

***BUCKLING RESTRAINED BRACE (BRB) TERHADAP DISPLACEMENT
DI BANGUNAN JANGKUNG***

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI PENELITIAN
PERIODE II
2019/2020**

Untuk memenuhi persyaratan Mencapai Derajat Sarjana Teknik
Strata Satu (S1) pada Program Studi Arsitektur



Oleh:

A. NUR ANISAH RAHAYU AGICH

D511 16 522

**DEPARTEMEN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

HALAMAN JUDUL

***BUCKLING RESTRAINED BRACE (BRB) TERHADAP DISPLACEMENT
DI BANGUNAN JANGKUNG***

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI PENELITIAN
PERIODE II
2019/2020**

Untuk memenuhi persyaratan Mencapai Derajat Sarjana Teknik
Strata Satu (S1) pada Program Studi Arsitektur



Oleh:

**A. NUR ANISAH RAHAYU AGICH
D511 16 522**

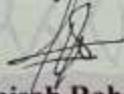
**DEPARTEMEN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

**BUCKLING RESTRAINED BRACE (BRB) TERHADAP
DISPLACEMENT DI BANGUNAN JANGKUNG**

Diajukan untuk memenuhi syarat kurikulum tingkat sarjana
pada Program Studi S1 Arsitektur Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Penyusun

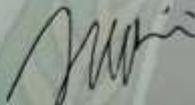


A. Nur Anisah Rahayu Agich
D511 16 522

Gowa, 26 Nopember 2020

Menyetujui

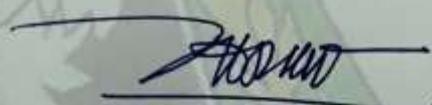
Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Victor Sampebulu, M.Eng.

NIP. 19520529 198011 1 001

Pembimbing II



Dr. Ir. Hartawan, MT.

NIP. 19641231 199103 1 034

Mengetahui



Dr. H. Edward Syarif, MT.

NIP. 19680906 199802 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : A. Nur Anisah Rahayu Agich
NIM : D51116522
Program Studi : S1 Teknik Arsitektur

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Buckling Restrained Brace (BRB) Terhadap Displacement di Bangunan Jangkung* adalah karya ilmiah yang bebas dari plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Makassar, 26 November 2020

Yang Menyatakan,



A. Nur Anisah Rahayu Agich

NIM. D51116522

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang ini. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi syarat-syarat guna mencapai gelar Sarjana Arsitektur di Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Kedua orang tua, ayahanda Andi Agustan tercinta dan ibunda St. Harisa tersayang yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil serta doa yang tiada henti-hentinya dipanjatkan kepada Allah SWT unuk penulis.
2. Segenap keluarga dan teman yang telah menyemangati dan membantu penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Bapak Dr. H. Edward Syarif, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Victor Sampebulu, M.Eng., selaku dosen Pembimbing I yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu dan solusi pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ir. Hartawan, M.T., selaku dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis selama menyusun skripsi dan memberikan banyak ilmu serta solusi pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penulisan skripsi ini.
7. Ibu Pratiwi Mushar, S.T., M.T. selaku dosen penasehat akademik yang sudah bersedia mengarahkan dan membimbing penulis selama perkuliahan serta turut membantu dalam penyusunan skripsi dan memberikan tambahan ilmu dan solusi atas permasalahan dan kesulitan dalam penulisan skripsi ini.

8. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
9. St. Amaliyah Mustafa, Risya Nur Filawati, Eka Wahyuni, Maulana Nur Ikhsan, serta seluruh teman-teman angkatan Arsitektur 2016 yang turut membantu dan menemani selama masa perkuliahan dan pengerjaan skripsi
10. Segenap staf dan karyawan Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang berkenan memberikan bantuan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang struktur dan konstruksi bangunan.

Makassar, 26 November 2020

Penulis

BUCKLING RESTRAINED BRACE (BRB) EFFECT ON DISPLACEMENT IN TALL BUILDINGS

A.Nur Anisah Rahayu Agich¹⁾, Victor Sampebulu²⁾, Hartawan³⁾

1) Students of the Hasanuddin University Architecture Department, 2) 3)Lecturers
of the Hasanuddin University Architecture Department

Email: ayuagich@gmail.com

ABSTRACT

Limited land causes people to look for alternatives to get around the narrowness of land for various activities with innovations towards vertical buildings. Buckling restrained braces (BRB) are bresing that can withstand press force and tensile force that can cause bending of the structure. This study aims to reveal the advantages between bresing with square and circular cross-sectional shapes, the advantages between conventional bresing types and buckling restrained braces (BRB), the advantages between basic bresing configurations and revealing the value of displacement differences between tall buildings that apply bresing and tall buildings that do not apply bresing. The tall building is the main material of 34-story composite steel. Earthquake load analysis conducted on structures using static analysis equivalent and dynamic spectrum response refers to SNI 03-1726-2012. Analysis is done using ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems) program. The results revealed that buckling restrained brace (BRB) type bresing with a circular cross-section shape is superior to the square cross-sectional shape on bresing-X configuration. In the building displacement test, the average displacement value obtained on 8 combinations of loading for buildings without bresing is 162.5 mm, while for buildings with bresing circles is 104.5 mm, so the difference in value of both is 58 mm.

Keywords: Brace, Buckling Restrained Brace, Cross-section, *Displacement*, Tall Buildings, Etabs

BUCKLING RESTRAINED BRACE (BRB) TERHADAP DISPLACEMENT DI BANGUNAN JANGKUNG

A.Nur Anisah Rahayu Agich¹⁾, Victor Sampebulu²⁾, Hartawan³⁾

¹⁾ Mahasiswa Departemen Arsitektur Universitas Hasanuddin, ^{2) 3)} Dosen
Departemen Arsitektur Universitas Hasanuddin

Email: ayuagich@gmail.com

ABSTRAK

Keterbatasan lahan menyebabkan manusia mencari alternatif untuk menyiasati sempitnya lahan untuk berbagai kegiatan dengan inovasi-inovasi terhadap bangunan vertikal. *Buckling restrained braces (BRB)* merupakan bresing yang mampu menahan gaya tekan dan gaya tarik yang dapat menyebabkan tekuk pada struktur. Penelitian ini bertujuan mengungkap keunggulan antara bresing dengan bentuk penampang persegi dan lingkaran, keunggulan antara tipe bresing konvensional dan *buckling restrained brace (BRB)*, keunggulan antara konfigurasi-konfigurasi dasar bresing serta mengungkap nilai selisih *displacement* antara bangunan jangkung yang menerapkan bresing dan bangunan jangkung yang tidak menerapkan bresing. Bangunan jangkung bermaterial utama baja komposit 34 lantai. Analisis beban gempa yang dilakukan pada struktur menggunakan analisis statik ekuivalen dan dinamik respon spektrum mengacu pada SNI 03-1726-2012. Analisa dilakukan menggunakan program *ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems)*. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa bresing tipe *buckling restrained brace (BRB)* dengan bentuk penampang lingkaran lebih unggul dibanding bentuk penampang persegi pada konfigurasi bresing-X. Pada pengujian *displacement* bangunan, didapatkan nilai rata-rata *displacement* pada 8 kombinasi pembebanan untuk bangunan tanpa bresing adalah 162,5 mm, sedangkan untuk bangunan dengan bresing lingkaran adalah 104,5 mm, sehingga selisih nilai keduanya adalah 58 mm.

Keywords: Bresing, *Buckling Restrained Brace*, Bentuk Penampang, *Displacement*, Bangunan Jangkung, Etabs,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRACT.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR ISTILAH	xviii
DAFTAR NOTASI.....	xx
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Maksud Dan Tujuan.....	3
1.4. Lingkup Pembahasan	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Karakteristik Bentuk Dasar	6
2.1.1. Persegi	6
2.1.2. Lingkaran	7
2.2. Tinjauan Umum Struktur	9
2.2.1. Sistem Struktur Suspension	9
2.2.2. Sistem Struktur Belt Truss Frame dan Core.....	9
2.3. Elemen Struktur	10
2.3.1. Kolom.....	10
2.3.2. Balok	11
2.3.3. Plat Lantai	12
2.4. Bresing.....	12
2.4.1. Sejarah Perkembangan Bahan Pembentuk Bresing.....	12
2.4.2. Buckling Restrained Brace	15
2.4.2.1. Komponen Buckling Restrained Brace.....	15
2.4.2.2. Keuntungan Buckling Restrained Brace	18

2.4.3.	Konfigurasi Bresing.....	18
2.5.	Baja.....	19
2.5.1.	Unsur Baja.....	19
2.5.2.	Jenis-Jenis Material Baja.....	19
2.5.3.	Profil Baja.....	20
2.5.4.	Mutu Baja.....	23
2.6.	Beton.....	24
2.6.1.	Tulangan.....	25
2.7.	Komposit.....	25
2.8.	Pembebanan.....	27
2.8.1.	Beban Mati.....	28
2.8.2.	Beban Hidup.....	29
2.8.3.	Beban Angin.....	30
2.8.3.1.	Kecepatan Angin Dasar (V_w).....	30
2.8.3.2.	Faktor Arah Angin (K_d).....	31
2.8.3.3.	Kategori Eksposur.....	32
2.8.3.4.	Faktor Topografi (K_{zt}).....	32
2.8.3.5.	Faktor Efek Tiupan Angin (G_w).....	33
2.8.3.6.	Koefisien Tekanan Internal (C_{pi}).....	33
2.8.3.7.	Koefisien Tekanan eksternal (C_{pf}).....	34
2.8.3.8.	Koefisien Eksposur (K_z).....	36
2.8.4.	Beban gempa.....	37
2.8.4.1.	Faktor Keutamaan.....	37
2.8.4.2.	Nilai Spektral percepatan.....	40
2.8.4.3.	Klasifikasi Situs.....	41
2.8.4.4.	Koefisien Situs.....	43
2.8.4.5.	Parameter Percepatan Spektral Desain.....	43
2.8.4.6.	Kategori Desain Seismik.....	44
2.8.4.7.	Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda.....	44
2.8.4.8.	Koefisien Batas Atas Periode (C_u).....	45
2.8.4.9.	Nilai Parameter Periode Pendekatan.....	45
2.8.5.	Kombinasi Pembebanan.....	46
2.9.	Analisis Linear Gempa.....	47
2.9.1.	Analisis Statik.....	47
2.9.1.1.	Perioda Fundamental.....	47
2.9.1.2.	Jumlah Ragam.....	48

2.9.1.3.	Koefisien Respon Seismik	48
2.9.1.4.	Beban Geser Dasar Seismik (V)	49
2.9.1.5.	Skala Gaya.....	49
2.9.2.	Analisis Dinamik	49
2.9.2.1.	Spektrum Respon Desain.....	50
2.9.2.2.	Simpangan Antar Lantai	51
2.9.2.3.	Pengaruh P-Delta.....	53
2.10.	Program ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems) 53	
2.11.	Program SPSS (Statistical Product and Service Solution).....	54
2.11.1.	Independent Sample T-Test	55
2.12.	Keaslian Penelitian	56
2.13.	Kerangka Pikir	58
METODOLOGI		59
3.1.	Jenis Dan Metode Penelitian	59
3.1.1.	Jenis Penelitian	59
3.1.2.	Metode Penelitian	59
3.2.	Objek Penelitian.....	60
3.2.1.	Unit Penelitian	60
3.3.	Variabel Penelitian.....	60
3.3.1.	Variabel Bebas.....	60
3.3.2.	Variabel Terikat	61
3.3.3.	Variabel Kontrol	61
3.4.	Metode Pengujian Tujuan I.....	61
3.4.1.	Pengujian Keunggulan Penampang (Tahap I).....	64
3.4.1.1.	Modifikasi Model Struktur Plane Frame.....	65
3.4.1.2.	Pembebanan pada Model Struktur Plane Frame	66
3.4.1.3.	Analisis pada Model Struktur Plane Frame.....	67
3.4.2.	Pengujian 2-Dimensi (Tahap II)	68
3.4.2.1.	Modifikasi Model Rangka Segitiga	68
3.4.2.2.	Pembebanan Pada Model Rangka Segitiga	69
3.4.2.3.	Analisis pada Model Rangka Segitiga	70
3.4.3.	Pengujian 3-Dimensi (Tahap III)	70
3.4.3.1.	Modifikasi Model 3-Dimensi.....	70
3.4.3.2.	Pembebanan Pada Model 3-Dimensi	72
3.4.3.3.	Analisis pada Model 3-Dimensi.....	74

3.5.	Motede Pengujian Tujuan II	74
3.5.1.	Pengujian Ketahanan Struktur (Tahap I).....	74
3.5.1.1.	Modifikasi Model Struktur Bangunan	74
3.5.1.2.	Pembebanan pada Struktur	78
3.5.1.3.	Analisis Struktur	86
3.5.2.	Pengujian Displacement Bangunan (Tahap II)	87
3.5.2.1.	Modifikasi Model Bangunan	87
3.5.2.2.	Pembebanan Struktur.....	88
3.5.2.3.	Analisis Displacement	88
3.6.	Bagan Alur.....	89
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		90
4.1.	Hasil Pengujian Tujuan I.....	90
4.1.1.	Hasil Pengujian Keunggulan Penampang (Tahap I)	90
4.1.1.1.	Displacement	90
4.1.2.	Hasil Pengujian 2-Dimensi (Tahap II)	93
4.1.2.1.	Gaya Aksial (Axial Force).....	93
4.1.2.2.	Gaya Geser (Shear Force).....	95
4.1.2.3.	Momen Lentur (Bending Moment).....	96
4.1.3.	Hasil Pengujian 3-Dimensi (Tahap III).....	98
4.1.3.1.	Displacement	99
4.2.	Hasil Pengujian Tujuan II	101
4.2.1.	Hasil Analisis Struktur (Tahap I).....	101
4.2.1.1.	Perioda Fundamental	102
4.2.1.2.	Modal Participation Mass Ratio (MPMR)	102
4.2.1.3.	Skala Gaya.....	103
4.2.1.4.	Simpangan Antar Lantai	104
4.2.1.5.	Pengaruh P-Delta.....	107
4.2.2.	Hasil Analisis Displacement Bangunan (Tahap II)	111
4.2.2.1.	Kombinasi Pembebanan 1.1	111
4.2.2.2.	Kombinasi Pembebanan 3.1	112
4.2.2.3.	Kombinasi Pembebanan 3.2	113
4.2.2.4.	Kombinasi Pembebanan 4.1	114
4.2.2.5.	Kombinasi Pembebanan 5.1	115
4.2.2.6.	Kombinasi Pembebanan 6.1	116
4.2.2.7.	Kombinasi Pembebanan 7.1	117
KESIMPULAN DAN SARAN.....		120

5.1.	Kesimpulan.....	120
5.2.	Saran.....	120
DAFTAR PUSTAKA		122

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perkembangan Bahan Pembentuk Bresing	14
Tabel 2. Mutu Baja (AISC, 2005)	23
Tabel 3. Mutu Beton (SNI 03-2847-2002).....	25
Tabel 4. Beban Mati Gedung (Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983)	29
Tabel 5. Beban Hidup Pada Lantai Gedung (Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983).....	30
Tabel 6. Rata-Rata Kecepatan Angin di Kota Makassar pada Tahun 2013 (BPSSS, 2014)	31
Tabel 7. Faktor Arah Angin	31
Tabel 8. Koefisien Tekanan Internal.....	33
Tabel 9. Koefisien Tekanan Dinding, Cpf	34
Tabel 10. Koefisien Eksposur	36
Tabel 11. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk Beban Gempa	38
Tabel 12. Faktor Keutamaan Gempa	40
Tabel 13. Klasifikasi Situs	41
Tabel 14. Koefisien situs (Fa)	43
Tabel 15. koefisien situs (Fv).....	43
Tabel 16. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek.....	44
Tabel 17. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik.....	44
Tabel 18. Koefisien Batas Atas Periode (Cu)	45
Tabel 19. Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan x	46
Tabel 20. Keaslian Penelitian.....	56
Tabel 21. Spesifikasi Dimensi Bahan Pembentuk Bresing	62
Tabel 22. Spesifikasi Model Struktur Plane Frame	65
Tabel 23. Karakteristik Sambungan Model Struktur Plane Frame	66
Tabel 24. Titik Arah dan Nilai Pembebanan pada Model Struktur Plane Frame .	67
Tabel 25. Karakteristik Sambungan Model Rangka Segitiga	69

Tabel 26. Jenis dan Nilai Pembebanan pada Model Rangka Segitiga	70
Tabel 27. Karakteristik Sambungan Model 3-Dimensi.....	71
Tabel 28. Spesifikasi Konfigurasi Bresing.....	71
Tabel 29. Jenis dan Nilai Pembebanan pada Model 3-Dimensi.....	73
Tabel 30. Karakteristik material baja dan beton	77
Tabel 31. Mutu Baja dan Beton	77
Tabel 32. Faktor Reduksi Inersia	78
Tabel 33. Beban Hidup	80
Tabel 34. Kombinasi Pembebanan (SNI 03-1726-2012).....	88
Tabel 35. Nilai Displacement Pada Model Struktur Plane Frame	90
Tabel 36. Hasil Uji Independent Sample T-Test.....	92
Tabel 37. Nilai Gaya Aksial (Axial Force)	93
Tabel 38. Nilai Gaya Geser (Shear Force).....	95
Tabel 39. Nilai Momen Lentur (Bending Moment).....	97
Tabel 40. Displacement Pada Konfigurasi Bresing Inverted V	99
Tabel 41. Displacement Pada Konfigurasi Bresing V	99
Tabel 42. Displacement pada Konfigurasi Bresing X.....	100
Tabel 43. Displacement Pada Konfigurasi Bresing Diagonal.....	100
Tabel 44. Modal Participation Mass Ratio (MPMR)	102
Tabel 45. Massa Per-lantai.....	103
Tabel 46. Gaya Geser Dasar Statik Ekuivalen (V)	104
Tabel 47. Gaya Geser Beban Gempa Spektrum (V_i).....	104
Tabel 48. Simpangan Arah-X	105
Tabel 49. Simpangan Arah-Y	106
Tabel 50. Pengaruh P-Delta Arah-X	107
Tabel 51. Pengaruh P-Delta Arah-Y	109
Tabel 52. Dimensi Penampang	110
Tabel 53. Nilai Displacement Bangunan tanpa Bresing dan dengan Bresing Lingkaran	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bentuk Dasar Persegi	7
Gambar 2. Bentuk Dasar Lingkaran.....	8
Gambar 3. Komponen Buckling restrained braces (Wada et al, 1998).....	15
Gambar 4. Gap Antara Mortar Dan Elemen Tahan Leleh (Chen et al, 2001)	16
Gambar 5. Berbagai Macam Penampang Buckling restrained braces yang Berkembang Di Jepang (Chen et al, 2001)	18
Gambar 6. Konfigurasi Bresing (Engelhardt, 2007)	19
Gambar 7. Berbagai Bentuk Profil Dasar Baja Struktur (AISI, 1896).....	20
Gambar 8. Koefisien Cpf dengan rasio L/B (a) $0 < L/B < 1$ (b) $L/B = 2$ (c) $L/B > 4$ (Taranath, 2004).....	35
Gambar 9. Koefisien Cpf dengan rasio L/B (a) $0 < L/B < 1$ (b) $L/B = 2$ (c) $L/B > 4$ (Taranath, 2004).....	35
Gambar 10. SS, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Paramater Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 0,2 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB.	41
Gambar 11. S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Paramater Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 1 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB.	41
Gambar 12. Spektrum Respons Desain (SNI-1726-2012).....	51
Gambar 13. Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI-1726-2012)	52
Gambar 14. Kerangka Pikir.....	58
Gambar 15. Model Struktur Plane Frame	65
Gambar 16. Sambungan Model Struktur Plane Frame	66
Gambar 17. Arah Pembebanan pada Model Struktur Plane Frame	67
Gambar 18. Model Rangka Segitiga	68
Gambar 19. Arah Pembebanan Model Rangka Segitiga.....	69
Gambar 20. Model 3-Dimensi.....	71
Gambar 21. Arah Pembebanan Model 3-Dimensi	73
Gambar 22. Model Matematika	75
Gambar 23. Denah Bangunan (Lantai 1)	76
Gambar 24. Dimensi Baja.....	78

Gambar 25. Titik-titik dan arah pembebanan (Denah)	79
Gambar 26. Titik-titik dan arah pembebanan (Tampak potongan).....	79
Gambar 27. Distribusi Beban Lantai ke Balok	81
Gambar 28. Nilai Spectral Percepatan Pada 0,2 Detik (Ss) (PuSGeN, 2017)	83
Gambar 29. Nilai Spectral Percepatan Pada 1 Detik (S1) (PuSGeN, 2017)	84
Gambar 30. Grafik Respon Spektrum Kota Makassar.....	85
Gambar 31. Model Bangunan dengan dan tanpa Bresing.....	87
Gambar 32. Bagan Alur Penelitian	89
Gambar 33. Nilai Rata-Rata Displacement pada Model Struktur Plane Frame....	91
Gambar 34. Nilai Rata-Rata Gaya Aksial (Axial Force)	94
Gambar 35. Nilai Rata-Rata Gaya Geser (Shear Force)	96
Gambar 36. Nilai Rata-Rata Momen Lentur (Bending Moment)	98
Gambar 37. Grafik Rata-Rata Displacement Bresing Tipe (a+b+c) dengan Bentuk Penampang Persegi dan Lingkaran	101
Gambar 38. Nilai Rata-Rata Displacement Arah-X dan Y di Bangunan tanpa Bresing dan dengan Bresing Lingkaran pada Kombinasi Pembebanan 1.1	112
Gambar 40. Nilai Rata-Rata Displacement Arah-X dan Y di Bangunan tanpa Bresing dz	
Gambar 41. Nilai Rata-Rata Displacement Arah-X dan Y di Bangunan tanpa Bresing dan dengan Bresing Lingkaran pada Kombinasi Pembebanan 3.2.....	114
Gambar 42. Nilai Rata-Rata Displacement Arah-X dan Y di Bangunan tanpa Bresing dan dengan Bresing Lingkaran pada Kombinasi Pembebanan 4.1	115
Gambar 43. Nilai Rata-Rata Displacement Arah-X dan Y di Bangunan tanpa Bresing dan dengan Bresing Lingkaran pada Kombinasi Pembebanan 5.1	116
Gambar 44. Nilai Rata-Rata Displacement Arah-X dan Y di Bangunan tanpa Bresing dan dengan Bresing Lingkaran pada Kombinasi Pembebanan 6.1	117

Gambar 45. Nilai Rata-Rata Displacement Arah-X dan Y di Bangunan tanpa Bresing dan dengan Bresing Lingkaran pada Kombinasi Pembebanan 7.1	118
Gambar 46. Grafik Nilai Displacement Bangunan tanpa Bresing dan dengan Bresing Lingkaran	118

DAFTAR ISTILAH

Bangunan Gedung	: Struktur yang tertutup oleh dinding dan atap, dibangun untuk melindungi penghuninya.
Beban	: Gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada di dalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi.
Diafragma	: Atap, lantai, membran atau sistem bresing yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya lateral ke elemen penahan vertikal.
Efek P-Delta	: Efek sekunder yang bekerja pada elemen struktur, yang diakibatkan oleh penambahan beban vertikal sebagai akibat dari perpindahan horisontal struktur.
Faktor keutamaan	: Faktor yang menyumbangkan tingkat risiko bagi kehidupan manusia, kesehatan, dan kesejahteraan yang terkait dengan kerusakan properti atau kehilangan kegunaan atau fungsi.
Fungsi penghunian	: Tujuan pemakaian bangunan gedung atau struktur lain atau bagian-bagiannya, yang digunakan atau yang direncanakan digunakan.
Gaya Geser Dasar	: Gaya geser atau lateral total yang terjadi pada tingkat dasar.

Kelas Situs	: Klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan.
Rangka Bresing Eksentris	: Rangka bresing diagonal yang ujung bresingnya dengan jarak tertentu dari sambungan balok-kolom, atau terhubung dengan bresing diagonal yang lain. Sistem rangka ini dapat difungsikan sebagai sistem penahan gaya lateral yang diakibatkan gempa.
Rangka Bresing Konsentris	: Rangka bresing yang bagiannya difungsikan untuk menahan gaya aksial, selain dapat juga difungsikan sebagai sistem penahan gaya lateral yang diakibatkan gempa. Sistem ini terdiri atas rangka bresing konsentris biasa dan rangka bresing konsentris khusus.
Simpangan Antar Lantai	: Perpindahan horisontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya.

DAFTAR NOTASI

A	= Koefisien Pemuaian Termal
A_n	= Luas Permukaan Dinding pada Lantai n
C_d	= Faktor Amplifikasi Defleksi
C_{pf}	= Koefisien Tekanan Eksternal
C_{pi}	= Koefisien Tekanan Internal
C_s	= Koefisien Respons Seismik
d	= Diameter Penampang Lingkaran (mm)
DL	= Beban Mati (<i>Dead Load</i>)
E	= Modulus Elastisitas
E_x	= Beban Gempa arah x (<i>Earthquake Load in x direction</i>)
E_y	= Beban Gempa arah y (<i>Earthquake Load in y direction</i>)
F_n	= Beban Angin Proyeksi pada Lantai n
F_u	= Tegangan Putus Tarik
F_{ue}	= Tegangan Efektif Putus Tarik
F_y	= Tegangan Leleh Tarik
F_{ye}	= Tegangan Efektif Leleh Tarik
G	= Modulus Geser
g	= Percepatan Gravitasi
G_w	= Faktor Efek Tiupan Angin
h_n	= Ketinggian pada lantai ke-n
h_{sx}	= Tinggi Tingkat di bawah Tingkat x
I_e	= Faktor Keutamaan Gempa
Kd	= Faktor Pengarah Angin
Kz	= Koefisien Eksposur
Kzt	= Faktor Topografi
LL	= Beban Hidup (<i>Live Load</i>)
Lr	= Beban Hidup Atap (<i>Live Roof</i>)
P	= Beban Angin
p	= Panjang Batang Bresing
P_n	= Tekanan Angin pada Lantai n
P_x	= Beban Desain Vertikal Total di atas Tingkat x

qh	= Tekanan Velositas
R	= Faktor Modifikasi Respons
s	= Panjang Sisi Penampang Persegi
S_{DS}	= Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 detik
S_{DS}	= Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek
S_F	= Skala Gaya
$SIDL$	= Beban Mati Tambahan (<i>Super Induced Dead Load</i>)
T	= Periode Fundamental Struktur
T_0	= Periode Fundamental Struktur Awal
U	= Rasio Poisson
U_n	= Panjang sisi pada lantai ke-n
V	= Geser Dasar Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen
V_t	= Geser Dasar dari Kombinasi Ragam
V_w	= Kecepatan Angin Dasar
V_x	= Gaya Geser Seismik pada Tingkat x Dan $x - 1$
W	= Berat Seismik Efektif
WL	= Beban Angin (<i>Wind Load</i>)
π	= Konstanta phi
ρ	= Massa Jenis
Ω_o	= Faktor kuat lebih
θ_0	= Besar sudut awal pada lantai ke-1
θ_n	= Besar sudut rotasi pada lantai ke-n
δ_{izin}	= Simpangan izin
δ_n	= Simpangan total pada lantai ke-n
δ_x	= Defleksi
δ_{xe}	= Defleksi Pada Lokasi Yang Disyaratkan
θ_n	= Sudut Proyeksi pada Lantai n
Δ	= Simpangan Antar Lantai Tingkat Desain

BAB I

PENDAHULUAN

Pada Bab Pendahuluan ini, menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, lingkup pembahasan, batasan masalah serta sistematika penulisan.

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini keterbatasan lahan menyebabkan manusia mencari alternatif untuk menyalahi sempitnya lahan untuk berbagai kegiatan dengan inovasi-inovasi terhadap bangunan vertikal. Bangunan jangkung menjadi pilihan yang tepat untuk dikembangkan guna mengurangi penggunaan lahan. Akan tetapi, bangunan jangkung harus menghadapi tantangan tersendiri dalam perancangan struktur dan pembangunannya untuk memperoleh kestabilan bangunan gedung serta kenyamanan bagi penghuni gedung.

Selain diperoleh dari kekuatan dan kekakuan elemen penyusun sistem struktur, kestabilan suatu sistem struktur dapat diperoleh dengan mengikat elemen-elemen sistem struktur satu sama lain sehingga deformasi yang terjadi pada sistem struktur akibat beban yang bekerja menjadi relatif lebih kecil. Pada struktur yang stabil, gaya-gaya dalam sistem struktur tersebut memberikan kecenderungan untuk mengembalikan struktur ke bentuk semula. Sebaliknya, pada struktur yang tidak stabil gaya dalam yang bekerja tidak mampu menahan beban yang diberikan sehingga struktur tersebut runtuh seketika.

Stabilitas adalah hal yang cukup sulit dalam perencanaan struktur yang merupakan gabungan dari beberapa elemen-elemen struktur. Beberapa elemen struktur dapat menahan beban vertikal tertentu dengan nilai yang cukup besar tetapi tidak dapat menahan beban horizontal seperti gempa.

Pada saat gempa terjadi, gedung akan mengalami simpangan horisontal (*drift*) dan apabila simpangan horisontal ini melebihi syarat aman yang telah ditetapkan oleh peraturan yang ada maka gedung rentan terhadap

keruntuhan. Untuk mengatasi hal tersebut, struktur harus didesain agar mampu menahan gaya-gaya lateral (beban gempa) yang terjadi. Ada beberapa cara struktural agar kekakuan vertikal struktur meningkat, yaitu penambahan beberapa elemen struktur seperti bresing, dinding geser, atau dengan mengubah hubungan antara elemen struktur.

Bresing konvensional merupakan struktur yang paling umum digunakan untuk menahan gaya-gaya lateral (beban gempa). Struktur ini memiliki kekakuan lateral yang sangat tinggi. Namun karena timbul perilaku tekuk dan kehilangan kekakuan lateral akibat adanya gaya tekan pada struktur, maka perilaku histeristik pada bresing konvensional sudah tidak dapat diandalkan lagi (Di Sarno et al, 2010). Sebaliknya, *Buckling restrained braces* merupakan bresing yang mampu mengakomodasi dan menahan gaya tekan yang dapat menyebabkan tekuk pada struktur.

Buckling Restrained Braces pertama kali diterapkan di Jepang pada tahun 1989 yang sekarang banyak di seluruh dunia seperti di Amerika Serikat, Taiwan, Cina, Turki, dan Selandia Baru (Takeuchi, 2018). Keandalan *Buckling Restrained Braces* telah dihasilkan dari berbagai penelitian dan pengujian, diantaranya, Di Sarno (2010) yang meneliti retrofitting dengan *Buckling Restrained Brace* yang diaplikasikan pada bangunan (2 lantai) beton bertulang juga menunjukkan hasil yang baik dimana diperoleh *displacement* global dan lokal berkurang setelah diretrofitting, pada bangunan eksisting simpangan antar lantai 2,34% pada CPLS dan 1,92% pada LSLS, sebaliknya untuk struktur retrofitting simpangan antar lantai berkurang menjadi 0,84% pada CPLS dan 0,65% pada LSLS serta lebih dari 60% energi dapat didisipasi oleh *Buckling Restrained Braces* ini.

Selain itu, menurut Apriani (2012) Struktur *Buckling Restrained Braces* berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang bekerja pada suatu portal sehingga dapat meminimalisir deformasi horizontal dan simpangan yang

terjadi. Salah satu kelebihan dari *Buckling Restrained Braces* dibandingkan dengan bresing lainnya adalah kuat menahan gaya tekan maupun tarik.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, perlu dilakukan adanya suatu pengembangan analisis mengenai perilaku *Buckling Restrained Braces* yang diaplikasikan pada struktur baja komposit pada bangunan tinggi. Analisa yang dilakukan akan dikembangkan dengan membandingkan *Buckling Restrained Braces* dari dua bentuk penampang, yaitu penampang persegi dan penampang lingkaran dengan baja inti jenis baja WF (*Wide Flange*). Untuk menganalisa hal tersebut akan direncanakan bangunan 33 lantai. Bangunan tersebut akan diberi beban berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa dengan analisis linier dan nonlinear menggunakan program ETABS (*Extended Three Dimension Analysis of Building Systems*).

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana keunggulan antara bresing dengan bentuk penampang persegi dan lingkaran, keunggulan antara tipe bresing konvensional dan *buckling restrained brace (BRB)* serta keunggulan antara konfigurasi-konfigurasi bresing dasar menggunakan program ETABS (*Extended Three Dimension Analysis of Building Systems*).
2. Berapa nilai selisih *displacement* antara bangunan jangkung yang menerapkan bresing dan bangunan jangkung yang tidak menerapkan bresing menggunakan program ETABS (*Extended Three Dimension Analysis of Building Systems*).

1.3. Maksud Dan Tujuan

1. Mengungkap keunggulan antara bresing dengan bentuk penampang persegi dan lingkaran, keunggulan antara tipe bresing konvensional dan *buckling restrained brace (BRB)* serta keunggulan antara konfigurasi-konfigurasi bresing dasar menggunakan program ETABS (*Extended Three Dimension Analysis of Building Systems*).

2. Mengungkap nilai selisih *displacement* antara bangunan jangkung yang menerapkan bresing dan bangunan jangkung yang tidak menerapkan bresing menggunakan program ETABS (*Extended Three Dimension Analysis of Building Systems*).

1.4. Lingkup Pembahasan

1. Kriteria keunggulan antara bresing persegi dan lingkaran adalah *displacement* pada model struktur *plane frame*.
2. Kriteria keunggulan antara tipe bresing konvensional dan *buckling restrained brace (BRB)* adalah gaya aksial, gaya geser, dan momen lentur pada model rangka segitiga.
3. Kriteria keunggulan antara konfigurasi-konfigurasi dasar bresing adalah *displacement* pada model uji 3-dimensi.
4. Model bangunan jangkung merupakan bangunan *mixed-use* 33 lantai dengan material utama komposit baja yang dianalisis berdasarkan SNI-1726 (2012).

1.5. Batasan Masalah

1. Pembebanan pada model struktur *plane frame* berupa beban tekan dan tarik 100 kN, 200 kN, 300 kN, 400 kN, dan 500 kN.
2. Pembebanan pada model rangka segitiga, berupa beban titik pada puncak segitiga sebesar 100 kN, 200 kN, 300 kN, 400 kN, dan 500 kN.
3. Konfigurasi dasar bresing terdiri konfigurasi bresing V, *inverted-V*, bresing X, dan bresing diagonal.
4. Analisis yang digunakan pada model bangunan jangkung adalah analisis respon spektrum, dengan kriteria ketahanan bangunan terdiri dari perioda fundamental, *modal participation mass ratio*, skala gaya, simpangan antar lantai, dan pengaruh p-delta.

1.6. Sistematika Penulisan

- BAB I : Pendahuluan, menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, lingkup pembahasan, batasan masalah, serta sistematika penulisan.
- BAB II : Tinjauan Pustaka, berisi teori teori yang berhubungan dengan karakteristik bentuk dasar, tinjauan umum struktur, elemen struktur, bresing, baja, beton, komposit, pembebanan, analisis linear gempa, program ETABS, keaslian penelitian, serta kerangka fikir
- BAB III : Metodologi Penelitian, menjelaskan mengenai jenis dan metode penelitian, objek penelitian, variabel penelitian, metode pengujian tujuan I, metode pengujian tujuan II, serta alur penelitian.
- BAB IV : Hasil dan Pembahasan, menjelaskan mengenai hasil pengujian tujuan I dan hasil pengujian tujuan II.
- BAB V : Kesimpulan dan Saran, menjelaskan mengenai kesimpulan dari tujuan I dan dan tujuan II, serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

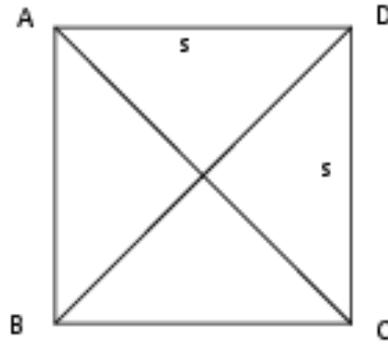
Pada Bab Tinjauan Pustaka ini, berisi teori teori yang berhubungan dengan karakteristik bentuk dasar, tinjauan umum struktur, elemen struktur, bresing, baja, beton, komposit, pembebanan, analisis gempa, program ETABS, keaslian penelitian, serta kerangka fikir.

2.1. Karakteristik Bentuk Dasar

Bentuk dasar yang paling umum digunakan pada bentuk penampang elemen struktural adalah bentuk persegi dan lingkaran. Berikut merupakan karakteristik bentuk persegi dan lingkaran ditinjau dari segi matematis, arsitektural maupun struktural.

2.1.1. Persegi

Menurut teori wujud dasar bentuk arsitektural (Rahmana, 2013), persegi menunjukkan sesuatu yang murni dan rasional. Bentuk ini merupakan bentuk yang statis dan netral serta tidak memiliki arah tertentu. Dalam dunia desain (Gialogie, 2015), persegi menunjukkan kejujuran dan stabilitas. Persegi adalah bentuk yang umum digunakan dan terpercaya. Hal ini disebabkan karena umumnya tulisan yang kita baca disusun dalam bentuk kotak dan persegi pandang, maka bentuk tersebut menjadi familiar, aman dan nyaman. Persegi memberikan kesesuaian, kedamaian, soliditas, keamanan, dan kesetaraan. Keakraban dan stabilitasnya, bersamaan dengan sifatnya yang terlalu biasa dapat terlihat membosankan. Persegi umumnya tidak menarik perhatian, namun dapat dimiringkan untuk menambahkan *twist* yang tak terduga.



Gambar 1. Bentuk Dasar Persegi

Adapun persegi memiliki sifat:

1. Keempat sisinya sama panjang, $AB = BC = CD = DA$
2. Memiliki dua pasang sisi yang posisinya sejajar dan sama panjang
3. Tiap sisinya memiliki ukuran yang sama
4. Memiliki empat sudut yang besarnya sama yaitu 90° (sudut siku-siku)
5. Luas dan keliling persegi mengikuti persamaan berikut:

$$\text{Luas} = s \times s = s^2 \quad (1)$$

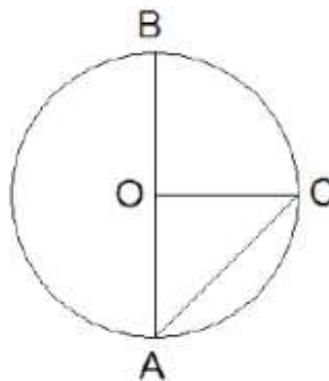
$$\text{Keliling} = 4 \times s \quad (2)$$

2.1.2. Lingkaran

Menurut teori wujud dasar bentuk arsitektural (Rahmana, 2013), lingkaran adalah suatu yang terpusat, berarah ke dalam dan pada umumnya bersifat stabil dan dengan sendirinya menjadi pusat dari lingkungannya. Penempatan sebuah lingkaran pada pusat suatu bidang akan memperkuat sifat dasarnya sebagai poros. Menempatkan garis lurus atau bentukbentuk bersudut lainnya disekitar bentuk lingkaran atau menempatkan suatu unsure menurut arah kelilingnya, dapat menimbulkan perasaan gerak putar yang kuat.

Dalam dunia desain (Gialogie, 2015), lingkaran tidak memiliki awalan dan tidak memiliki akhiran. Lingkaran mewakili kekekalan dan dalam setiap budaya biasanya mewakili bentuk matahari, bulan, alam semesta dan objek angkasa lainnya. Lingkaran sering digunakan untuk benda-benda yang akrab seperti roda, bola, berbagai macam

buah. Lingkaran memiliki pergerakan yang bebas. Lingkaran bisa berputar. Bayangan dan garis dapat meningkatkan rasa pergerakan dalam lingkaran. Lingkaran merupakan kurva yang anggun dan terlihat feminin. Lingkaran juga memberikan rasa hangat, menenangkan dan memberikan rasa sensualitas dan cinta. Pergerakannya memberikan energi dan kekuatan. Kelengkapannya menunjukkan ketakterbatasan, kesatuan dan harmoni. Lingkaran melindungi, memberikan pertahanan dan membatasi. Lingkaran membatasi apa yang ada di dalam dan menjaga hal-hal lain tetap di luar. Lingkaran menawarkan keamanan dan koneksi. Lingkaran menunjukkan komunitas, integritas dan kesempurnaan. Lingkaran tidak terlalu umum digunakan dalam desain, namun lingkaran dapat digunakan untuk menarik perhatian, memberikan penekanan dan mengatur hal-hal agar tetap terpisah.



Gambar 2. Bentuk Dasar Lingkaran

Adapun lingkaran memiliki sifat:

1. $OA = OB = OC = \text{jari-jari} = r$
2. $AB = \text{diameter} = d$
3. Garis lurus AC = tali busur
4. Kurva/lengkungan AC = busur
5. Luas dan keliling lingkaran mengikuti persamaan berikut:

$$\text{Luas Lingkaran} = \pi r^2 \quad (3)$$

$$\text{Keliling Lingkaran} = 2\pi r \quad (4)$$

2.2. Tinjauan Umum Struktur

Sistem-sistem struktur pada bangunan jangkung merupakan inti ketahanan bangunan di atas permukaan tanah. Sistem struktur ini berfungsi menahan dan menyalurkan beban gaya horizontal dan vertikal secara merata pada sistem-sistem struktur inti dan struktur pendukung, sehingga bangunan dapat memikul beban horizontal dan vertikal maupun gaya lateral.

2.2.1. Sistem Struktur *Suspension*

Sistem ini memanfaatkan bahan secara efisien dengan memanfaatkan penggantung untuk mendukung beban. Beban gravitasi didukung oleh kabel-kabel untuk membentuk rangka konsol pada inti bangunan. Pada dasarnya sistem gantung ini meniru konstruksi jembatan gantung pada umumnya.

2.2.2. Sistem Struktur *Belt Truss Frame* dan *Core*

Sistem struktur *belt truss frame* dan *core* merupakan gabungan dari 2 sistem struktur dimana sistem struktur *belt truss* berfungsi mengikat kolom fasad ke inti sehingga meniadakan aksi terpisah rangka dan inti. Pengakuan ini dinamai *cap trussing* apabila berada pada bagian atas bangunan, dan *belt trussing* apabila berada di bagian bawahnya.

Rangka yang diperkaku menjadi tidak efisien lagi di atas ketinggian 40 lantai dikarenakan diperlukan banyak bahan untuk membuat pengaku yang cukup kaku dan kuat. Efisiensi struktur bangunan akan meningkat sebesar 30% dengan menggunakan rangka sabuk atau *belt truss* horisontal untuk mengikat rangka ke inti. Rangka tersebut diikat secara kaku ke inti dan dihubungkan dengan kolom eksterior. Apabila inti geser melentur, maka *belt truss* berlaku sebagai lengan yang menyalurkan tegangan-tegangan aksial langsung ke kolom luar. Selanjutnya kolom-kolom ini berlaku sebagai strut untuk melawan lendutan dari inti. Artinya, inti tersebut mengumpulkan gaya geser horisontal, dan rangka sabuk meneruskan gaya geser vertikal dari inti ke rangka fasad. Dengan demikian bangunan akan berlaku sebagai suatu kesatuan, serupa dengan tabung kantilever.

2.3. Elemen Struktur

Elemen Struktur adalah bagian dari sebuah sistem bangunan yang bekerja untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan di atas tanah. Fungsi struktur dapat disimpulkan untuk memberi kekuatan dan kekakuan yang diperlukan untuk mencegah sebuah bangunan mengalami keruntuhan. Struktur merupakan bagian bangunan yang menyalurkan beban-beban. Beban-beban tersebut menumpu pada elemen-elemen untuk selanjutnya disalurkan ke bagian bawah tanah bangunan, sehingga beban-beban tersebut akhirnya dapat ditahan (Ariestadi, 2008).

2.3.1. Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang fungsi utamanya untuk mendukung beban aksial desak yang lebih besar atau sama dengan $0,1.A_g \cdot f_c'$ dan momen yang terjadi. Jika terjadi kerusakan / kegagalan pada kolom, maka dapat berakibat keruntuhan komponen struktur yang berhubungan dengannya atau bahkan terjadi keruntuhan total pada struktur bangunan (SNI 2847 Pasal 12.3). Kolom dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangnya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya. Bentuk dan susunan tulangan pada kolom dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu (Nawy, 2003):

1. Kolom segiempat atau bujursangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang.
2. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral.
3. Kolom komposit yang terdiri atas beton dan profil baja structural didalamnya.

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik, penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu:

1. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.

2. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan. Kondisi balanced terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan.

2.3.2. Balok

Balok adalah bagian dari struktur yang berfungsi untuk menopang lantai di atasnya serta sebagai penyalur momen ke kolom – kolom yang menopangnya. Balok yang bertumpu langsung pada kolom disebut dengan balok induk, sedangkan yang bertumpu pada balok induk disebut balok anak. Tulangan rangkap pada perancangan balok pada umumnya ditujukan untuk meningkatkan daktilitas tampang, pengendalian defleksi jangka panjang akibat adanya rangkakan dan susut. (MacGregor, 2005).

1. Penampang seimbang (*balance*)

Tulangan tarik beton mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batas dan akan hancur karena tekan. Pada saat awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003 sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\epsilon_y = f_y/E_c$.

2. Penampang *over reinforced*

Pada Pada keadaan ini keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ϵ_s yang terjadi masih lebih kecil dari regangan lelehnya ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil dari tegangan lelehnya f_y . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan balance.

3. Penampang *under reinforced*

Keruntuhan terjadi ditandai dengan lelehnya tulangan baja. Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi seimbang

2.3.3. Plat Lantai

Pelat adalah elemen struktur yang fungsinya menyalurkan beban kepada elemen pendukung seperti balok dan kolom. Pelat yang difungsikan sebagai pelat lantai dan atap tidak terlalu berbeda, hanya pelat atap langsung terpengaruh cuaca. Menurut McCormac dan Nilson (2010), elemen – elemen pelat tersebut dapat dirancang sebagai pelat satu arah atau pelat dua arah. Menurut Gideon Kusuma (2003), yang perlu dipertimbangkan pada perencanaan pelat beton bertulang tidak hanya pembebanan tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan pada tepi.

2.4. Bresing

Bresing merupakan elemen struktur penahan gaya lateral. Elemen ini berupa batang yang dipasang pada portal struktur. Karakteristik dari elemen ini adalah dominasi aksial yang terjadi ketika gaya lateral terjadi. Pada saat gempa terjadi, gaya lateral yang diterima oleh struktur akan diteruskan pada elemen bresing ini sebagai gaya-gaya aksial.

2.4.1. Sejarah Perkembangan Bahan Pembentuk Bresing

Salah satu bangunan paling awal yang menerapkan bracing struktural adalah Gedung Dewitt-Chestnut pada tahun 1965 di Chicago. Bangunan itu menggunakan sistem tabung bingkai yang dikembangkan oleh Fazlur R. Khan. Kemudian pada tahun 1970, Fazlur R. Khan mengembangkan sistem *Braced Tube* yang diperkuat untuk John Hancock Center, juga di Chicago. Mahasiswa Khan yang bernama Mikio Sasaki menemukan dan mengusulkan desain pertama *diagonally braces tower* pada tahun 1964 dalam penulisan tesisnya.

Pada tahun 1968, Robin Hodgkinson mengembangkan bresing yang menggunakan beton pada ekterior bangunan untuk tujuan penggunaan alternatif. Konsep bresing eksterior dengan beton diterapkan pada Ontario Center di Chicago pada tahun 1985. Ide-ide ini berkontribusi secara signifikan terhadap desain desain struktur bertingkat tinggi

melawan kekuatan alami seperti beban angin, gempa bumi dan beban gravitasi. (Razak et al, 2018).

Konsep dasar *Buckling Restrained Brace* muncul dari tahun 1970-an, ketika keberhasilan yang dilaporkan oleh beberapa peneliti di Jepang dan India. BRB praktis pertama dicapai oleh Saeki, Wada, dkk. pada tahun 1988. Mereka menggunakan tabung baja persegi panjang dengan mortar isi untuk *restrainer*, dan menentukan spesifikasi bahan *debonding* yang optimal untuk mendapatkan perilaku histeretik yang stabil dan simetris. Selain itu, teori dasar untuk merancang *restrainer* didirikan dan aplikasi proyek pertama segera menyusul. Pada tahun 1989, BRB ini (*unbonded braces*) diaplikasikan pada dua gedung perkantoran rangka baja 10 dan 15 lantai, dalam proyek pertama yang menggunakan BRB. BRB semakin meningkat popularitasnya dan konfigurasi lainnya segera menyusul, terutama semua tabung baja dalam tabung. Pada tahun 1990-an, BRB digunakan di sekitar 160 bangunan di Jepang. Pada Juli 1995, konsep "*damage tolerant structure*" diusulkan oleh Wada, Iwata, et al, yang menggunakan BRB sebagai *elasto-plastic dampers* penghilang energi dalam kerangka utama elastis. Rekomendasi desain AIJ (*Architectural Institute of Japan*) termasuk pedoman desain BRB untuk pertama kalinya diterapkan pada tahun 1996.

Kolaborasi dengan para peneliti di AS segera mengarah ke aplikasi internasional pertama, dengan pembangunan sebuah bangunan di UC Davis pada tahun 1998, diikuti oleh percobaan di UC Berkeley pada tahun 2000. Sejumlah bangunan lain dengan BRB segera dibangun di seluruh California, termasuk beberapa aplikasi retrofit seismik. Pada tahun 2002, pedoman desain untuk *Buckling-Restrained Braced Frame* (BRBF) dimasukkan dalam Ketentuan Seismik untuk Bangunan Baja Struktural (ANSI/AISC 341-05). Selama tahun-tahun awal transfer teknologi ke pasar internasional, serangkaian simposium tentang

struktur yang dikendalikan secara pasif diadakan di *Tokyo Tech*, berbagi pengembangan kode, desain BRB, dan aplikasi baru. Setelah dekade berikutnya, BRB meningkat popularitasnya di banyak negara, dari Taiwan pada awal 2000-an hingga implementasi baru-baru ini di Selandia Baru sebagai bagian dari pembangunan kembali Christchurch. BRB sekarang dikenal luas di daerah seismik di seluruh dunia, dengan penelitian yang sedang berlangsung di negara-negara seperti Jepang, Taiwan, Cina, AS, Kanada, Turki, Iran, Italia, Rumania, Selandia Baru, dan Chili. Adapun secara garis besar perkembangan bahan pembentuk bresing dirangkum pada Tabel 1. di bawah ini:

Tabel 1. Perkembangan Bahan Pembentuk Bresing

Bahan Pembentuk Bresing	Deskripsi
Baja	Bresing baja merupakan bahan pembentuk bresing yang pertama kali diterapkan pada John Hancock Center di Chicago pada tahun 1970. Penerapannya pada saat ini merupakan yang paling umum digunakan pada saat ini.
Beton	Bresing beton dikembangkan pertama kali pada tahun 1968 oleh Robin Hodgkinson, yang kemudian diterapkan pertama kali pada Ontario Center di Chicago pada tahun 1985. Pada tahun 2018 dikembangkan metode bresing beton baru yaitu <i>precast prestressed concrete bracing system</i> oleh Fariborz Nateghi Alahi.
<i>Steel Tube</i>	Penerapan <i>Steel Tube</i> , <i>Steel Composite</i> , dan <i>Filled Steel Tube</i> pada saat ini cenderung hanya pada pemodelan untuk penelitian-penelitian mengenai bresing (Bungale, 2004)
<i>Steel Composite</i>	
<i>Filled Steel Tube</i>	
<i>Buckling Restrained Brace</i>	Konsep dasar <i>Buckling Restrained Brace</i> muncul dari tahun 1970-an yang kemudian pada tahun 1989 diterapkan pertama kali pada 2 bangunan kantor 10 dan 15 lantai di Jepang. Pada tahun 1990-an, BRB digunakan di sekitar 160 bangunan di Jepang. BRB

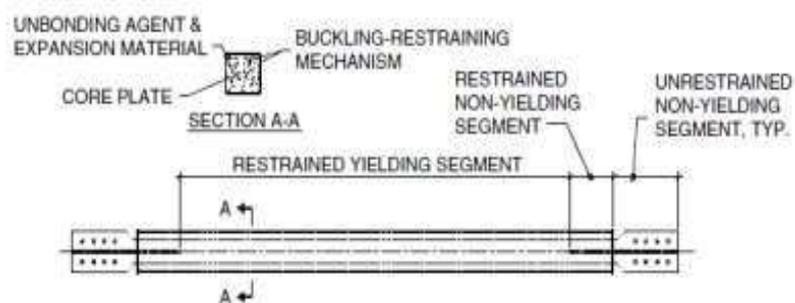
Bahan Pembentuk Bresing	Deskripsi
	sekarang dikenal luas di daerah seismik di seluruh dunia, dengan penelitian yang sedang berlangsung di negara-negara seperti Jepang, Taiwan, Cina, AS, Kanada, Turki, Iran, Italia, Rumania, Selandia Baru, dan Chili.

2.4.2. *Buckling Restrained Brace*

Dalam struktur bangunan baja sering digunakan pengaku (bresing) untuk mengatasi gaya lateral yang terjadi. Kelemahan dari pengaku – pengaku baja pada umumnya adalah kuat menahan gaya tarik namun tidak kuat dalam menahan gaya tekan. *Buckling Restrained Brace (BRB)* adalah salah satu pengaku (bresing) yang memiliki beberapa kelebihan dibanding pengaku – pengaku lainnya. Kelebihan yang paling utama adalah *Buckling Restrained Brace* mempunyai kemampuan menahan tekan maupun tarik yang sama. Kegagalan *Buckling Restrained Brace* adalah leleh pada tekan maupun tarik artinya tidak terjadi tekuk (*buckling*) pada *Buckling Restrained Brace*. *Buckling Restrained Brace* merupakan sistem kombinasi dari kekakuan yang tinggi / *high stiffness* dan daktilitas yang tinggi/*high ductility* sehingga mengakibatkan kemampuan *Buckling Restrained Brace* untuk menahan tekan dan tarik hampir sama.

2.4.2.1. Komponen *Buckling Restrained Brace*

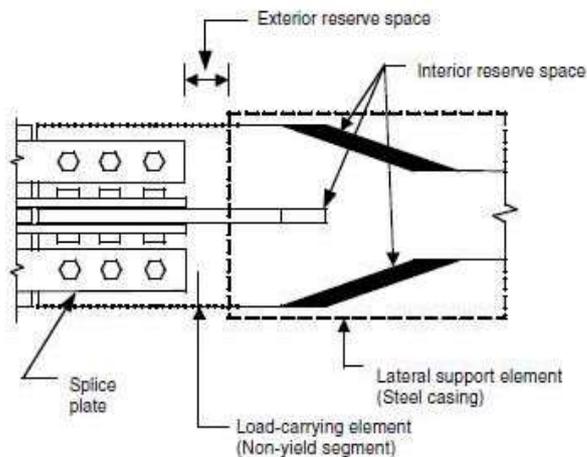
Menurut Bertero, Vitelmo (2004) Komponen *Buckling restrained braces* terdiri dari 5 komponen yaitu:



Gambar 3. Komponen *Buckling restrained braces* (Wada et al, 1998)

1. *Restrained Yielding Segment* (Segmen terkekang – leleh)

Segmen ini berpenampang baja berbentuk persegi atau salib. Terdapat plat baja disekelilingnya yang disebut casing dan lebih dari satu pelat bisa digunakan. Karena segmen ini di desain leleh di bawah pembebanan siklik, baja ringan (A36 atau baja kekuatan rendah) yang mempunyai daktilitas yang tinggi dapat digunakan. Alternatif baja kekuatan tinggi (A572 Gr 50 steel) juga telah digunakan. Juga diinginkan bahan baja dengan kekuatan leleh diprediksi dengan variasi kecil. Properti ini penting untuk desain kapasitas *Buckling Restrained Brace* yang dapat diandalkan.



Gambar 4. Gap Antara Mortar Dan Elemen Tahan Leleh (Chen et al, 2001)

2. *Restrained Non-Yielding Segment* (Segmen terkekang - tidak leleh).

Segmen yang dikelilingi oleh casing dan mortar, yang biasanya merupakan perpanjangan dari segmen terkekang-leleh, tetapi dengan area diperbesar untuk memastikan respon elastis. Hal ini dapat dicapai dengan memperluas segmen terkekang-leleh (transisi pada lebar penampang harus kecil untuk menghindari konsentrasi tegangan). Pengaku akan dilas untuk meningkatkan area di wilayah ini.

3. *Unrestrained Non-Yielding Segment* (Segmen tidak terkekang - tidak leleh).

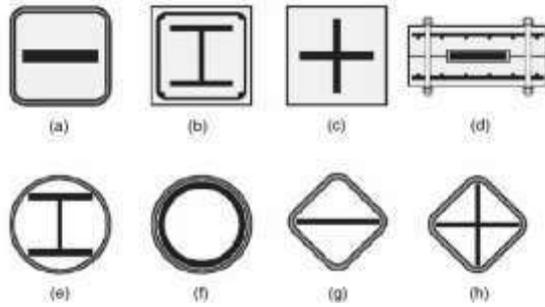
Segmen ini biasanya merupakan perpanjangan dari segmen terkekang-tidak leleh. segmen ini juga disebut proyeksi inti baja. Segmen ini dirancang sebagai baut sambungan untuk ereksi lapangan, tapi desain koneksi lain seperti koneksi pin atau koneksi las juga memungkinkan. Pertimbangan desain segmen ini meliputi (i) toleransi untuk kemudahan ereksi lapangan dan (ii) pencegahan tekuk lokal.

4. *Unboding Agent and Expansion Material* (Casing dan Pengisi Pencegah Tekuk).

Inersia material yang efektif dapat meminimalkan atau menghilangkan transfer gaya geser antara segmen baja tahanan, bahan seperti karet (Iwata et al, 2000; Staker dan Reaveley, 2002), polietilen (Tremblay et al, 1999), silikon grease (Chen et al., 2001a) telah digunakan. Segmen menghasilkan tahanan, amplitudo tekuk kecil dalam mode yang lebih tinggi karena adanya mekanisme penahanan. Gap ini harus cukup besar untuk memungkinkan perluasan dari inti baja menghasilkan tekan. Jika gesekan yang dibuat oleh aksi bantalan antara baja dan mortar akan memaksa menahan tekuk untuk beban aksial. Di sisi lain, jika kesenjangan yang terlalu besar amplitudo tekuk dan kelengkungan terkait dari baja melengkung menghasilkan segmen besar, yang akan mengurangi siklus kelelahan segmen. Dalam menentukan desain gap, rasio Poisson dalam elastis (0,3) dan leleh (0,5).

5. *Buckling Restrained Mechanism* (Mekanisme tekuk – terkekang).

Mekanisme ini biasanya berisi mortar dan casing baja. Mekanisme tekuk- terkekang bisa dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 5. Berbagai Macam Penampang Buckling restrained braces yang Berkembang Di Jepang (Chen et al, 2001)

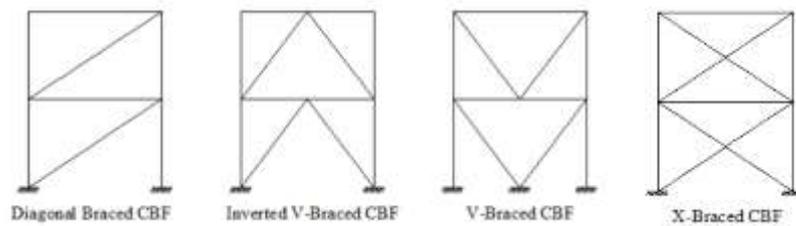
2.4.2.2. Keuntungan *Buckling Restrained Brace*

Buckling restrained braces memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Dibandingkan dengan rangka penahan momen (MRF), *Buckling restrained braces* menunjukkan kekakuan lateral elastis tinggi pada beban gempa kuat, sehingga mudah untuk memenuhi persyaratan peraturan.
2. *Buckling Restrained Brace* menghilangkan tekuk yang tidak diinginkan dari CBFs konvensional akibat leleh pada tarik dan tekannya, sehingga memberikan disipasi energi yang lebih besar dan stabil pada beban gempa kuat.
3. B्रेसing bertindak sebagai elemen struktural yang dapat diganti, yang meminimalkan kerusakan pada elemen lain mengganti bresing yang rusak setelah peristiwa gempa besar.
4. *Buckling Restrained Brace* menawarkan fleksibilitas desain karena baik kekuatan dan kekakuan dari bresing dapat dengan mudah distel. Selain itu, analisis inelastis lebih mudah untuk model perilaku siklik dari *Buckling Restrained Braces*.

2.4.3. Konfigurasi Bресing

Ada berbagai macam konfigurasi pemasangan bresing, diantaranya adalah *Single Diagonal Braced*, *X - Bracing*, *V - Bracing*, dan *Inverted V - Bracing* (Engelheard, 2007).



Gambar 6. Konfigurasi Bresing (Engelhardt, 2007)

2.5. Baja

Baja merupakan salah satu material struktur yang paling umum digunakan saat ini. Adapun unsur, jenis-jenis material, profil, dan mutu baja adalah sebagai berikut:

2.5.1. Unsur Baja

Baja merupakan logam paduan, di mana logam besi merupakan unsur dasar dan beberapa elemen logam lainnya sebagai unsur tambahan. Unsur logam yang ada pada material baja terdiri dari:

1. Besi (Fe) \pm 98 %
2. Karbon (C) maksimal 1,7 %
3. Manganese (Mn) maksimal 1,65 %
4. Silikon (Si) maksimal 0,6 %
5. Tembaga (Cu) maksimal 0,6 %
6. Fosfor (P) dan belerang (S)

2.5.2. Jenis-Jenis Material Baja

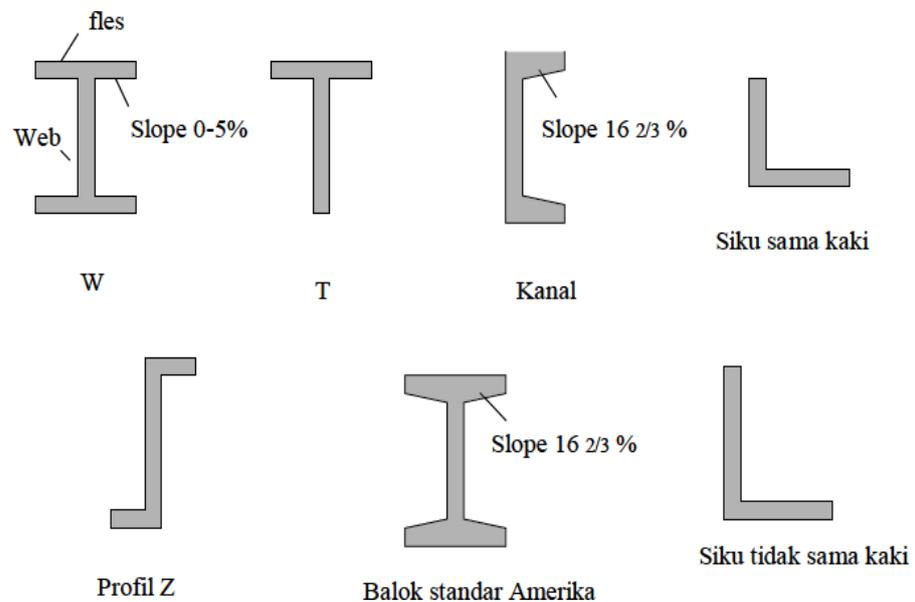
Baja yang digunakan untuk keperluan struktur dikelompokkan menjadi 4 yaitu (ASTM):

1. Baja Karbon (*Carbon steel*). Umumnya mempunyai tegangan leleh f_y berkisar antara 210 – 280 Mpa.
2. Baja paduan rendah mutu tinggi (*High strength low alloy steel/HSLA*). Mempunyai tegangan leleh f_y berkisar antara 280 – 490 Mpa.
3. Baja paduan rendah dengan perlakuan panas karbon (*Heat treated carbon and high-strength low alloy steels*). Mempunyai tegangan leleh 322 – 700 Mpa.

4. Baja struktural paduan rendah dengan perlakuan panas (*Heat-treated constructional alloy steels*). Mempunyai tegangan leleh 630 – 700 Mpa.

2.5.3. Profil Baja

Bentuk profil yang pertama kali dibuat di Amerika Serikat adalah profil siku (L) pada tahun 1819. Baja profil I pertama kali juga dibuat di AS pada tahun 1884 dan dikenal dengan istilah balok S. Pada tahun 1896, *Association of American Steel Manufacturers* (sekarang *American Iron and Steel Institute, AISI*) membuat bentuk standar profil berikut katalognya yang memuat dimensi, berat dan properti penampang lainnya. Sekarang profil struktur baja telah distandarisasi, meskipun dimensi eksaknya agak berbeda sedikit tergantung produsennya. Baja struktur dapat dibuat menjadi berbagai bentuk profil dan ukuran tanpa banyak merubah sifat fisiknya. Pada umumnya yang diinginkan dari suatu bentuk profil adalah nilai momen inersia yang besar selain luasnya. Profil baja struktur biasanya dinamai berdasarkan bentuk penampangnya, misalnya siku (L), I, C, T, Z, dan pelat. Dari tahun ke tahun terjadi perubahan dalam bentuk profil baja struktur. Hal ini disebabkan karena ditemukannya bentuk profil yang lebih efisien.



Gambar 7. Berbagai Bentuk Profil Dasar Baja Struktur (AISI, 1896)

Secara umum profil baja standar dikenal dalam empat golongan yaitu:

1. Profil baja produk Eropa–Barat: Belgia, Luksemburg, Jerman, Perancis, dan Nederland
2. Profil baja produk Eropa–Tengah: Austria, Hongaria, dan Ceko-Slowakia
3. Profil baja produk Inggris.
4. Profil baja produk Amerika: Amerika Serikat dan Kanada

Di Indonesia biasanya digunakan profil standar Jerman dan Amerika.

Beberapa profil baja standar Jerman diantaranya adalah:

1. Profil I dengan flens sempit dan flens lebar
Profil I dengan flens sempit yaitu: profil I NP.
Profil I dengan flens lebar yaitu I DIE (*Differdange Economique*), I DIN (*Differdange Normal*), I DIR (*Differdange Renforce*) dan I DIL (*Differdange Leger*).
2. Profil kanal, dinyatakan dengan kode (sebutan) C NP.
3. Profil siku sama kaki dan tidak sama kaki
4. Profil T

Jenis profil baja yang biasa dipakai di Indonesia sesuai kebutuhan konstruksi adalah sebagai berikut:

1. *Wide Flange (WF)*
WF digunakan untuk: balok, kolom, tiang pancang, top & bottom chord member pada truss, composite beam atau column, kantilever kanopi, dll. Istilah lain: IWF, WF, H-Beam, UB, UC, balok H, balok I, balok W.
2. UNP
Penggunaan UNP hampir sama dengan WF, kecuali untuk kolom jarang digunakan karena relatif lebih mudah mengalami tekuk. Istilah lain: Kanal U, U-channel, Profil U
3. *Equal Angle (Hot Rolled)*

Biasa digunakan untuk: member pada *truss*, *bracing*, balok, dan struktur ringanya. Istilah lain: profil siku, profil L, L - shape.

4. *Unequal Angle (Hot Rolled)*

Penggunaan dan istilah lain hampir sama dengan Equal Angle.

5. *Lipped Channel*

Biasa digunakan untuk: purlin (balok dudukan penutup atap), girts (elemen yang memegang penutup dinding misalnya metal sheet, dll), member pada truss, rangka komponen arsitektural. Istilah lain: balok purlin, kanal C, C-channel, profil C.

6. *Equal Angle (Cold Formed)*

Biasa digunakan untuk: bresing struktur ringan (kecil), rangka komponen arsitektural, support komponen-komponen ME. Istilah lain: hampir sama dengan *Equal Angle hot rolled*.

7. *Unequal Angle (Cold Formed)*

Penggunaan dan istilah lain hampir sama dengan *Equal Angle (Cold Formed)*.

8. *RHS (Rectangular Hollow Section) – cold formed*

Penggunaan: komponen rangka arsitektural (ceiling, partisi gipsum, dll), rangka dan support ornamen-ornamen non struktural. Istilah lain: besi hollow (istilah pasar), profil persegi.

9. *SHS (Square Hollow Section) – cold formed*

Penggunaan dan istilah lain hampir sama dengan *Rectangular Hollow Section – cold formed*.

10. *Steel Pipe*

Penggunaan: bresing (horizontal dan vertikal), *secondary beam* (biasanya pada rangka atap), kolom arsitektural, support komponen arsitektural (biasanya eksposed, karena bentuknya yang silinder mempunyai nilai artistik) Istilah lain: steel tube, pipa.

11. *T-Beam (Hot Rolled)*

Penggunaan: balok lantai, balok kantilever (kanopi). Istilah lain: balok T.

12. Honey Comb

Honey Comb adalah profil I yang di potong sedemikian rupa, sehingga kekuatannya meningkat pada satu arah. Profil ini banyak digunakan sebagai gelagar jembatan dan lain-lain.

13. Cell Form

Sama seperti pada profil *honey comb* profil ini kekuatannya meningkat pada satu arah. Profil ini sering digunakan untuk balok-balok pada atap dengan bentang yang cukup panjang. Profil ini juga sering digunakan untuk struktur-struktur yang lain, ada kalanya ekspose (diperlihatkan).

14. King Cross

Profil ini memiliki kuat aksial yang cukup tinggi pada arah X dan arah Y. Profil ini paling baik digunakan untuk struktur kolom pada bangunan.

2.5.4. Mutu Baja

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (2005) mutu dari baja terdapat pada Tabel 2. di bawah:

Tabel 2. Mutu Baja (AISC, 2005)

Jenis Baja	Tegangan putus tarik F_u (MPa)	Tegangan leleh tarik F_y (MPa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	500	290
BJ 52	520	360
BJ 55	550	410

Untuk menentukan nilai F_{ue} dan F_{ye} , berdasarkan FEMA 356, nilai F_u dan F_y dikalikan dengan faktor pengali 1.1. Adapun Material Properti dari material baja adalah sebagai berikut:

1. Modulus Elastisitas (E) = 200.000 MPa
2. Rasio Poisson (μ) = 0,3
3. Modulus Geser (G) = 77.200 Mpa

2.6. Beton

Beton merupakan suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar, agregat halus, dengan atau tanpa bahan tambahan. Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang sering digunakan di bidang Teknik Sipil seperti pada bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Secara umum, pertumbuhan atau perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup pesat. Hampir 60% material yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi adalah beton (*concrete*), yang pada umumnya dipadukan dengan baja (*composite*) atau jenis lainnya. Pada konstruksi jalan raya khususnya untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*) telah banyak aplikasi beton yang digunakan orang, yang saat ini di kenal dengan nama beton RCC (*Roller Compacted Concrete*). Beton RCC ini memiliki kekentalan yang cukup untuk dihamparkan menggunakan alat penghampar aspal (*asphalt finisher*) dan dipadatkan dengan roller.

Mutu beton sangat penting dalam sebuah proyek konstruksi. Selain sebagai parameter untuk mengontrol mutu dalam mencapai kualitas beton yang diinginkan, Mutu beton juga memiliki peran penting dalam analisis perencanaan sebuah konstruksi. (Hadi, 2017)

Konsep mutu beton di Indonesia pada umumnya sudah mengikuti standard SNI yaitu $F'c$ dengan satuan MPA. Namun disisi lain masih banyak juga yang menggunakan mutu beton K, yaitu parameter mutu beton yang didasarkan pada PBI 71.

Beton dengan mutu K-250 menyatakan kekuatan tekan karakteristik minimum adalah 250 kg/cm^2 pada umur beton tersebut 28 hari, dengan menggunakan kubus beton ukuran $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$. mengacu pada PBI 71 yang merujuk pada standart eropa lama.

Beton dengan mutu $f'c' 25$ menyatakan kekuatan tekan minimum adalah 25 Mpa pada umur beton 28 hari. Dengan menggunakan silinder beton diameter

15 cm, tinggi 30 cm. mengacu pada standart SNI 03-2847-2002 yang merujuk pada *ACI (American Concrete Institute)*.

Tabel 3. Mutu Beton (SNI 03-2847-2002)

Jenis Beton	Kuat Tekan	
	Kg/cm ²	MPa
K-225	225	18
K250	250	20
K-275	275	22
K-300	300	24
K-350	350	28
K-400	400	32
K-450	450	36
K-500	500	40
K-700	700	58
K-900	900	75

2.6.1. Tulangan

Beton kuat di dalam menahan tekan tetapi lemah di dalam menahan tarik. Olehkarena itu untuk menahan gaya tarik, diperlukan suatu baja tulangan. Bentuk- bentuk baja tulangan untuk beton adalah:

1. Baja tulangan polos. Tegangan leleh minimum pada bajatulangan polos biasanya sebesar 240 MPa. Diameter tulangan polos di pasaran umumnya adalah Ø6, Ø8, Ø10, Ø12, Ø14 dan Ø16.
2. Baja tulangan deform (ulir= BJTD). Tegangan leleh minimum pada baja tulangan deform biasanya sebesar 400MPa. Diametertulangan deform di pasaran umumnya adalah ØD10, ØD13, ØD16, ØD19, ØD22 ØD25, ØD28, ØD32, ØD36.

2.7. Komposit

Menurut (Simanjuntak, 2010) Sistem struktur komposit terbentuk dari interaksi antara komponen struktur baja dan beton yang karakteristik dasar masing-masing bahan dimanfaatkan secara optimal. Karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur baja adalah kekuatan tinggi, modulus elastis tinggi, serta fatalitas tinggi. Sedangkan karakteristik penting yang dimiliki

oleh struktur beton adalah ketahanan yang baik terhadap api, mudah dibentuk dan murah

Pada prinsipnya bahwa dalam pemakaian bahan untuk bangunan perlu memperhatikan adanya beberapa hal yang dapat menunjang, untuk mewujudkan bangunan tersebut. Hal-hal yang perlu untuk diperhatikan antara lain adalah dari segi keamanan (struktur), kenyamanan, dan keindahan.

Konstruksi komposit merupakan sistem yang paling populer dan sering dipakai untuk bangunan gedung tinggi di negara-negara maju, yaitu konstruksi baja yang dibalut dengan beton bertulang atau yang sering disebut *steel reinforced concrete (SRC)*.

Keuntungan utamanya yang didapat dengan mendesain kolom sebagai kolom komposit adalah kapasitas menahan beban yang besar meskipun dengan penampang yang kecil. Khusus untuk kolom komposit dengan penyalutan beton juga membawa keuntungan lain, yaitu:

1. Ketahanan terhadap api dan korosi yang lebih baik dibandingkan kolom baja biasa (Ruddy Jhon L,2005)
2. Efek penguatan dalam melawan tekuk.
3. Kemampuan kolom komposit memikul beban aksial dan lentur lebih besar dibandingkan kolom beton bertulang.

Jarak antar pengikat lateral tidak boleh melebihi $\frac{2}{3}$ dari dimensi terkecil penampang kolom komposit. Luas minimum penampang tulangan transversal (atau longitudinal) tidak boleh kurang dari 0,18 mm² untuk setiap mm jarak antar tulangan transversal (atau longitudinal) terpasang. Tebal bersih selimut beton dari tepi terluar tulangan longitudinal dan transversal minimal sebesar 40 mm; kriteria ke tiga mutu beton yang digunakan tidak lebih tinggi daripada 55 Mpa dan tidak kurang dari 21 MPa untuk beton normal dan tidak kurang dari 28 MPa untuk beton ringan;

kriteria ke empat tegangan leleh profil dan tulangan baja yang digunakan untuk perhitungan kekuatan kolom komposit tidak boleh melebihi 380 MPa; dan kriteria terakhir tebal minimum dinding pipa baja atau penampang baja berongga yang diisi beton adalah $b\sqrt{f_y/3E}$ untuk setiap sisi selebar b pada penampang persegi dan $D\sqrt{f_y/8E}$ untuk penampang bulat yang mempunyai diameter luar D.

2.8. Pembebanan

Beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah dan manusia, dengan kata lain, terdapat dua sumber dasar beban bangunan: geofisik dan buatan manusia. Gaya-gaya geofisik yang dihasilkan oleh perubahan-perubahan yang senantiasa berlangsung di alam dapat dibagi menjadi gaya-gaya gravitasi, meteorologi, dan seismologi. Karena gravitasi, maka berat bangunan itu sendiri akan menghasilkan gaya struktur yang dinamakan beban mati, dan beban ini akan tetap sepanjang usia bangunan.

Perubahan dalam penggunaan bangunan akan tunduk pada efek gravitasi sehingga akan menghasilkan perbedaan pembebanan sepanjang waktu tertentu. Beban meteorology berubah menurut waktu dan tempat serta tampil berwujud angin, suhu, kelembaban, hujan, salju, dan es. Gaya-gaya seismologi dihasilkan oleh gerak tanah yang tidak teratur, seperti gempa.

Pembebanan yang sumbernya buatan manusia dapat berupa ragam kejutan yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor, elevator (lift), mesin, dan sebagainya, atau dapat pula oleh pergerakan manusia dan barang, ataupun akibat ledakan dan benturan.

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat

statis dan dinamis. Gaya statis adalah gaya yang bekerja secara perlahan-lahan pada struktur dan mempunyai karakter *steady-state*.

Deformasi resultan pada struktur yang di asosiasikan dengan gaya-gaya ini juga secara perlahan-lahan timbul dan juga mempunyai karakter *steady-state*. Deformasi ini akan mencapai puncaknya apabila gaya statis telah maksimum. Gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur.

Pada umumnya tidak bersifat *steady-state* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah dengan cepat. Gaya dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi pada struktur sehingga deformaasi puncak tidak terjadi bersamaan dengan terjadinya gaya terbesar. Dalam perencanaan suatu struktur bangunan, sebaiknya mengikuti peraturan-peraturan pembebanan yang berlaku untuk mendapatkan suatu struktur bangunan yang mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut.

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan harus memenuhi peraturan-peraturan yang berlaku untuk mendapatkan suatu struktur bangunan yang aman secara konstruksi. Struktur bangunan yang direncanakan harus mampu menahan beban mati, beban hidup dan beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1989, pengertian dari beban-beban tersebut adalah seperti yang tercantum di bawah. Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan ini adalah beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dll.

2.8.1. Beban Mati

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (1983) Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin serta

peralatan tetap yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari gedung itu.

Tabel 4. Beban Mati Gedung (Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983)

No.	Material	Berat
1	Dinding pasangan bata merah	
	Satu bata	450 kg/m ²
	Setengah bata	250 kg/m ²
2	Dinding pasangan batako:	
	Berlubang tebal 20 cm	200 kg/m ²
	Berlubang tebal 10 cm	120 kg/m ²
	Tanpa lubang 20 cm	300 kg/m ²
	Tanpa lubang 10 cm	200 kg/m ²
3	Pelat bondex	10,1 kg/m ²
4	Beton	250 kg/m ²
5	Baja	

2.8.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih bisa dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur.

Beban pengguna (*occupancy loads*) adalah beban hidup. Yang termasuk kedalam beban pengguna adalah berat manusia, perabot, material yang disimpan, dan sebagainya. Beban salju juga termasuk kedalam beban hidup. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat pindah atau bergerak. Secara khas beban ini bekerja vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat berarah horizontal.

Beban hidup pada struktur pada sembarang waktu pada umumnya lebih kecil daripada besar beban yang dirancang pada struktur. Akan tetapi, pada suatu waktu besar kemungkinan beban yang bekerja itu sama dengan beban rencana pada struktur.

Tabel 5. Beban Hidup Pada Lantai Gedung (Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983)

No	Penggunaan	Berat (kg/m ²)
1	Lantai dan tangga rumah tinggal	200
2	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana Gudang-gudang selain took, pabrik, bengkel	125
3	Sekolah, Ruang kuliah, Toserba, Restoran, Hotel, asrama, Rumah sakit	250
4	Ruang olahraga	400
5	Ruang dansa	500
6	Lantai balkon dalam dari ruang pertemuan	400
7	Panggung penonton	500
8	Tangga, bordes tangga dan gang (no.3)	300
9	Tangga, bordes tangga dan gang (no.4,5,6,7)	500
10	Ruang pelengkap (no.3,4,5,6,7)	250
11	Pabrik, bengkel, Gudang Perpustakaan, ruang arsip, took buku Ruang alat dan mesin	400
12	Gedung parker bertingkat: Lantai bawah Lantai tingkat lainnya	800 400
13	Balkon menjorok bebas keluar	300

2.8.3. Beban Angin

Berdasarkan SNI 1727-2013 mengenai Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan dan Struktur Lain, untuk mengukur beban angin pada suatu bangunan gedung, maka perlu untuk menentukan kecepatan angin dasar, faktor arah angin, kategori eksposur, faktor topografi, faktor efek tiupan angin, koefisien tekanan internal, koefisien tekanan eksternal, dan koefisien eksposur.

2.8.3.1. Kecepatan Angin Dasar (V_w)

Berdasarkan pasal 26.5.1 pada SNI 1727-2013 mengenai kecepatan angin dasar, kecepatan angin dasar adalah kecepatan tiupan angin dalam tiga detik pada ketinggian 33 ft(10m) di atas tanah. Kecepatan

angin dasar yang digunakan dalam menentukan beban angin desain di bangunan gedung dan struktur lain harus ditentukan dari instansi yang berwenang, sesuai dengan kategori risiko bangunan gedung dan struktur. Data Badan Pusat Statistik Sulawesi Selatan (2014) mengenai rata-rata tekanan udara, kecepatan angin, dan penyinaran matahari di Kota Makassar adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Rata-Rata Kecepatan Angin di Kota Makassar pada Tahun 2013 (BPSSS, 2014)

No	Bulan	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)
1	Januari	3.60
2	Februari	2.57
3	Maret	2.57
4	April	2.05
5	Mei	2.05
6	Juni	2.05
7	Juli	2.05
8	Agustus	2.05
9	September	2.57
10	Oktober	2.57
11	Nopember	2.57
12	Desember	2.57

2.8.3.2. Faktor Arah Angin (Kd)

Berdasarkan pasal 26.6 pada SNI 1727-2013 mengenai arah angin, faktor arah angin ditentukan berdasarkan Tabel 7. berikut:

Tabel 7. Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin (Kd)
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0.85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0.85
Atap Lengkung	0.85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	0.90
Segiempat	0.95

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin (Kd)
Segienam Bundar	0.95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0.85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0.85
Rangka batang Menara Segitiga, segiempat, persegi Panjang Penampang lainnya	0.85 0.95

2.8.3.3. Kategori Eksposur

Berdasarkan pasal 26.7 pada SNI 1727-2013 mengenai eksposur, kategori eskposur dibagi menjadi 3 kategori yaitu kategori B, C dan D.

1. Kategori B merupakan daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran dari tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar.
2. Kategori C merupakan dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
3. Kategori D merupakan area datar, area tidak terhalang dan permukaan air. Kategori ini berisi lumpur halus, padang garam, dan es tak terputus.

2.8.3.4. Faktor Topografi (Kzt)

Berdasarkan pasal 26.8 pada SNI 1727-2013 mengenai efek topografi, efek peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam yang terisolasi akan menimbulkan perubahan mendadak dalam topografi umum, terletak dalam setiap kategori eksposur, harus dimasukkan dalam perhitungan beban

angin bila kondisi bangunan gedung dan kondisi lokasi dan lokasi struktur memenuhi kondisi berikut:

1. Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam yang terisolasi dan tidak terhalang angin arah vertikal ke atas oleh pengaruh topografi serupa dari ketinggian yang setara untuk 100 kali tinggi fitur topografi (100H) atau 2 mil (3,22 km), dipilih yang terkecil. Jarak ini harus diukur horizontal dari titik di mana tinggi H pada bukit, punggung bukit, atau tebing yang ditentukan.
2. Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam yang menonjol di atas ketinggian fitur dataran arah vertikal ke atas antara radius 2-mil (3,22 km) untuk setiap kuadran dengan faktor dua atau lebih.

Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan di atas maka nilai $K_{zt} = 1.0$.

2.8.3.5. Faktor Efek Tiupan Angin (G_w)

Berdasarkan pasal 26.9 pada SNI 1727-2013 mengenai efek tiupan angin, faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0.85.

2.8.3.6. Koefisien Tekanan Internal (C_{pi})

Berdasarkan pasal 26.11 pada SNI 1727-2013 mengenai koefisien tekanan internal, koefisien tekanan internal ditentukan berdasarkan Tabel 8. berikut ini:

Tabel 8. Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	C_{pi}
Bangunan gedung terbuka	0.00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0.55
	- 0.55
Bangunan gedung tertutup	+ 0.18
	- 0.18

Catatan:

1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan.

2.8.3.7. Koefisien Tekanan eksternal (Cpf)

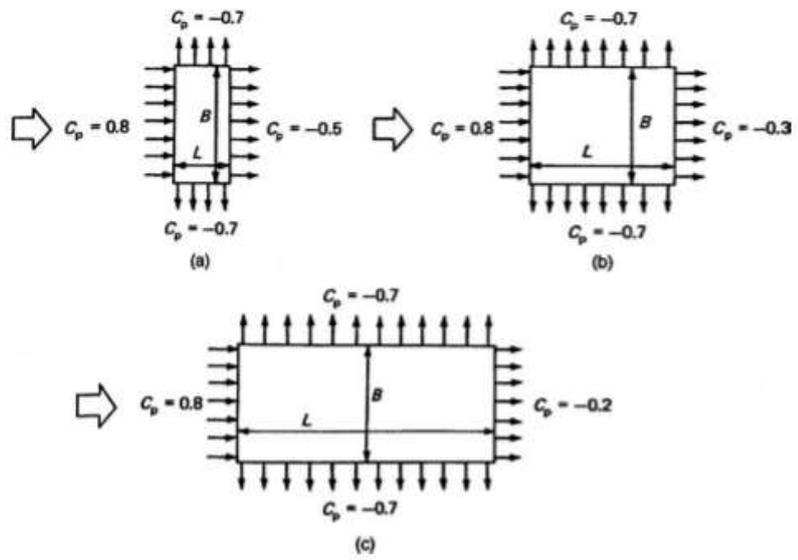
Berdasarkan pasal 27.4.1 pada SNI 1727-2013 mengenai bangunan gedung kaku tertutup dan tertutup sebagian, koefisien tekanan eskternal ditentukan berdasarkan Tabel 9. berikut:

Tabel 9. Koefisien Tekanan Dinding, Cpf

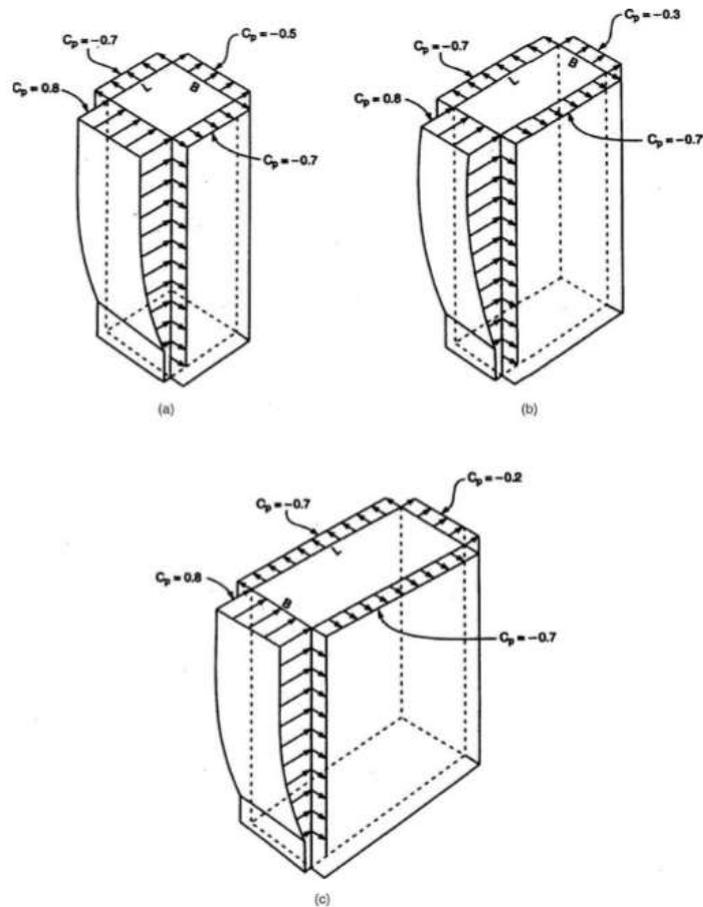
Permukaan	L/B	Cpf
Dinding di sisi angin datang	Seluruh Nilai	0.8
Dinding di sisi angin pergi	0-1	- 0.5
	2	- 0.3
	≥ 4	- 0.2
Dinding Tepi	Seluruh Nilai	- 0.7

Catatan:

1. Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan.
2. Diperkenankan interpolasi linier untuk nilai L/B. Interpolasi hanya boleh dilakukan di antara nilai-nilai dengan tanda yang sama. Apabila nilai tidak memiliki tanda yang sama, asumsikan 0,0 untuk interpolasi.
3. Notasi:
B : Dimensi horizontal bangunan gedung, dalam feet (meter), diukur tegak lurus terhadap arah angin.
L : Dimensi horizontal bangunan gedung, dalam feet (meter), diukur sejajar terhadap arah angin.



Gambar 8. Koefisien C_p dengan rasio L/B (a) $0 < L/B < 1$ (b) $L/B = 2$ (c) $L/B > 4$ (Taranath, 2004)



Gambar 9. Koefisien C_p dengan rasio L/B (a) $0 < L/B < 1$ (b) $L/B = 2$ (c) $L/B > 4$ (Taranath, 2004)

2.8.3.8. Koefisien Eksposur (Kz)

Berdasarkan pasal 27.3 pada SNI 1727-2013 mengenai tekanan velositas, koefisien eksposur harus ditentukan berdasarkan Tabel 10. berikut:

Tabel 10. Koefisien Eksposur

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
ft	(m)	B	C	D
15	0.46	0.57	0.85	1.03
20	6.1	0.62	0.90	1.08
25	7.6	0.66	0.94	1.12
30	9.1	0.7	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61	1.2	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

Catatan:

Interpolasi linear untuk nilai menengah tinggi z yang sesuai

2.8.4. Beban gempa

Beban Gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Pada saat bangunan bergetar, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan. Gaya yang timbul disebut inersia. Besar gaya-gaya tersebut bergantung pada banyak faktor. Massa bangunan merupakan faktor yang paling utama karena gaya tersebut melibatkan inersia. Faktor lain adalah bagaimana massa tersebut terdistribusi, kekakuan struktur, kekakuan tanah, jenis fondasi, adanya mekanisme redaman pada bangunan, dan tentu saja perilaku dan besar getaran itu sendiri.

Massa dan kekakuan struktur, juga periode alami getaran yang berkaitan, merupakan faktor terpenting, yang mempengaruhi respon keseluruhan struktur terhadap gerakan dan besar serta perilaku gaya-gaya yang timbul sebagai akibat gerakan tersebut.

Salah satu cara untuk memahami fenomena-fenomena yang terlibat dapat ditinjau terlebih dahulu bagaimana suatu struktur kaku memberikan respon terhadap gerak getaran sederhana, struktur mempunyai fleksibilitas seperti umumnya struktur gedung.

2.8.4.1. Faktor Keutamaan

Berdasarkan pasal 4.12 pada SNI-1726-2012 mengenai faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan, untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didisain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 11. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk
Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan dan perikanan 2. Fasilitas sementara 3. Gedung penyimpanan 4. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katerogi risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Perumahan 2. Rumah toko dan rumah kantor 3. Pasar 4. Gedung perkantoran 5. Gedung apartemen/ rumah susun 6. Pusat perbelanjaan/ mall 7. Bangunan industry 8. Fasilitas manufaktur 9. Pabrik 	II
<p>Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bioskop 2. Gedung pertemuan 3. Stadion 4. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat 5. Fasilitas penitipan anak 6. Penjara 7. Bangunan untuk orang jompo 	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pusat pembangkit listrik biasa 2. Fasilitas penanganan air 3. Fasilitas penanganan limbah 4. Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bangunan-bangunan monumental 2. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan 3. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat 4. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat 5. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya 6. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat 	IV

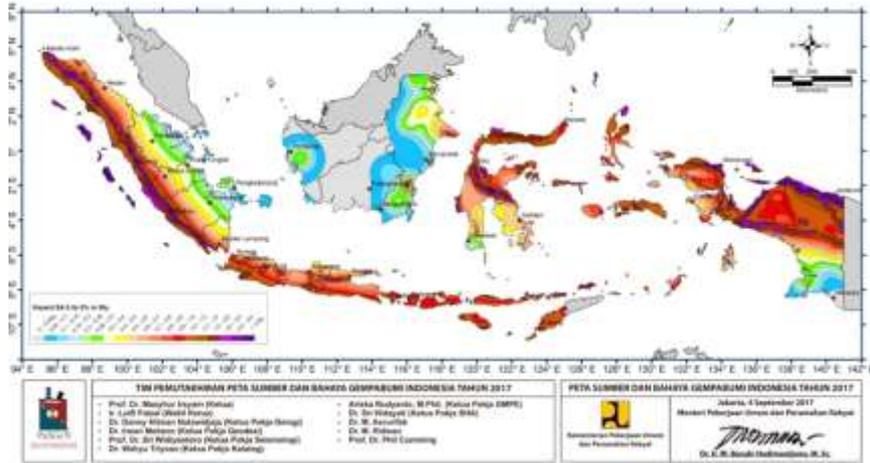
Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
7. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat 8. Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, manara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV	

Tabel 12. Faktor Keutamaan Gempa

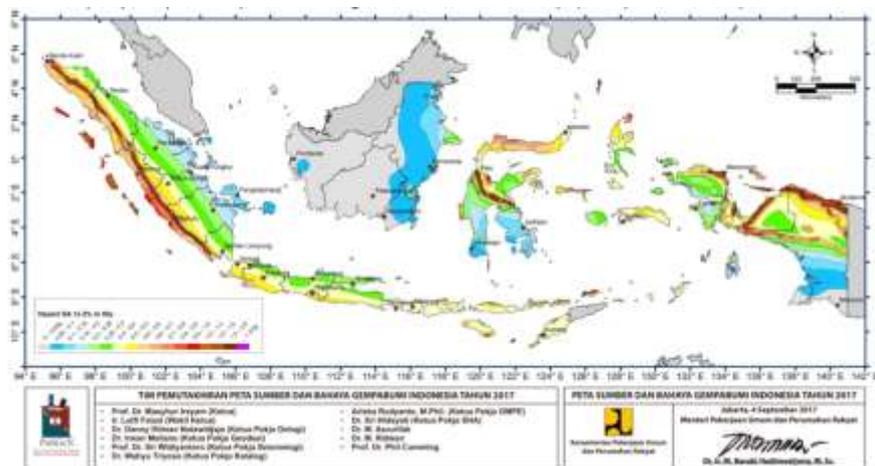
Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1.50

2.8.4.2. Nilai Spektral percepatan

Berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang disusun oleh Pusat Studi Gempa Nasional dan Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, nilai spectral percepatan pada 0,2 detik (S_s) dapat ditentukan berdasarkan gambar 2.1 dan spektral percepatan pada 1 detik (S_1) pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 10. SS, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Paramater Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 0,2 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB.



Gambar 11. S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Paramater Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 1 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB.

2.8.4.3. Klasifikasi Situs

Berdasarkan pasal 5.3 pada SNI-1726-2012 mengenai prosedur klasifikasi situs untuk desain seismik, klasifikasi suatu situs dibagi menjadi 6 kelas situs seperti Tabel 13. berikut:

Tabel 13. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	v (m/detik)	N	s
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A

SB (Batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	Ø 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15-50	50-100
SE (Tanah lunak)	<175	<15	<50
	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ dan 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa 		
SF (Tanah keras yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti pasal 6.9.1)	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organic dan atau gambut (ketebalan $H > 3m$) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m) dengan indeks plastisitas $PI > 75$) 4. Lapisan lempung lunak/ medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa 		

Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

2.8.4.4. Koefisien Situs

Berdasarkan pasal 6.2 pada SNI-1726-2012 mengenai koefisien-koefisien dan parameter-parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R), nilai koefisien situs (F_a) dan koefisien situs (F_v) dapat dilihat berdasarkan Tabel 14. dan Tabel 15. dibawah ini.

Tabel 14. Koefisien situs (F_a)

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s			
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.2	1.2	1.1	1.0
SD	1.6	1.4	1.2	1.1
SE	2.5	1.7	1.2	0.9

Keterangan: Untuk nilai-nilai antara S_s dilakukan interpolasi linier

Tabel 15. koefisien situs (F_v)

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R terpetakan pada Periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	8.0
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

Keterangan: Untuk nilai-nilai antara S_1 dilakukan interpolasi linier

2.8.4.5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan pasal 6.3 pada SNI-1726-2012 mengenai parameter percepatan spectral desain, nilai S_{DS} dan S_{D1} ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = 2/3 \times S_s \times F_a \quad (5)$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_1 \times F_v \quad (6)$$

2.8.4.6. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan pasal 6.5 pada SNI-1726-2012 mengenai kategori desain seismik, struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori seismik yang mengikuti Tabel 16. Dan 17. berikut:

Tabel 16. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I II III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 17. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I II III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$1.33 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

2.8.4.7. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Berdasarkan pasal 7.2.2. pada SNI-1726-2012 mengenai kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda, system penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogoonal struktur. Bila system yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_o harus dikenakan pada setiap system, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam lampiran.

Faktor Modifikasi Respons (R) atau faktor reduksi beban gempa adalah suatu nilai yang mereduksi jumlah beban gempa berdasarkan tipe struktur yang direncanakan serta komponen struktur pendukung lainnya. Faktor kuat lebih (Ω_o) diberikan pada elemen struktur tertentu agar setidaknya elemen tersebut mengalami kerusakan yang lebih kecil dibandingkan elemen yang lain. Faktor kuat lebih (Ω_o) ditentukan bukan agar elemen tersebut masih dalam kondisi elastik, hal ini dikarenakan berbagai kemungkinan yang tidak dipertimbangkan ketika analisa struktur dilakukan (misal fenomena redistribusi gaya) membuat asumsi member masih elastik hanya karena didesain dengan gaya yang lebih tinggi adalah asumsi yang kurang bisa dipegang secara ilmiah.

2.8.4.8. Koefisien Batas Atas Periode (C_u)

Berdasarkan pasal 7.8.2.1 pada SNI-1726-2012 mengenai Periode Fundamental Pendekatan, koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung ditentukan berdasarkan Tabel 18. berikut:

Tabel 18. Koefisien Batas Atas Periode (C_u)

Parameter respon percepatan spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

2.8.4.9. Nilai Parameter Periode Pendekatan

Berdasarkan pasal 7.8.2.1 pada SNI-1726-2012 mengenai Periode Fundamental Pendekatan, nilai parameter periode pendekatan C_t dan x ditentukan berdasarkan Tabel 19 berikut::

Tabel 19. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika terjadi gaya gempa	-	-
Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.8
Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua system struktur lainnya	0.0488	0.75

2.8.5. Kombinasi Pembebanan

Struktur bangunan gedung dan struktur lainnya harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan Kombinasi Beban untuk Metoda Ultimit atau Kombinasi Beban untuk Metoda Tegangan Ijin.

1. Kombinasi Beban untuk Metoda Ultimit

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

- a. $1,4D$
- b. $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- c. $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- d. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- e. $1,2D + 1,0E + L$
- f. $0,9D + 1,0W$
- g. $0,9D + 1,0E$

2. Kombinasi Beban untuk Metoda Tegangan Ijin

Beban-beban di bawah ini harus ditinjau dengan kombinasi-kombinasi berikut untuk perencanaan struktur, komponen- elemen

struktur dan elemen-elemen fondasi berdasarkan metoda tegangan ijin:

- a. D
- b. $D+L$
- c. $D+ (L_r \text{ atau } R)$
- d. $D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
- e. $D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
- f. $D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R) 0,6D + 0,6W$
- g. $0,6D + 0,7E$

2.9. Analisis Linear Gempa

Analisis linear gempa dibagi menjadi dua bagian yaitu analisis statik dan analisis dinamik. Analisis statik biasa disebut dengan Analisis Statik Ekuivalen. Adapun Analisis dinamik terbagi menjadi dua macam analisis yaitu Analisis Respon Spektrum dan Analisis Time linear History.

2.9.1. Analisis Statik

Suatu cara analisis statik 3 dimensi linier dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen yang telah dijabarkan dari pembagian gaya geser tingkat maksimum dinamik sepanjang tinggi struktur gedung yang telah diperoleh dari hasil analisis respons dinamik elastik linier 3 dimensi. Beban gempa nominal yang bekerja pada struktur gedung dihitung berdasarkan analisis beban gempa statis ekuivalen. Berikut ini dijelaskan beberapa rumus untuk analisis beban gempa statis ekuivalen.

2.9.1.1. Periode Fundamental

Berdasarkan pasal 7.8.2.1 pada SNI-1726-2012 mengenai penentuan periode, periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u). Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental

struktur, T , diijinkan langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h^x \quad (7)$$

Keterangan:

h adalah ketinggian struktur dalam (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 19.

2.9.1.2. Jumlah Ragam

Berdasarkan pasal 7.9.1 pada SNI-1726-2012 mengenai jumlah ragam, analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

2.9.1.3. Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan pasal 7.8.1.1 pada SNI-1726-2012 mengenai perhitungan koefisien respons seismik, nilai C_s harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$C_s = S_{DS} \times I_e / R \quad (8)$$

$$C_s \leq (S_{D1} \times I_e) / (T \times R) \quad (9)$$

$$C_s = 0.444 \times S_{DS} \times I_e \geq 0.01 \quad (10)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien Respons Seismik

S_{DS} = Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

I_e = Faktor Keutamaan Bangunan Gedung Dan Non Gedung

R = Koefisien Modifikasi Respons

S_{D1} = Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 detik

T = Periode Fundamental Struktur (s)

2.9.1.4. Beban Geser Dasar Seismik (V)

Berdasarkan pasal 7.8.1 pada SNI-1726-2012 mengenai geser dasar seismik, geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \quad (11)$$

Keterangan:

V = Beban Geser Dasar Statis Ekuivalen Akibat Gempa (kN)

C_s = Koefisien Respons Seismik

W = Berat Seismik Efektif (kN)

2.9.1.5. Skala Gaya

Berdasarkan pasal 7.9.4.1 pada SNI-1726-2012 mengenai skala gaya, bila periode fundamental yang dihitung melebihi $C_t T_a$, maka $C_t T_a$ harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0.85 \frac{V}{V_t}$.

Keterangan:

V = Geser Dasar Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen (kN)

V_t = Geser Dasar dari Kombinasi Ragam (kN)

Nilai skala gaya ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$S_F = \frac{g \times I_e}{R} \quad (12)$$

Keterangan:

S_F = Skala Gaya (m/s^2)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

I_e = Faktor Keutamaan

R = Faktor Modifikasi Respon

2.9.2. Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh

dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi 2 macam, yaitu:

1. Analisis Respon Spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.
2. Analisis *Time Linear History* adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

2.9.2.1. Spektrum Respon Desain

Berdasarkan pasal 6.4 pada SNI-1726-2012 mengenai spektrum respon desain, bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan dibawah ini:

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

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (13)$$

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

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (14)$$

Keterangan:

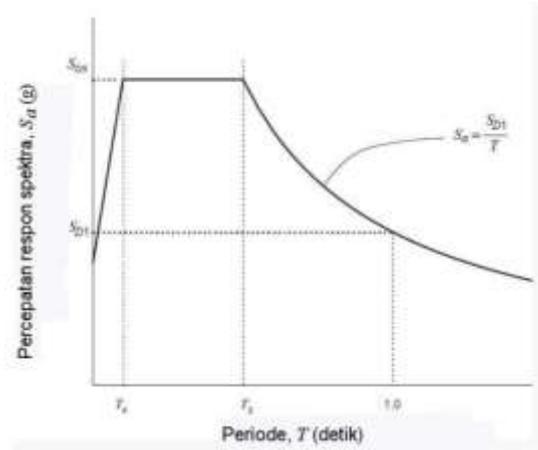
S_{DS} = Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

S_{D1} = Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 detik

T = Periode Fundamental Struktur (s)

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 12. Spektrum Respons Desain (SNI-1726-2012)

2.9.2.2. Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan pasal 7.8.6 pada SNI-1726-2012 mengenai penentuan simpangan antar lantai, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dan pusat massa di tingkat atasnya.

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b pada tabel, simpangan antar lantai desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Defleksi pusat massa di tingkat (δ_x) (mm) harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

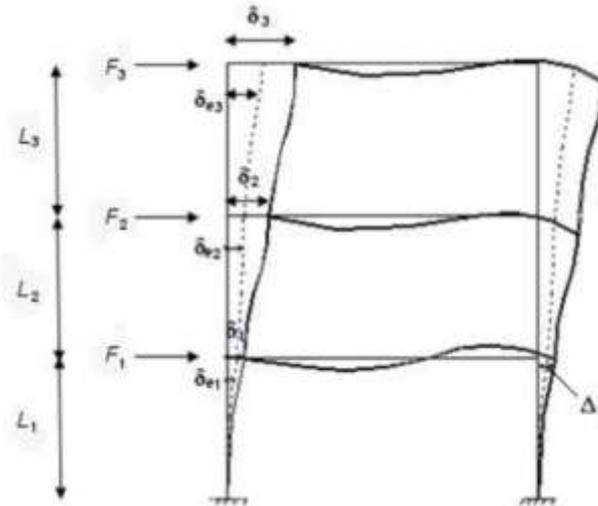
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (15)$$

Keterangan:

C_d = Faktor Amplifikasi Defleksi

δ_{xe} = Defleksi Pada Lokasi Yang Disyaratkan

I_e = Faktor Keutamaan Gempa



Gambar 13. Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI-1726-2012)

Tingkat 1

F_1 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e1} = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya F_1

δ_1 = $C_d \delta_{xe} / I_e$ = Perpindahan yang diperbesar

Δ_1 = $\delta_{e1} \leq \Delta_a$

δ_3 = Perpindahan total

Tingkat 2

F_2 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e2} = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya F_2

δ_2 = $C_d \delta_{e2} / I_e$ = Perpindahan yang diperbesar

Δ_2 = $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$

Tingkat 3

F_3 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e3} = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya F_3

δ_3 = $C_d \delta_{e3} / I_e$ = Perpindahan yang diperbesar

Δ_3 = $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_a$

Adapun nilai simpangan maksimum pada tiap lantai diatur berdasarkan persamaan berikut:

$$\delta_{izin} = 0.02 \times \text{ketinggian perlantai} \quad (16)$$

2.9.2.3. Pengaruh P-Delta

Berdasarkan pasal 7.8.7 pada SNI-1726-2012 mengenai pengaruh P-delta, pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0.10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (17)$$

Keterangan:

P_x = Beban Desain Vertikal Total di atas Tingkat x (kN)

Δ = Simpangan Antar Lantai Tingkat Desain

I_e = Faktor Keutamaan Gempa

V_x = Gaya Geser Seismik pada Tingkat x Dan $x - 1$ (kN)

h_{sx} = Tinggi Tingkat di bawah Tingkat x (mm)

C_d = Faktor Pembesaran Defleksi

Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \leq 0.25 \quad (18)$$

dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x - 1$. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1.0.

Jika (θ) lebih besar dari θ_{max} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

2.10. Program ETABS (*Extended Three Dimension Analysis of Building Systems*)

ETABS (*Extended Three Dimension Analysis of Building Systems*) adalah salah satu program komputer yang digunakan khusus untuk perencanaan gedung dengan konstruksi beton, baja, dan komposit. Program tersebut mempunyai tampilan yang hampir sama dengan SAP karena dikembangkan

oleh perusahaan yang sama (*Computers and Structures Inc, CSI*) yaitu salah satu perusahaan pembuat piranti lunak (program) untuk perencanaan-perencanaan struktur. Program-program dari CSI tersebut sudah digunakan di lebih dari 160 negara.

Program ETABS akan sangat membantu dalam melakukan analisis dan desain struktur bangunan, yang sebelumnya secara manual dalam waktu yang relatif lama dan keakuratannya tidak terjamin. ETABS sangat relevan untuk desain struktur bangunan gedung bertingkat/*high rise building* dengan memperhitungkan beban berat sendiri struktur, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Beberapa keunggulan dari program ETABS adalah sebagai berikut:

1. Fitur/ fasilitas yang lebih lengkap (untuk kasus perencanaan struktur gedung),
2. Lebih ringan dan cepat saat diinstal di Computer daripada SAP 2000,
3. Lebih cepat dalam melakukan running analysis daripada SAP 2000,
4. Lebih cepat saat melakukan pemodelan struktur,
5. Tampilan 2D dan 3D yang bisa mencakup seluruh elemen,

2.11. Program SPSS (*Statistical Product and Service Solution*)

SPSS (Statistical Product and Service Solution) atau *Statistical Product and Service Solution* merupakan program aplikasi yang digunakan untuk melakukan perhitungan statistik menggunakan komputer. Kelebihan program ini adalah kita dapat melakukan secara lebih cepat semua perhitungan statistik dari yang sederhana sampai yang rumit sekali pun, yang jika dilakukan secara manual akan memakan waktu lebih lama. Tugas pengguna hanyalah mendesain variabel yang akan dianalisis, memasukan data, dan melakukan perhitungan dengan menggunakan tahapan yang ada pada menu yang tersedia.

Setelah perhitungan selesai, tugas pengguna ialah menafsir angka-angka yang dihasilkan oleh SPSS. Proses penafsiran inilah yang jauh lebih penting daripada sekedar memasukan angka dan menghitungnya. Dalam melakukan

penafsiran kita harus dibekali dengan pengertian mengenai statistik dan metodologi penelitian.

SPSS dikenal sebagai aplikasi pengolah data statistik paling populer dan banyak digunakan dalam berbagai bidang. SPSS memiliki kemampuan lengkap dalam menjawab kebutuhan pengolahan dan analisis data statistik. Fleksibilitas data pun didukung penuh dengan integrasi format data untuk aplikasi lain seperti Excel, Word, Power Interface, dan PDF. SPSS 20 yang merupakan versi terbaru menawarkan interface yang intuitif sehingga berguna untuk manajemen data, statistik, dan metode pelaporan dalam suatu cakupan analisis yang lebih luas.

2.11.1. *Independent Sample T-Test*

Uji *Independent Sample T-Test* jika diterjemahkan dalam Bahasa Indonesia maka berarti uji t sampel tidak berhubungan atau berpasangan (sampel bebas). Kata “Independent” sendiri memiliki arti “Bebas” yang memiliki makna tidak berhubungan atau tidak berkaitan antara dua sampel yang akan dianalisis menggunakan uji independent sampel t-test ini. Dengan demikian maka kita dapat merumuskan definisi umum bahwa uji independent sampel t-test merupakan uji analisis statistik yang bertujuan untuk membandingkan antara dua sample yang tidak berpasangan. Dan apabila ingin menguji sampel yang berpasangan dapat menggunakan uji *Dependent Sampel T-Test (Paired Sampel T-Test)*. Untuk melakukan uji Independent Sampel T-Test harus memenuhi 5 persyaratan yang dilakukan sebelum melakukan uji Independent Sampel T-Test, adapun asumsi yang harus di penuhi adalah sebagai berikut :

- a. Kedua sampel tidak saling berpasangan. Jika sampel berpasangan maka uji hipotesis yang dilakukan adalah *Dependent Sampel T-Test (Paired Sampel T-Test)*
- b. Jumlah data untuk masing-masing sampel kurang dari 30 buah, maka sebaiknya uji hipotesis yang digunakan adalah dengan uji Z.

Data yang dipakai dalam uji Independent Sampel T-Test berupa data kuantitatif (angka asli) berskala interval atau rasio

- c. Data untuk kedua sampel berdistribusi normal. Jika data dari salah satu sampel atau keduanya tidak berdistribusi normal, maka uji hipotesis perbandingan dilakukan dengan metode statistik non parametrik
- d. Adanya kesamaan varians atau homogeny untuk kedua sampel data penelitian (bukan merupakan syarat mutlak). Jika ternyata didapati varians data untuk kedua sampel tidak homoge, maka uji independent sampel t-test tetap dapat dilakukan. Akan tetapi pengambilan keputusan atau kesimpulan harus didasarkan pada hasil yang terdapat dalam output spss yang telah diuji atau “*Equal Variance Not Assumed*”.

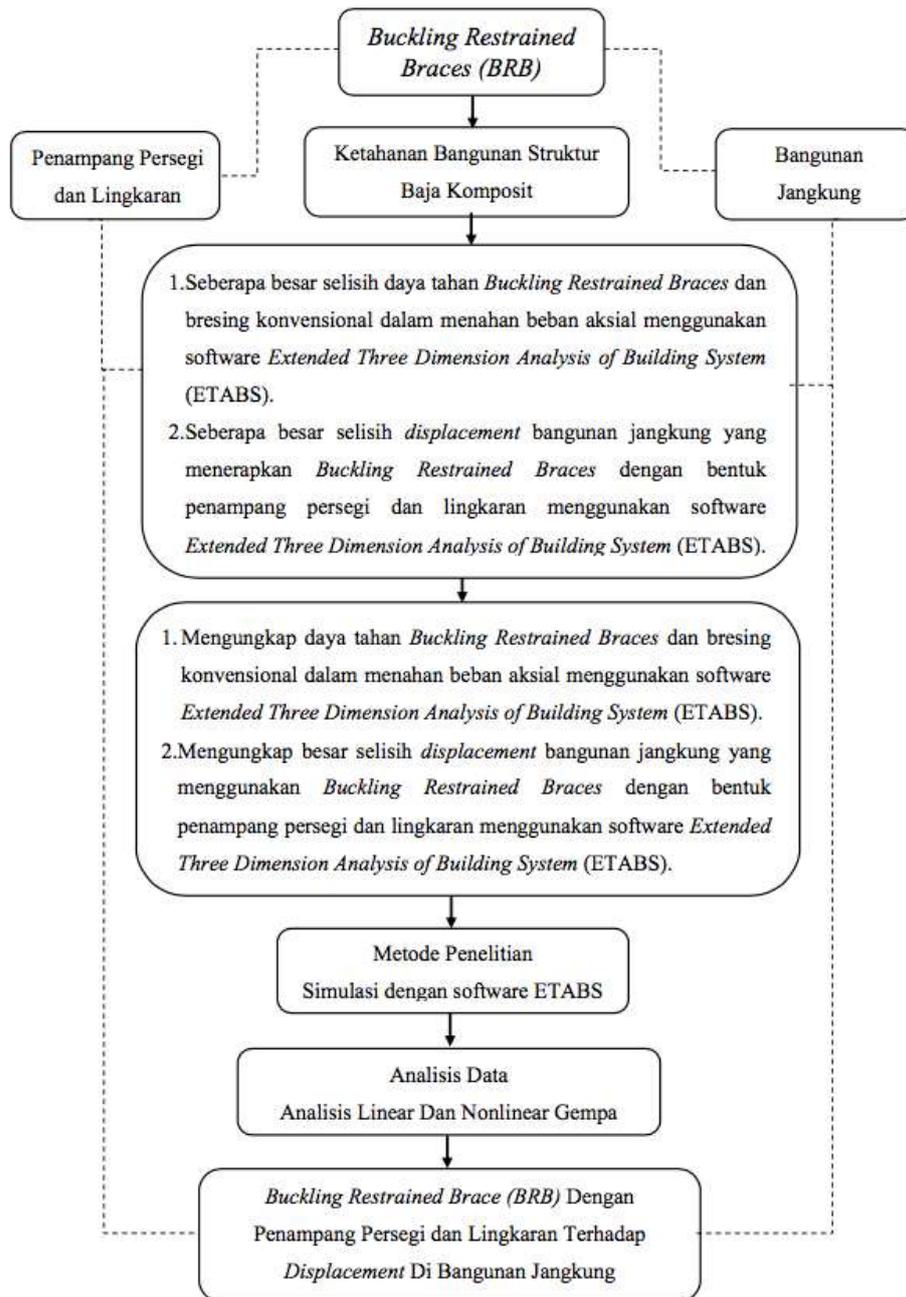
2.12. Keaslian Penelitian

Tabel 20. Keaslian Penelitian

Peneliti	Judul	Tahun	Hasil
Hyunhoon Choi & Jinkoo Kim	Behaviour and Design of Structure with Buckling Restrained Braces	2003	<i>displacement</i> maksimum pada struktur baja berkurang seiring dengan meningkatnya kekakuan bresing
L. Di Sarno, G. Manfredi b	Seismic retrofitting with buckling restrained braces: Application to an existing non-ductile RC framed building	2010	Simpangan antar lantai berkurang menjadi 0,84% pada CPLS dan 0,65% pada LSLS serta lebih dari 60% energi dapat didisipasi oleh BRB.
Widya Apriani	Analisis <i>Buckling Restrained Braces</i> System Sebagai Retrofitting Pada Bangunan Beton	2012	Aplikasi BRBS pada struktur sebagai retrofitting mampu menahan gaya tekan yang dapat menyebabkan tekuk pada struktur.

	Bertulang Akibat Gempa Kuat		
Irsyad Septian Badrauddin, Budi Suswanto, Hidayat Soegihardjo	Studi Perbandingan Beberapa Bentuk Penampang Bresing Anti Tekuk Pada Struktur Bangunan Baja Akibat Beban Gempa Dengan Menggunakan Program MIDAS FEA	2013	Penampang Persegi Memiliki Hasil Paling Lemah Dibandingkan Dengan Penampang Lingkaran Dan Multibox Terhadap Ketahanan Bracingnya
Nikhil D. Sontakke, P. S. Lande	Comparative Study of Buckling Restrained Braces and Conventional Braces in a Medium Rise Building	2016	Dalam peristiwa seismik bangunan, BRB menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada bangunan dengan bracing konvensional. BRB mengurangi gaya pada lantai gedung yang memberikan stabilitas bangunan. Oleh karena itu penggunaan BRB dianggap lebih aman daripada bresing konvensional di gedung.
A.Nur Anisah Rahayu Agich	Pengaruh Bentuk Penampang <i>Buckling Restrained Brace (BRB)</i> Pada Bangunan Struktur Baja Dengan Menggunakan Program ETABS	2020	

2.13. Kerangka Pikir



Gambar 14. Kerangka Pikir