.3.0.8*)..... 408

Gambar 4.121 Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan
Elemen Struktur Kolom K1010A1-Eks dengan $P = 0.2 Ag f_c'$
(*Xtract v.3.0.8*)..... 408

Gambar 4.122	Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom K1010A1-Eks dengan $P = P_{max}$ (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	409
Gambar 4.123	Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom K1010A1-Eks dengan $P = 0.3 A_g f_c'$ (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	409
Gambar 4.124	Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom K1010A1-Eks dengan $P = 0.4 A_g f_c'$ (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	409
Gambar 4.125	Contoh Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom K1010A1-Eks dengan $P = P_{balance}$ (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	410
Gambar 4.126	Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan <i>Bilinear</i> dengan Metode Penjumlahan Integrasi Numerik (Garret Richard Hagen; 2012)	411
Gambar 4.127	Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Aktual Elemen Struktur Balok B69A-A dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Momen Negatif (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	413
Gambar 4.128	Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Balok B69A-A dari <i>Xtract V.3.0.8</i> Dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Momen Negatif.....	414
Gambar 4.129	Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan <i>Bilinear</i> Elemen Struktur Balok B69A-A dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Momen Negatif (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	415

Gambar 4.130	Variasi Mekanisme Plastifikasi Struktur Bangunan dengan Sistem Rangka Penahan Momen (Jack Moehle; 2014).....	420
Gambar 4.131	Perbandingan Mekanisme Keruntuhan dan Perilaku Histeresis Struktur Bangunan Gedung dengan Sistem Rangka Penahan Momen (<i>Gujarat State Disaster Management Authority; India</i>)	421
Gambar 4.132	Ilustrasi Metode Desain Kapasitas Melalui Analogi Rantai (<i>Gujarat State Disaster Management Authority; India</i>)	422
Gambar 4.133	Mekanisme Sendi Plastis Akibat Beban Lentur pada Struktur Kantilever (Jack Moehle; 2014)	423
Gambar 4.134	Kurva General Hubungan Tahanan Beban Terhadap Deformasi (ASCE/SEI 41; 2013)	424
Gambar 4.135	Tabel 10-7, <i>Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures Reinforced Concrete Beams</i> (ASCE/SEI 41; 2013)	425
Gambar 4.136	Tabel 10-8, <i>Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures Reinforced Concrete Columns</i> (ASCE/SEI 41; 2013)	426
Gambar 4.137	Kurva Hubungan Momen Kelengkungan Aktual dan <i>Bilinear</i> Elemen Struktur Balok B69A-A dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	427
Gambar 4.138	<i>Input</i> Sendi Plastis Elemen Struktur Balok B69A-A dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) (ETABS V.16.0.2).....	432

Gambar 4.139	Mekanisme Tegangan-Regangan Penampang Elemen Struktur Kolom Akibat Interaksi Momen dan Gaya Aksial (Jack Moehle; 2014).....	433
Gambar 4.140	Kurva Hubungan Momen Kelengkungan Aktual dan <i>Bilinear</i> Elemen Struktur Kolom K99A1 dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Momen Sumbu X/Y dan Gaya Aksial $0.1 A_g f_c'$ (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	434
Gambar 4.141	<i>Input</i> Sendi Plastis Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks dengan Variasi Gaya Aksial Konstan (ETABS V.16.0.2)	435
Gambar 4.142	Kurva Hubungan Rasio Momen-Rotasi Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks.....	435
Gambar 4.143	Kurva Hubungan Rasio Momen-Rotasi Elemen Struktur Kolom K99A1-Int	436
Gambar 4.144	Kurva Hubungan Rasio Momen-Rotasi Elemen Struktur Kolom K99A1-Cor.....	436
Gambar 4.145	Diagram Interaksi Elemen Struktur Kolom K99A dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Momen pada Sumbu 0 dan 90 Derajat (<i>Xtract v.3.0.8</i>)	437
Gambar 4.146	Diagram Interaksi Elemen Struktur Kolom K99A dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Momen pada Sumbu 45 Derajat (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	438
Gambar 4.147	<i>Input</i> Diagram Interaksi Elemen Struktur Kolom K99A1-Eks akibat Momen pada Sumbu 0, 45, dan 90 Derajat (ETABS V.16.0.2).....	439

Gambar 4.148	Fase Interval Percepatan Gempa dari Rekaman Gerak Tanah Aktual (Edi Supriyanto, S.T.).....	443
Gambar 4.149	Variasi Metode Integrasi Numerik pada ETABS V.16.0.2.....	445
Gambar 4.150	Konstanta Skala Matriks Massa dan Kekakuan Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	447
Gambar 4.151	Konstanta Skala Matriks Massa dan Kekakuan Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	448
Gambar 4.152	Kurva Hubungan <i>Rayleigh Damping</i> dengan Frekuensi Sirkular Sistem Struktur (FEMA P-750; 2009).....	448
Gambar 4.153	Level Taraf Kinerja Struktur Bangunan Gedung Secara Umum (FEMA 451B; 2007).....	450
Gambar 4.154	Ketentuan Level Taraf Kinerja Berdasarkan Fungsi Struktur Bangunan Gedung (SEAOC's Vision; 2000).....	453
Gambar 4.155	Momen-Rotasi sebagai Batasan Kriteria Desain Taraf Kinerja Elemen Struktur Bangunan Gedung (FEMA 451B; 2007).....	454
Gambar 4.156	Ilustrasi Kriteria Desain Taraf Kinerja pada Kurva Hubungan Momen-Rotasi Elemen Struktur (ASCE/SEI 41; 2013).....	455
Gambar 4.157	Tabel 6-7, <i>Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures Reinforced Concrete Beams</i> (FEMA 356; 2013).....	456
Gambar 4.158	Tabel 6-8, <i>Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures Reinforced Concrete Beams</i> (FEMA 356; 2013).....	456

Gambar 4.159	Kriteria Desain Taraf Kinerja Kurva Hubungan Momen-Rotasi Elemen Struktur pada ASCE/SEI 41-13	457
Gambar 4.160	Model Kurva Sendi Plastis Elemen Struktur Balok B69A-A dengan Batasan Kriteria Desain Taraf Kinerja Sesuai ASCE/SEI 41-13	460
Gambar 4.161	Pemodelan Kurva Sendi Plastis dan Kriteria Desain Taraf Kinerja Elemen Struktur Balok B69A-A pada program ETABS V.16.0.2	460
Gambar 4.162	Ilustrasi Taraf Kinerja Respon Struktur Bangunan Secara Global (FEMA 451B; 2007)	461
Gambar 4.163	<i>Roof Drift</i> dan <i>Roof Drift Rasio</i> (ATC-40; 1996).....	462
Gambar 5.1	Hasil Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom K99A1 dari <i>Xtract</i> V.3.0.8 Gaya Aksial Tekan Konstan dengan $P = P_{balance}$	475
Gambar 5.2	Pengaturan Jumlah Step Iterasi Analisis <i>Momen Curvature</i> pada program <i>Xtract</i> v.3.0.8	477
Gambar 5.3	Pendekatan Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan <i>Bilinear</i> Elemen Struktur Kolom K99A1 akibat Gaya Aksial Tekan Konstan $P_{balance}$	478
Gambar 5.4	<i>Input Data Ground Motion</i> Chichi_Taiwan pada ETABS v.16.0.2 untuk Model Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	480

Gambar 5.5	Ilustrasi Aplikasi Percepatan Gerak Tanah Horizontal yang Bekerja Secara Ortogonal pada Sumbu Utama Bangunan Gedung (<i>Gujarat State Disaster Management Authority; India</i>)	481
Gambar 5.6	Ilustrasi Aplikasi Percepatan Gerak Tanah Horizontal yang Bekerja Secara Ortogonal pada Sumbu Bangunan Gedung.....	482
Gambar 5.7	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Chichi_Taiwan X	489
Gambar 5.8	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Chichi_Taiwan Y	491
Gambar 5.9	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Chichi_Taiwan X	493
Gambar 5.10	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Chichi_Taiwan Y	495
Gambar 5.11	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); El Centro X	497
Gambar 5.12	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); El Centro Y	499
Gambar 5.13	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); El Centro X	501
Gambar 5.14	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); El Centro Y	503
Gambar 5.15	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Kobe_Japan X	506

Gambar 5.16	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Kobe_Japan Y	509
Gambar 5.17	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Kobe_Japan X	511
Gambar 5.18	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Kobe_Japan Y	513
Gambar 5.19	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Landers X.....	516
Gambar 5.20	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Landers Y	518
Gambar 5.21	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Landers X.....	520
Gambar 5.22	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Landers Y	522
Gambar 5.23	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Loma Prieta X	524
Gambar 5.24	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Loma Prieta Y	526
Gambar 5.25	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Loma Prieta X	529
Gambar 5.26	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Loma Prieta Y	531
Gambar 5.27	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Northridge X	534

Gambar 5.28	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); Northridge Y	537
Gambar 5.29	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Northridge X	540
Gambar 5.30	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); Northridge Y	542
Gambar 5.31	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); San Fernando X.....	545
Gambar 5.32	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa); San Fernando Y.....	547
Gambar 5.33	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); San Fernando X.....	549
Gambar 5.34	Pembentukan Sendi Plastis Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa); San Fernando Y.....	552
Gambar 5.35	Skema Model Tipikal Sendi Plastis Elemen Struktur Balok.....	557
Gambar 5.36	Skema Label Tipikal Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa).....	558
Gambar 5.37	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Chichi_Taiwan.....	559
Gambar 5.38	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Imperial Valley-06..	560
Gambar 5.39	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Kobe_Japan	561

Gambar 5.40	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Landers	562
Gambar 5.41	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Loma Prieta.....	563
Gambar 5.42	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Northridge-01.....	564
Gambar 5.43	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa San Fernando	565
Gambar 5.44	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Chichi_Taiwan.....	566
Gambar 5.45	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Imperial Valley-06	567
Gambar 5.46	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Kobe_Japan.....	568
Gambar 5.47	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Landers	569
Gambar 5.48	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Loma Prieta.....	570
Gambar 5.49	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Northridge-01.....	571
Gambar 5.50	<i>Component Performance</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa San Fernando	572
Gambar 5.51	<i>Interstory Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Chichi_Taiwan.....	576

Gambar 5.52 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Chichi_Taiwan..... 576

Gambar 5.53 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa El Centro..... 576

Gambar 5.54 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa El Centro..... 577

Gambar 5.55 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Kobe_Japan 577

Gambar 5.56 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Kobe_Japan..... 577

Gambar 5.57 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Landers 578

Gambar 5.58 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Landers 578

Gambar 5.59 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Loma Prieta..... 578

Gambar 5.60 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Loma Prieta..... 579

Gambar 5.61 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa Northridge-01 579

Gambar 5.62 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa Northridge-01..... 579

Gambar 5.63 *Interstory Drift Ratio* Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa San Fernando 580

Gambar 5.64	<i>Interstory Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa San Fernando	580
Gambar 5.65	Rata-rata <i>Interstory Drift Ratio</i> arah X Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa arah X.....	581
Gambar 5.66	Rata-rata <i>Interstory Drift Ratio</i> arah Y Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa arah X.....	581
Gambar 5.67	Rata-rata <i>Interstory Drift Ratio</i> arah X Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa arah Y	582
Gambar 5.68	Rata-rata <i>Interstory Drift Ratio</i> arah Y Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) akibat Gempa arah Y	582
Gambar 5.69	Rata-rata <i>Interstory Drift Ratio</i> arah X Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa arah X.....	583
Gambar 5.70	Rata-rata <i>Interstory Drift Ratio</i> arah Y Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa arah X.....	583
Gambar 5.71	Rata-rata <i>Interstory Drift Ratio</i> arah X Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa arah Y	584

Gambar 5.72	Rata-rata <i>Interstory Drift Ratio</i> arah Y Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Gempa arah Y	584
Gambar 5.72	Arah Perpindahan Lantai Tingkat Tipikal pada Sumbu Global Struktur Bangunan Gedung.....	586
Gambar 5.73	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Chichi_Taiwan arah X.....	587
Gambar 5.74	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Chichi_Taiwan arah Y.....	587
Gambar 5.75	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Chichi_Taiwan arah X.....	588
Gambar 5.76	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Chichi_Taiwan arah Y.....	588
Gambar 5.73	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Imperial Valley-06, El Centro arah X.....	589
Gambar 5.74	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Imperial Valley-06, El Centro arah Y	589

Gambar 5.75	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Imperial Valley-06, El Centro arah X	590
Gambar 5.76	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Imperial Valley-06, El Centro arah Y	590
Gambar 5.73	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Kobe_Japan arah X	591
Gambar 5.74	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Kobe_Japan arah Y	591
Gambar 5.75	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Kobe_Japan arah X	592
Gambar 5.76	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Kobe_Japan arah Y	592
Gambar 5.73	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Landers arah X	593
Gambar 5.74	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Landers arah Y	593

Gambar 5.75 Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Landers arah X..... 594

Gambar 5.76 Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Landers arah Y..... 594

Gambar 5.73 Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Loma Prieta arah X 595

Gambar 5.74 Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Loma Prieta arah Y 595

Gambar 5.75 Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Loma Prieta arah X 596

Gambar 5.76 Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Loma Prieta arah Y 596

Gambar 5.73 Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Northridge-01 arah X 597

Gambar 5.74 Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Northridge-01 arah Y 597

Gambar 5.75	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Northridge-01 arah X	598
Gambar 5.76	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa Northridge-01 arah Y	598
Gambar 5.73	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa San Fernando arah X	599
Gambar 5.74	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa San Fernando arah Y	599
Gambar 5.75	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa San Fernando arah X	600
Gambar 5.101	Respon Perpindahan Lantai Tingkat Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Gempa San Fernando arah Y	600

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Karakteristik Material Baja Tulangan <i>Grade</i> 500 (AS/NZS 4671:2001 “ <i>Steel Reinforcing Material</i> ”).....	29
Tabel 3.2	Nilai Batas Kuat Leleh Baja Tulangan Mutu Tinggi (ACI 318-14; <i>Table 20.2.2.4a</i>)	64
Tabel 3.3	Rangkuman Hasil Uji Tarik Baja Tulangan BJTD40 (<i>Compliance</i>); (Imran dkk., 2008).....	75
Tabel 3.4	Rangkuman Hasil Uji Tarik Baja Tulangan BJTD40 (<i>Non-Compliance</i>); (Imran dkk., 2008).....	75
Tabel 3.5	Parameter Baja Tulangan U50; D10 (BPPT Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, No. 2009 C 933).....	81
Tabel 3.6	Parameter Baja Tulangan U50; D13 (BPPT Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, No. 2009 C 933).....	82
Tabel 3.7	Parameter Baja Tulangan U50; D16 (BPPT Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, No. 2009 C 933).....	82
Tabel 3.8	Parameter Baja Tulangan U50; D19 (BPPT Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, No. 2009 C 933).....	82
Tabel 3.9	Parameter Baja Tulangan U50; D22 (BPPT Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, No. 2009 C 933).....	83
Tabel 3.10	Parameter Baja Tulangan U50; D25 (BPPT Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, No. 2009 C 933).....	83
Tabel 3.11	Parameter Baja Tulangan U50; D32 (BPPT Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, No. 2009 C 933).....	83

Tabel 3.12	Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A706 (ASTM A706, 2014).	87
Tabel 3.13	Rekomendasi Parameter untuk Kurva EPSH ASTM A706 Mutu 80 (RD-15-15, <i>A706 Grade 80 Reinforcement for Seismic Applications</i>)	93
Tabel 3.14	Perbandingan Batas Diameter Bengkokan Minium Dari Hasil Uji ASTM A706 dengan Standar ACI 318-14 (ASTM, 2014; ACI, 2014)	95
Tabel 3.15	Data Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A706 Diameter D13, D16, D29, dan D32 (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	97
Tabel 3.16	Nilai Rata-Rata Data Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A706 Diameter D13, D16, D29, dan D32 (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>).....	97
Tabel 3.17	Besar Beban Siklik pada Benda Uji Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang dengan Baja Tulangan ASTM A706 (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>).....	100
Tabel 3.18	Hasil Uji Parameter Proses Keruntuhan Benda Uji Elemen Kolom Beton Bertulang dengan Baja Tulangan ASTM A706 (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>).....	101
Tabel 3.19	Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A615 (ASTM A615, 2015)	106
Tabel 3.20	Spesifikasi Baja Tulangan Daktail dengan Mutu Tinggi (<i>Appendix A, RGA #03-14, Charles Pankow Foundation; WJE</i>).....	109

Tabel 3.21	Spesifikasi Batas Diameter Bengkokan Minimum Baja Tulangan Daktil Mutu Tinggi (<i>Appendix A, RGA #03-14, Charles Pankow Foundation; WJE</i>).....	110
Tabel 3.22	Spesifikasi Sifat Mekanik Baja Tulangan <i>New RC Project</i> (Dr. Shiro Morita; Aoyama, 2001)	111
Tabel 3.23	Uji Produksi Baja Tulangan USD685B (Hitoshi Shiohara; Aoyama, 2001).....	113
Tabel 3.24	Perbandingan Baja Tulangan USD685 dari Jepang dan SD685 dari Taiwan (Aoyama, 2001; Lee, 2012).....	116
Tabel 3.25	Hasil Uji Tarik Baja Tulangan AS/NZS 500E (AS/NZS 4671; 2001)	120
Tabel 3.26	Hasil Uji Monotonik Kuat Tarik Baja Tulangan 100ksi dan 120ksi (WJE, 2008).....	121
Tabel 3.27	Hasil Uji Monotonik Kuat Tekan Baja Tulangan Mutu 100ksi dan 120ksi (WJE, 2008).....	123
Tabel 3.28	Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A1035 (ASTM A1035, 2014)	124
Tabel 3.29	Parameter <i>Ramberg-Osgood Function</i> dari Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A1035 Mutu 690MPa (<i>NCHRP Report 679; 2011</i>)	126
Tabel 3.30	Parameter Design Benda Uji Beban Siklik Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang (J. M. Rautenberg; 2011).....	135
Tabel 3.31	Hasil Uji Tarik Baja Tulangan SAS 670 (Falkner et al., 2008).....	140

Tabel 3.32	Spesifikasi Baja Tulangan SAS 670 pada AC237 (AC237, USA, 2009).....	141
Tabel 3.33	Parameter Design Benda Uji Beban Siklik Elemen Struktur Balok Beton Bertulang (H. Tavallali; 2011).....	144
Tabel 3.34	Hasil Uji Tarik Seluruh Baja Tulangan ASTM (ACI ITG-6R, 2010)	154
Tabel 3.35	Perbandingan Elongasi Untuk Panjang Benda Uji 8 in (200mm) Baja Tulangan ASTM (ACI ITG-6R, 2010).....	155
Tabel 3.36	Data Elongasi Total Untuk Baja Tulangan ASTM A615 dan A706 (Bournonville et al., 2004; CRSI, 2013).....	156
Tabel 3.37	Faktor Amplifikasi Dinamik Momen Nominal Kolom (T. Paulay, M. J. N. Priestley; 1992)	228
Tabel 3.38	Spesifikasi Benda Uji Elemen Struktur Balok Beton Bertulang dengan Baja Tulangan Mutu Tinggi yang Mengalami Sendi Plastis Akibat Beban Uji (NIST GCR 14-917-30, NEHRP; 2014).....	236
Tabel 3.39	Spesifikasi Benda Uji Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang dengan Baja Tulangan Mutu Tinggi yang Mengalami Sendi Plastis Akibat Beban Uji (NIST GCR 14-917-30, NEHRP; 2014).....	236
Tabel 4.1	Data Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A706; 80ksi (550MPa) (<i>Drit Sokoli, B. E., University of Texas, 2014</i>)	275
Tabel 4.2	Data Hasil Uji Tarik Baja Tulangan ASTM A1035; 100ksi (690MPa) (<i>WJE, 2008</i>).....	278
Tabel 4.3	Data Perhitungan Pendekatan Tegangan Leleh Baja Tulangan ASTM A1035; 100ksi (690MPa).....	280

Tabel 4.4	Data Karakteristik Rekaman Gerak Tanah Aktual untuk Analisis Dinamik Non-Linear Riwayat Waktu	291
Tabel 4.5	Dimensi Penampang Tipikal Elemen Struktur Balok	304
Tabel 4.6	Dimensi Penampang Tipikal Elemen Struktur Kolom.....	318
Tabel 4.7	Partisipasi Massa Ragam Dominan Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	320
Tabel 4.8	Partisipasi Massa Ragam Dominan Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	321
Tabel 4.9	Persentase Partisipasi Massa 12 Ragam Getar Terkombinasi Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa).....	322
Tabel 4.10	Faktor Skala Gaya Geser Dasar Gempa Desain Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa).....	329
Tabel 4.11	Pemeriksaan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa).....	339
Tabel 4.12	Pemeriksaan Diskontinuitas Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa).....	342
Tabel 4.13	Pemeriksaan 35% Gaya Geser Dasar pada Tingkat Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	344
Tabel 4.14	Pemeriksaan 35% Gaya Geser Dasar pada Tingkat Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	345
Tabel 4.15	Persentase Reduksi Kuat Tingkat pada Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Kehilangan Tahanan Momen..	348

Tabel 4.16	Persentase Reduksi Kuat Tingkat pada Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Kehilangan Tahanan Momen	348
Tabel 4.17	Pemeriksaan Batas Simpangan antar Lantai Tingkat Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) dan 100ksi (690MPa)	352
Tabel 4.18	Desain Penulangan Balok Induk Struktur arah X dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	358
Tabel 4.19	Desain Penulangan Balok Induk Struktur arah Y dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	358
Tabel 4.20	Desain Tulangan Balok Anak Struktur arah X dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	359
Tabel 4.21	Desain Penulangan Balok Induk Struktur arah X dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa)	359
Tabel 4.22	Desain Penulangan Balok Induk Struktur arah Y dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa)	360
Tabel 4.23	Desain Penulangan Balok Anak Struktur arah X dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa)	361
Tabel 4.24	Faktor Skala Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	379
Tabel 4.25	Faktor Skala Percepatan Gerak Tanah Aktual Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa)	379
Tabel 4.26	Hubungan Tingkat Daktilitas Kelengkungan Elemen Struktur Kolom Beton Bertulang terhadap Rasio Sendi Plastis pada Struktur dengan $\mu u = 4$ (R. Park and T. Paulay)	390

Tabel 4.27	Kuat Tekan Material Beton Terkekang Elemen Struktur dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	393
Tabel 4.28	Kuat Tekan Material Beton Terkekang Elemen Struktur dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa)	394
Tabel 4.29	Variasi Gaya Aksial pada Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	404
Tabel 4.30	Variasi Gaya Aksial pada Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	404
Tabel 4.31	Data Momen-Kelengkungan Aktual Elemen Struktur Balok B69A-A dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Momen Negatif (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	412
Tabel 4.32	Data Hasil <i>Output</i> Analisis Elemen Struktur Balok B69A-A dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Momen Negatif.....	414
Tabel 4.33	Data Momen-Kelengkungan <i>Bilinear</i> Elemen Struktur Balok B69A-A dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) akibat Momen Negatif (<i>Xtract v.3.0.8</i>).....	415
Tabel 4.34	Tingkat Daktilitas Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	416
Tabel 4.35	Tingkat Daktilitas Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	417
Tabel 4.36	Tingkat Daktilitas Elemen Struktur Kolom dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	418

Tabel 4.37	Tingkat Daktilitas Elemen Struktur Kolom dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	419
Tabel 4.38	Kriteria Desain Taraf Kinerja Berdasarkan Batasan Deformasi Struktur Bangunan Gedung (ATC-40; 1996)	462
Tabel 4.39	Kriteria Desain Taraf Kinerja Berdasarkan Batasan <i>Roof Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung (ATC-40; 1996)	463
Tabel 5.1	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Balok X Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	466
Tabel 5.2	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Balok Y Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	466
Tabel 5.3	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Balok X Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	467
Tabel 5.4	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Balok X Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	467
Tabel 5.5	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom Lt. 1 Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	469
Tabel 5.6	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom Lt. 2-10 Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	470
Tabel 5.7	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom Lt. 11-15 Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	470
Tabel 5.8	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom Lt. 16-20 Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	470
Tabel 5.9	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom Lt. 1 Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	471

Tabel 5.10	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom Lt. 2-10 Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	471
Tabel 5.11	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom Lt. 11-15 Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	471
Tabel 5.12	Hasil Analisis <i>Moment Curvature</i> Elemen Struktur Kolom Lt. 11-15 Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	472
Tabel 5.13	Data Hasil <i>Output</i> Analisis Kurva Hubungan Momen-Kelengkungan Elemen Struktur Kolom K99A1 akibat Gaya Aksial Tekan Konstan <i>Pbalance</i>	478
Tabel 5.14	Data Momen-Kelengkungan <i>Bilinear</i> Elemen Struktur Kolom K99A1 akibat Gaya Aksial Tekan Konstan <i>Pbalance</i>	479
Tabel 5.15	<i>Review</i> Hasil Identifikasi Mekanisme Keruntuhan Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	555
Tabel 5.16	<i>Review</i> Hasil Identifikasi Mekanisme Keruntuhan Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	555
Tabel 5.17	Data Momen-Rotasi Maksimum Sendi Plastis Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	557
Tabel 5.18	Data Momen-Rotasi Maksimum Sendi Plastis Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	557
Tabel 5.19	<i>Level Component Performance</i> Tertinggi Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	573
Tabel 5.20	<i>Level Component Performance</i> Tertinggi Elemen Struktur Balok dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	573

Tabel 5.21	<i>Global Performance</i> Berdasarkan <i>Interstory Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa).....	585
Tabel 5.22	<i>Global Performance</i> Berdasarkan <i>Interstory Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa).....	585
Tabel 5.23	Perpindahan Titik Pusat Massa Lantai Tingkat Atap Terbesar Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa)	601
Tabel 5.23	<i>Global Performance</i> Berdasarkan <i>Roof Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Aktual Gempa Rencana arah X	601
Tabel 5.23	<i>Global Performance</i> Berdasarkan <i>Roof Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 80ksi (550MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Aktual Gempa Rencana arah Y	601
Tabel 5.23	Perpindahan Titik Pusat Massa Lantai Tingkat Atap Terbesar Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa)	602
Tabel 5.23	<i>Global Performance</i> Berdasarkan <i>Roof Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Aktual Gempa Rencana arah X	602
Tabel 5.23	<i>Global Performance</i> Berdasarkan <i>Roof Drift Ratio</i> Struktur Bangunan Gedung dengan Baja Tulangan 100ksi (690MPa) Akibat Percepatan Gerak Tanah Aktual Gempa Rencana arah Y	602

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	PERHITUNGAN RESPON SPEKTRA GEMPA RENCANA	610
LAMPIRAN 2	CONTOH PERHITUNGAN PENULANGAN ELEMEN STRUKTUR BALOK BETON BERTULANG	616

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan mutu serta kualitas sebuah barang akan terus berkembang seiring dengan tuntutan kebutuhan dan kepentingan era modern. Mobilitas perkembangan teknologi material konstruksi memberikan kesempatan penyediaan infrastruktur yang lebih efektif dan efisien untuk memenuhi setiap aktivitas manusia yang semakin kompleks. Salah satu tolok ukur infrastruktur berkembang adalah kemampuannya dalam menerima beban kerja yang lebih besar. Hal tersebut berbanding lurus dengan inovasi kekuatan material konstruksi yang digunakan.

Pembangunan gedung-gedung pencakar langit sebagai sarana penunjang ekonomi merupakan arah perkembangan infrastruktur yang sangat diminati oleh banyak negara, baik negara maju maupun negara berkembang. Tingkat keamanan dari kinerja struktur bangunan gedung tinggi saat menerima beban kerja menjadi hal yang sangat penting mengingat lokasinya yang selalu berada di daerah padat penduduk. Material beton bertulang menjadi salah satu pilihan cerdas untuk digunakan sebagai material konstruksi yang memberikan kinerja struktur terkontrol pada bangunan gedung tinggi saat menerima beban kerja. Beberapa gedung tertinggi di dunia yang berhasil didirikan antara lain, *Burj Khalifa* di *Dubai*, *Shanghai Tower* di *China*, *432 Park Avenue* di *New York*, dan masih banyak lagi.

Kebutuhan kuat tekan material beton dan mutu baja tulangan yang lebih besar menjadi tantangan perkembangan ilmu teknologi bahan konstruksi. Semakin tinggi sebuah gedung, maka gaya aksial yang bekerja pada kolom akibat beban kerja pun

akan semakin besar. Penggunaan material beton dengan mutu yang lebih tinggi akan menunjang efektivitas bentuk dan kinerja struktur bangunan gedung. Selain itu, penggunaan material baja tulangan dengan mutu yang lebih tinggi akan meningkatkan efisiensi pengadaan dan pelaksanaan struktur gedung. Proyek penelitian nasional di Jepang dengan judul "*Development of Advance R/C Buildings using High Strength Concrete and Reinforcement*" (*New RC Project*) mengembangkan kriteria desain material beton dan baja tulangan dengan mutu tinggi yang digunakan pada struktur bangunan gedung tahan gempa. Hasil penelitian tersebut bertujuan untuk memberikan kajian bahwa material beton dengan kuat tekan 30 – 120MPa dan material baja tulangan dengan kuat leleh 420 – 1200MPa dapat digunakan sebagai kriteria desain material konstruksi untuk gedung tinggi (Aoyama, 1988). Target langsung (*direct target*) dari proyek penelitian ini adalah tercapainya performa desain gedung yang optimal dengan kuat tekan beton hingga 60MPa dan kuat leleh baja tulangan hingga 700MPa.

Karakteristik material beton dan baja tulangan yang digunakan pada struktur beton bertulang tahan gempa akan sangat mempengaruhi perilaku plastifikasi struktur yang dihasilkan (Imran dkk.,2009). Nilai-nilai parameter baja tulangan harus berada pada batas-batas ketentuan peraturan yang berlaku untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur saat mengalami plastifikasi akibat beban siklik. Untuk menghindari kemungkinan kegagalan struktur, SNI (Standar Nasional Indonesia) membatasi penggunaan mutu baja tulangan dengan kuat leleh sebesar 420MPa (SNI 2874:2013, Pasal 9.4). Penggunaan baja tulangan dengan kuat leleh lebih besar dari 420MPa boleh digunakan selama memenuhi spesifikasi ASTM yang disebutkan pada Pasal 3.5.3.1, SNI 2874:2013.

1.2 Inti Permasalahan

Material baja tulangan pada struktur beton bertulang secara umum berfungsi sebagai salah satu material pembentuk yang kuat dalam menahan tegangan tarik. Untuk menghasilkan kekuatan yang sesuai dengan perhitungan, baja tulangan harus melekat monolit dengan material beton. Pada dasarnya, SNI tidak menganjurkan penggunaan baja tulangan dengan mutu yang lebih besar dari 420MPa untuk perhitungan kekuatan geser, torsi, dan tegangan lekatan minimum pada komponen struktur lentur. Pembatasan ini disebabkan karena penggunaan baja tulangan mutu tinggi dapat menyebabkan timbulnya tegangan geser dan tegangan lekatan yang berlebih antara material beton dengan baja tulangan. Hal ini dapat memicu terjadinya kegagalan yang bersifat getas (*brittle*) pada saat elemen struktur mencapai kemampuan lentur maksimum akibat beban kerja, khususnya beban gempa yang bersifat siklik (bolak-balik). Beberapa syarat perhitungan mengenai panjang penyaluran dan pengankuran, rasio tulangan minimum, hingga ukuran geometri elemen struktur beton bertulang pada dasarnya diturunkan dari besaran mutu baja tulangan yang digunakan. Baja tulangan dengan spesifikasi mutu yang lebih tinggi tentunya membutuhkan verifikasi lebih lanjut terhadap syarat-syarat batas yang digunakan dalam perencanaan desain struktur beton bertulang.

Material baja tulangan pada struktur beton bertulang sangat berperan penting terhadap perilaku plastifikasi elemen struktur tahan gempa. Daktilitas dari baja tulangan yang digunakan bertanggungjawab penuh untuk menerima gaya hasil reduksi gaya geser dasar percepatan gempa saat melakukan desain, terutama untuk struktur beton bertulang yang didesain dengan *detailing* tulangan khusus. Parameter baja tulangan yang berpengaruh terhadap perilaku plastifikasi elemen struktur adalah

kondisi permukaan baja tulangan (ulir atau polos), nilai kuat leleh, nilai faktor kuat lebih, nilai rasio kuat ultimit, dan perpanjangan total yang dapat dihasilkan.

Spesifikasi baja tulangan yang boleh digunakan sebagai material elemen pemikul beban gempa diatur dalam ASTM A706M-14 dan ASTM A615M-15. Pada ASTM A615M-15 tercantum spesifikasi baja tulangan karbon dengan mutu hingga 690MPa (Grade 100). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan baja tulangan dengan mutu lebih dari 420MPa (Grade 60) masih bisa digunakan selama mencantumkan nilai-nilai parameter kekuatan baja tulangan tersebut. Untuk baja tulangan yang direncanakan memikul gaya gempa pada struktur bangunan gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Geser Beton Bertulang Khusus (SDGGBK), harus memenuhi ketentuan yang tercantum pada SNI 2847:2013, Pasal 21.1.5.2, yaitu:

1. Kuat leleh aktual baja tulangan dari hasil *mill tests* yang dikeluarkan pabrik tidak boleh melampaui 18000psi (125MPa) dari kuat leleh spesifikasi. Artinya untuk baja tulangan dengan mutu 420MPa, perbandingan antara kuat leleh aktual terhadap kuat leleh spesifikasi tidak boleh lebih dari 1.3.
 2. Perbandingan antara kuat tarik terhadap kuat leleh tidak boleh kurang dari 1.25.
- Jika parameter baja tulangan tidak melebihi batas-batas ketentuan yang berlaku artinya material baja tulangan tersebut telah memiliki tingkat daktilitas yang cukup untuk digunakan sebagai sarana pendispersi/pelepasan energi akibat beban siklik (gempa) yang diterima struktur gedung.

Tingkat keamanan struktur gedung tahan gempa dapat dinilai dari kinerja dan proses keruntuhan struktur saat menerima beban siklik (gempa). Letak sendi plastis pada elemen-elemen struktur yang diperbolehkan mengalami plastifikasi harus

terpenuhi sehingga hierarki keruntuhan yang terjadi sesuai dengan yang direncanakan. Hal tersebut sangat dipengaruhi dengan tingkat daktilitas material baja tulangan sehingga menghasilkan *Curvature Ductility* yang cukup. Dengan metode PBD (*Performance Base Design*), karya ilmiah ini akan mengevaluasi kinerja struktur gedung tahan gempa dengan menggunakan kriteria desain material konstruksi mutu tinggi.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan kajian dan evaluasi nilai faktor kuat lebih dan kuat ultimit baja tulangan mutu tinggi terkait dengan penggunaannya pada struktur gedung beton bertulang tahan gempa.
2. Melakukan analisis dan desain struktur gedung beton bertulang tahan gempa dengan material baja tulangan yang memiliki kuat leleh di atas 420MPa.
3. Mengevaluasi kinerja desain struktur gedung beton bertulang tahan gempa yang menggunakan material baja tulangan di atas 420MPa dengan metode PBSB (*Performance Base Seismic Design*).

1.4 Pembatasan Masalah

Pembahasan tesis ini dibatasi oleh beberapa hal, antara lain:

1. Melakukan desain struktur gedung 20 lantai yang dimodelkan sebagai struktur gedung beton bertulang terbuka tiga dimensi (3D) dengan sistem rangka ruang (*open frame*).
2. Bangunan berdiri di atas tanah sedang dan terletak di kota Denpasar, Bali.

3. Fungsi bangunan adalah gedung apartemen.
4. Struktur gedung didesain sebagai struktur tahan gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
5. Struktur gedung merupakan struktur dengan model lantai yang tipikal dan lantai bangunan dianggap sebagai diafragma kaku.
6. Model struktur tidak memiliki basemen dan dianggap terjepit sempurna pada taraf penjepitan lateral di pondasi.
7. Analisis dilakukan terhadap kombinasi beban mati, beban hidup dan beban gempa.
8. Analisis dinamik non-linear riwayat waktu menggunakan tujuh rekaman gempa aktual, yaitu rekaman gempa Chichi-Taiwan, Imperial Valley El-Centro, Kobe-Jepang, Landers, Loma Prieta, Northridge, dan San Fernando.
9. Desain struktur dilakukan dengan metode analisis dinamik linear ragam respon spektrum menggunakan program CSI ETABS 2016 V.16.0.2.
10. Perhitungan *moment curvature* untuk elemen struktur balok dan kolom dilakukan dengan menggunakan program *Xtract* versi 3.0.8.
11. Analisis dinamik non-linear riwayat waktu dilakukan dengan menggunakan program CSI ETABS 2016 V.16.0.2.
12. Kuat tekan material beton elemen vertikal menggunakan $f_c' = 45\text{MPa}$.
13. Kuat tekan material beton elemen horisontal menggunakan $f_c' = 35\text{MPa}$.
14. Material baja tulangan yang digunakan untuk studi parameter adalah baja tulangan ASTM A706 dengan mutu 80ksi ($f_y = 550\text{MPa}$) dan ASTM A1035 dengan mutu 100ksi ($f_y = 690\text{MPa}$).

15. Hubungan lekatan antara material beton dan baja diasumsikan lekat sempurna (*perfectly bond*) saat terjadi keruntuhan (*bond failure*).
16. Desain struktur beton bertulang mengikuti *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung* (SNI 2847:2013)
17. Perencanaan struktur gedung tahan gempa mengikuti *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan non Gedung* (SNI 1726:2012).

1.5 Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika isi tesis ini adalah sebagai berikut :

Bab 1 Pendahuluan

Membahas latar belakang permasalahan, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi.

Bab 2 Metodologi Penelitian

Berisi tahapan langkah-langkah kerja yang akan dilakukan untuk menjawab inti permasalahan pada tesis, terkait dengan pengaruh penggunaan baja tulangan mutu tinggi pada elemen struktur beton bertulang tahan gempa.

Bab 3 Studi Literatur

Berisi kajian literatur mengenai perkembangan riset dan evaluasi penggunaan baja tulangan mutu tinggi sebagai komponen struktur beton bertulang tahan gempa.

Bab 4 Studi Kasus

Berisi uraian bahasan umum mengenai pemodelan, evaluasi perilaku, desain, metode analisis penampang elemen, dan studi analisis kinerja struktur bangunan gedung beton bertulang yang menggunakan baja tulangan mutu

tinggi. Analisis kinerja struktur gedung akan dikaji dengan menggunakan metoda PBSB (*Performance Base Seismic Design*).

Bab 5 Pembahasan

Berisi bahasan khusus terkait dengan proses studi dan hasil analisis perilaku kinerja struktur bangunan gedung beton bertulang yang menggunakan baja tulangan mutu tinggi.

Bab 6 Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan saran dari hasil studi analisis dan desain struktur bangunan gedung beton bertulang yang menggunakan baja tulangan mutu tinggi.