SKRIPSI

PERBANDINGAN NILAI *DISPLACEMENT* ANTARA DENAH DASAR BENTUK LINGKARAN DAN SEGIEMPAT PADA BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI

SITI SARAH

D051171003

DEPARTEMEN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

HALAMAN JUDUL

PERBANDINGAN NILAI *DISPLACEMENT* ANTARA DENAH DASAR BENTUK LINGKARAN DAN SEGIEMPAT PADA BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI

SITI SARAH

D051171003

DEPARTEMEN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

"Perbandingan Nilai Displacement Antara Denah Dasar Berbentuk Lingkaran Dan Segiempat Pada Bangunan Bertingkat Tinggi"

Disusun dan diajukan oleh

Siti Sarah
D051171003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 Agustus 2022

Menyetujui

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Ir. Hartawan, MT	**Dr. Imriyanti, ST.,MT**
NIP. 19641231 199103 1 034	NIP. 19730208 200604 2 001

Mengetahui

Ketua Program Studi Arsitektur

Dr. Ir. H. Edward Syarif, MT.
NIP. 19690612 199802 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Siti Sarah
NIM	: D051171003
Program Studi	: S1 Teknik Arsitektur

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Perbandingan Nilai *Displacement* antara Denah Dasar Bentuk Lingkaran dan Segiempat pada Bangunan Bertingkat Tinggi**" 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, 20 Agustus 2022

Yang menyatakan,

Siti Sarah

NIM. D051171003

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas karunia-Nya sehingga penulis telah menyelesaikan skripsi dengan judul "**Perbandingan Nilai *Displacement* antara Denah Dasar Bentuk Lingkaran dan Segiempat pada Bangunan Bertingkat Tinggi**". Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi tingkat Strata Satu (S1) program studi Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, **Jufri Pammeng** dan **Eni Hartuti Kumbiarum** yang telah memberikan dukungan materil dan spiritual yang tak henti-hentinya sehingga menjadi motivasi bagi penulis.

2. Bapak **Dr. Ir. Hartawan, MT** dan **Ibu Dr. Imriyanti, ST., MT** selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberi saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

3. Bapak **Dr. Eng. Ir. Nasruddin, ST., MT** dan **Ibu Pratiwi Mushar, ST., MT** selaku dosen penguji yang selain menjadi penguji juga senantiasa memberikan masukan serta kritik yang membangun bagi perkembangan penulisan skripsi ini dan untuk pribadi penulis.

4. Bapak **Dr. Ir. H. Edward Syarif, ST., MT** selaku ketua Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Seluruh **Dosen, Staf dan Karyawan Departemen Arsitektur** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuan dan arahan yang penulis terima selama pengurusan berkas skripsi ini, serta ilmu yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan.

6. **Ainun Puspitasari** dan **Nandhiga Maulana** selaku sahabat yang sangat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini serta seluruh teman-teman angkatan **Arsitektur 2017** yang turut membantu dan menemani selama masa perkuliahan.

7. **Astrina Masda, Wa Ode Denti Damayanti, Hamka Idrus, Ady Putra R** dan **Al Mujahid Islamy** yang telah banyak membantu penulis dan bersabar menanggapi ketidaktahuan penulis baik dalam hal penggunaan aplikasi ETABS maupun terkait ilmu dibidang struktur sehingga memudahkan penulis menyelesaikan tugas akhir (skripsi) ini

serta teman-teman di Laboratorium Bahan, Struktur, dan Konstruksi Bangunan yang senantiasa memberi dukungan selama proses tugas akhir (skripsi).

8. **Dwi Yuwandita R, Khaerira Ramanda Rezza H, Anugrah Pratiwi** dan **Ainun Puspitasari** selaku sahabat dari awal berproses hingga tak ada akhirnya. Terima kasih banyak atas semua kebaikan dan kebersamaannya.

9. **Roland Pattola, Fikri** dan **Kak A. Nur Anisah Rahayu Agich, S.Ars** senior Arsitektur angkatan 2016 yang telah memberi saran selama pengerjaan skripsi dan membantu penulis dalam menjalankan aplikasi ETABS

10. Channel youtube **8 Minutes Learn** yang telah sangat berjasa dengan konten yang sangat bermanfaat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dan masih terdapat kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dari penulis. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata semoga atas kesediaan semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini, selalu mendapatkan rahmat dan karunia dari Allah SWT. Penulis berharap agar hasil dari tulisan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, 10 Agustus 2022

SITI SARAH

COMPARISON OF DISPLACEMENT VALUE BETWEEN BASIC PLAN FOR CIRCULAR AND QUARTERIA ON HIGH-STORE BUILDING

Siti Sarah [1], Hartawan [2], Imriyanti [3]

[(1)]Students of the Hasanuddin University Architecture Department, [(2),(3)]Lectures of the Hasanuddin University Architecture Department

E-mail : sitisarahaaj@gmail.com

ABSTRACT

The construction of high-rise buildings uses various forms of floor plans including circles, squares, polygons, parallelograms and others. But the role of these forms on the strength of the structure has not been clearly revealed, that's why this research was conducted. The purpose of this study was to describe the behavior of high-rise buildings using a circular plan and a square plan and to compare the displacement values between a typical floor plan using a circle plan and a square plan. The method used is the modeling and simulation method with the help of the ETABS program as a measuring tool. The object of this research is a 25-story high-rise building. Building materials using composite materials. The results showed that the circular plan has a smaller displacement value than the square plan. In testing the core of a 25-story building, it was found that the circular plan has a smaller displacement value with an average displacement value of 4.47 mm in the X direction, while the average displacement value in the Y direction is 3.61 mm with a displacement value of 5.75 mm and the square plan has a larger displacement value. with an average value of displacement in the X direction of 23.56 mm while the average value of displacement in the Y direction is 7.24 mm with a displacement value of 24.65 mm.

Keywords: Displacement, Grid Module, Radial Module and High Rise

PERBANDINGAN NILAI *DISPLACEMENT* ANTARA DENAH DASAR BENTUK LINGKARAN DAN SEGIEMPAT PADA BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI

Siti Sarah [1], Hartawan [2], Imriyanti [3]

[(1)] Mahasiswa Departemen Arsitektur Universitas Hasanuddin, [(2),(3)] Dosen Departemen Arsitektur Universitas Hasanuddin

E-mail : sitisarahaaj@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan gedung bangunan tinggi menggunakan berbagai macam bentuk denah diantaranya lingkaran, persegi, polygon, jajar genjang dan lain-lain. Tetapi peran dari bentuk-bentuk tersebut terhadap kekuatan struktur belum terungkap secara jelas, untuk itulah penelitian ini dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan perilaku struktur bangunan tinggi dengan penggunaan denah lingkaran dan denah persegi serta mengetahui perbandingan nilai *displacement* antara denah tipikal yang menggunakan denah lingkaran dan denah persegi. Metode yang digunakan yaitu metode *modelling and simulation* dengan bantuan program *ETABS* sebagai alat ukur. Objek penelitian ini gedung bangunan tinggi 25 lantai. Bahan bangunan menggunakan material komposit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa denah lingkaran miemiliki nilai *displacement* lebih kecil dibandingkan denah persegi. Pada pengujian inti bangunan 25 lantai didapatkan denah lingkaran memiliki nilai *displacement* lebih kecil dengan nilai rata-rata *displacement* arah X sebesar 4.47 mm dan arah Y sebesar 3.61 mm dengan nilai perpindahan sebesar 5.75 mm dan denah persegi memiliki nilai *displacement* lebih besar dengan nilai rata-rata *displacement* arah X sebesar 23.56 mm dan arah Y sebesar 7.24 mm dengan nilai perpindahan sebesar 24.65 mm.

Kata kunci : *Displacement*, Modul Grid, Modul Radial dan *High Rise*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI iv

KATA PENGANTAR v

DAFTAR ISI ix

DAFTAR GAMBAR xv

DAFTAR TABEL xviii

BAB I PENDAHULUAN 1

A. Latar Belakang 1

B. Rumusan Masalah 2

C. Tujuan 2

D. Manfaat 3

E. Batasan Masalah 3

F. Sistematika Penulisan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

A. Bangunan Tinggi 5

B. Karakteristik Bentuk Dasar 6

C. Komponen-komponen Struktural Bangunan 8

1. Balok 8

2. Kolom 9

3. Plat 10

4. Dinding Geser 12

D. Baja 13

1. Unsur Baja 13

2. Jenis-Jenis Material Baja 13

3. Profil Baja 14

4. Mutu Baja 16

E. Beton 16
1. Beton 16
2. Tulangan 17
F. Komposit 18
G. Elemen Struktur Komposit 19
1. Balok Komposit 19
a. Balok komposit penuh 19
b. Balok komposit parsial 19
c. Balok baja yang diberi selubung beton 20
2. Kolom Komposit 20
H. Pembebanan 21
1. Beban Mati 21
2. Beban Hidup 24
3. Beban Angin 25
4. Beban Gempa 31
a. Wilayah Gempa Indonesia 31
b. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Struktur Bangunan 31
c. Nilai Spektral Percepatan 35
d. Kelas Situs 35
e. Koefisien Situs 36
f. Parameter Percepatan Spektral Desain 38
g. Kategori Desain Seismik 38
h. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda 39
5. Kombinasi Pembebanan 41
6. Analisis Linear Gempa 42
a. Analisis Statik Ekuivalen 42
1) Periode fundamental (T) 42

2) Modal Participation Mass Ratio (MPMR) 43
3) Geser dasar seismic (V) 43
4) Koefisien respons seismik 44
5) Faktor skala 44
b. Analisis Dinamis Respon Spektrum 45
1) Simpangan Antar Lantai 46
2) Pengaruh P-Delta 47
3) Program ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems) 47
I. Hubungan Bentuk dan Struktur dalam Arsitektur 48
a. Ornamentasi Struktur 49
b. Struktur Sebagai Ornamen 50
c. Struktur Sebagai Arsitektur 51
d. Struktur Sebagai Penghasil Bentuk 51
J. Penelitian Terdahulu 53
K. Alur Perencanaan Penelitian 56
L. Kerangka Berpikir dan Bagan Alur 57
BAB III METODE PENELITIAN 61
A. Jenis dan Metode Penelitian 61
1. Jenis Penelitian 61
2. Metode Penelitian 61
B. Objek Penelitian 61
C. Variabel Penelitian 62
1. Variable Bebas 62
2. Variable Tetap 63
D. Metode Pengujian Penelitian Dasar 71
1. Material dan Dimensi 71

2. Pembebanan pada Model 3-Dimensi 71
3. Analisis Struktur 72
E. Metode Pengujian Bangunan Inti 73
1. Struktur Model Bangunan 73
2. Material Properties 75
3. Section Properties 76
4. Pembebanan Terhadap Model Struktur 78
a. Beban Mati 79
b. Beban Mati Dinding *(Super Dead)* 79
c. Beban Hidup 79
d. Beban Angin 81
e. Beban Gempa 87
f. Kombinasi Pembebanan 89
5. Analisis Struktur Bangunan Uji 91
6. Analisis *Displacement* 91
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 93
A. Hasil pengujian penelitian dasar 93
B. Hasil Pengujian Penelitian Inti 95
1. Hasil analisis struktur (Tahap I) 95
a. Periode Fundamental 95
b. *Modal Participation Mass Ratio (MPMR)* 95
c. Skala Gaya 97
d. Simpangan Antar Lantai 100
e. Pengaruh P-Delta 106
2. Hasil Analisis *Displacement* Bangunan (Tahap II) 111
a. Beban Mati 111
b. Beban Mati Tambahan (dinding) 114

c. Beban Hidup 117

d. Beban Gempa 119

e. Beban Angin 121

f. Beban Kombinasi 123

1) Kombinasi 1 (1.4 DL *(Dead Load))* 123

2) Kombinasi 2a (1.2 DL *(Dead Load))* + 1.6 LL *(Live Load))* 124

3) Kombinasi 3 A (1.2 DL *(Dead Load))* + 1 LL *(Live Load))* 125

4) Kombinasi 3 Ex (1.2 DL *(Dead Load))* + 1.6 LL *(Live Load)* + 0.5 Ax *(Wind Load in x direction))* 126

5) Kombinasi 3 Ey (1.2 DL *(Dead Load))* + 0.5 Ay *(Wind Load in y direction)* 127

6) Kombinasi 4 Ax (1.2 DL *(Dead Load))* + 1 Ax *(Wind Load in x direction)* + 1 *(Live Load)* 128

7) Kombinasi 4 Ay (1.2 DL *(Dead Load))* + 1 Ay *(Wind Load in y direction)* + 1 *(Live Load)* 129

8) Kombinasi 5 X a Max (1.25 DL *(Dead Load))* + 1 Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 0.3 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)* 130

9) Kombinasi 5 X b Max (1.25 DL *(Dead Load))* + (-1) Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 0.3 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)* 131

10) Kombinasi 5 X c Max (-1.25 DL *(Dead Load))* + 1 Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 0.3 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)* 132

11) Kombinasi 5 X d Max (-1.25 DL *(Dead Load))* + (-1) Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 0.3 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)* 133

12) Kombinasi 5 Y a Max (1.25 DL *(Dead Load))* + 0.3 Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 1 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)* 134

13) Kombinasi 5 Y b Max (*1.25 DL (Dead Load)) + (-0.3) Qx (Earthquake Load in x direction) + 1 Qy (Earthquake Load in y direction) + 1 (Live Load*)..... 135

14) Kombinasi 5 Y c Max (-1.25 DL *(Dead Load))* + 0.3 Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 1 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)*..... 136

15) Kombinasi 5 Y d Max (-1.25 DL *(Dead Load))* + (-0.3) Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 1 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)*..... 137

16) Kombinasi 6x (0.9 DL *(Dead Load))* + 1 Ax (*Wind Load in x direction)*..... 138

17) Kombinasi 6y (0.9 DL *(Dead Load))* + 1 Ay (*Wind Load in y direction)*..... 139

18) Kombinasi 7 X a (0.85 DL *(Dead Load))* + 1 Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 0.3 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)*..... 140

19) Kombinasi 7 X b (0.85 DL *(Dead Load))* + (-1) Qx (*Earthquake Load in x direction)* + 0.3 Qy *(Earthquake Load in y direction)* + 1 *(Live Load)*..... 141

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 154

DAFTAR PUSTAKA..... 158

LAMPIRAN 1 *MATERIAL PROPERTIES*..... 161

LAMPIRAN 2 *SECTION PROPERTIES*..... 162

LAMPIRAN 3..... 166

LAMPIRAN 4..... 169

LAMPIRAN 5..... 173

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Bentuk Dasar Persegi..... 6
Gambar 2 Bentuk Dasar Lingkaran..... 7
Gambar 3 Jenis-Jenis Kolom..... 10
Gambar 4 Berbagai Bentuk Profil Dasar Baja Struktur 14
Gambar 5 Penampang Balok Komposit 20
Gambar 6 Penampang Kolom Komposit..... 21
Gambar 7 Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Besar Dasar Dengan Perioda Ulang 500 Tahun 31
Gambar 8 Nilai Spektral Percepatan pada 0.2 Detik (Ss)..... 35
Gambar 9 Nilai Spektral Percepatan pada 1 Detik (D_1) 35
Gambar 10 Spektrum Respons Desain..... 46
Gambar 11 Menara Eifel dan Patung Liberty..... 49
Gambar 12 Ornamentasi Struktur..... 50
Gambar 13 Struktur Sebagai Ornamen..... 51
Gambar 14 Struktur Sebagai Arsitektur 51
Gambar 15 Struktur Sebagai Penghasil Bentuk 52
Gambar 16 Alur Perencanaan Penelitian..... 56
Gambar 17 Bagan Kerangka Berpikir 57
Gambar 18 Pola Radial…….62
Gambar 19 Pola Grid……62
Gambar 20 Varibel bebas..... 63
Gambar 21 Nilai Beban Angin tiap lantai terhadap arah-Y (a)..... 70
Gambar 22 Nilai Beban Angin tiap lantai terhadap arah-Y (b)..... 70
Gambar 23 Arah Pembebanan pada Model 3-Dimensi Modul Radial dan Modul Grid 72
Gambar 24 Potongan bangunan modul grid dan modul radial..... 73
Gambar 25 Dimensi Baja 75
Gambar 26 Nilai spektral percepatan 0.2 detik 87
Gambar 27 Nilai spektral percepatan 1 detik 88
Gambar 28 Grafik Nilai Displacement Model Lingkaran 94
Gambar 29 Grafik Nilai Displacement Model Persegi..... 95

Gambar 30 Nilai antar lantai displacement arah –X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada beban mati 113
Gambar 31 Nilai antar lantai displacement arah –X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada beban tambahan 115
Gambar 32 Nilai perbandingan beban mati dan beban mati tambahan terhadap arah-X dan Y 116
Gambar 33 Nilai antar lantai displacement arah –X dan dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada beban hidup 118
Gambar 34 Nilai antar lantai displacement arah –X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada beban gempa 120
Gambar 35 Nilai antar lantai displacement arah –Y di bangunan persegi dan lingkaran pada beban angin 122
Gambar 36 Nilai displacement antar lantai arah-X dan arah-Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 1 123
Gambar 37 Nilai displacement antar lantai arah-X dan arah-Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 2a 124
Gambar 38 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 3 A 125
Gambar 39 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 3 Ex 126
Gambar 40 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 3 Ey 127
Gambar 41 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 4 Ax 128
Gambar 42 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 4 Ay 129
Gambar 43 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 5 X a Max 130
Gambar 44 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 5 X b Max 131
Gambar 45 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 5 X c Max 132
Gambar 46 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 5 X d Max 133

Gambar 47 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 5 Y a Max 134
Gambar 48 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 5 Y b Max 135
Gambar 49 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 5 Y c Max 136
Gambar 50 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 5 Y d Max 137
Gambar 51 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 6x 138
Gambar 52 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 6y 139
Gambar 53 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 7 X a 140
Gambar 54 Nilai displacement antar lantai arah-X dan Y di bangunan persegi dan lingkaran pada kombinasi pembebanan 7 X b 141
Gambar 55 Nilai perbandingan displacement menurut tiap pembebanan terhadap arah-X 150
Gambar 56 Nilai perbandingan displacement menurut tiap pembebanan terhadap arah-Y 152

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan untuk Analisis Elastis pada Level Beban Terfaktor 9
Tabel 2 Mutu Baja (AISC, 2005) 16
Tabel 3 Mutu Beton (SNI 03-2847-2002) 17
Tabel 4 Beban Mati Gedung (Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983) 22
Tabel 5 Beban Hidup pada Lantai Gedung (Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, 1983) 24
Tabel 6 Kecepatan Angin di Kota Makassar Tahun 2019 26
Tabel 7 Faktor Arah Angin 26
Tabel 8 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi}) (SNI 1727-2013) 28
Tabel 9 Koefisien Tekanan Dinding (C_p) (SNI 1727-2013) 29
Tabel 10 Konstanta Eksposur Daratan (SNI 1727-2013) 29
Tabel 11 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas 30
Tabel 12 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung untuk Beban Gempa 32
Tabel 13 Faktor Keutamaan Gempa 34
Tabel 14 Kelas Situs 35
Tabel 15 Koefisien Situs, F_a (SNI 1726-2012) 37
Tabel 16 Koefisien Situs, F_V (SNI 1726-2012) 38
Tabel 17 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek 39
Tabel 18 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik 39
Tabel 19 Faktor R. C_d, dan Ω untuk Sistem Penahan Gaya Gempa 40
Tabel 20 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang dihitung 42
Tabel 21 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x 43
Tabel 22 Penelitian Terdahulu 53
Tabel 23 Bagan Alur 58
Tabel 24 Variabel Tetap Penelitian Dasar 64
Tabel 25 Variabel Penelitian Inti 67
Tabel 26 Spesifikasi Dimensi Balok dan Kolom 71
Tabel 27 Jenis dan Nilai Pembebanan pada Model 3-Dimensi 72

Tabel 28 Karakteristik material baja dan beton 74
Tabel 29 Mutu Baja dan Beton 74
Tabel 30 Faktor Reduksi Inersia 75
Tabel 31 Spesifikasi Balok 76
Tabel 32 Spesifikasi Kolom 77
Tabel 33 Nilai Beban Hidup untuk Bangunan Uji Lantai 1 - 8 79
Tabel 34 Nilai Beban Hidup untuk Bangunan Uji Lantai 9 80
Tabel 35 Nilai Beban Hidup untuk Bangunan Uji Lantai 10 - 23 80
Tabel 36 Nilai Beban Hidup untuk Bangunan Uji Lantai 24 - 25 81
Tabel 37 Koefisien Eksposur untuk Bangunan Uji 83
Tabel 38 Tekanan Velositas Tiap Lantai Bangunan Uji 84
Tabel 39 Beban Angin Pada Tiap Lantai Bangunan Uji 85
Tabel 40 Kombinasi Pembebanan 90
Tabel 41 Timeline Pelaksanaan Tugas Akhir Riset S1 92
Tabel 42 Displacement Modul Radial 93
Tabel 43 Displacement Modul Grid 94
Tabel 44 Nilai Selisih *Modal Participation Mass Ratio (MPMR)* pada Segiempat dan Lingkaran 96
Tabel 45 Massa Per-Lantai 97
Tabel 46 Gaya Geser Dasar Statik Ekivalen (V) 99
Tabel 47 Gaya Geser Beban Gempa Spektrum (Vi) 100
Tabel 48 Simpangan Arah-X pada Model Lingkaran dan Segiempat 101
Tabel 49 Beban Mati *Displacement* 112
Tabel 50 *Beban Tambahan (dinding)* Displacement 114
Tabel 51 Beban hidup Displacement 117
Tabel 52 Beban gempa *Displacement* 119
Tabel 53 Beban angin displacement 121
Tabel 54 Nilai Rata-rata Kombinasi Pembebanan 142
Tabel 55 Nilai Perbandingan Displacement menurut Pembebanan terhadap Model Struktur 144
Tabel 56 Nilai Perbandingan Displacement menurut Pembebanan terhadap Model Struktur 146

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Peningkatan dalam hal pembangunan di dunia arsitektur saat ini semakin berkembang sehingga menghasilkan banyak karya bangunan yang bersifat terbarukan dalam faktor eksterior maupun interior suatu bangunan. Bangunan dengan pendekatan pada citra visual bangunan teknologi tinggi juga merupakan kemampuan suatu bangsa dalam menghadapi tantangan jaman yang dipengaruhi oleh kemampuan ide berpikir dan penguasaan llmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) oleh arsitek-arsitek yang telah berhasil mengansumsikan idenya pada bangunan yang saat ini telah kita nikmati dari unsur estetikanya.

Kebutuhan akan ruang-ruang semakin beragam termasuk kebutuhan akan gedung pekerja seperti kantor sewa dengan fasilitas yang memadai serta citra bangunan yang tepat sesuai dengan fungsi bangunan tersebut. Dengan kantor sewa, akan banyak para pelaku bisnis yang terwadahi dalam satu bangunan sehingga memudahkan mereka untuk berinteraksi menjalankan kegiatannya terlebih lagi di tengah kesadaran masyarakat akan pentingnya pemanfaatan energi terbarukan. Menurut Pusat Bahasa (2011), kantor didefinisikan sebagai balai (gedung, rumah, ruangan) tempat mengurus pekerjaan atau tempat bekerja, sedangkan sewa didefinisikan memakai sesuatu dengan membayar atau membayar karena memakai atau meminjam sesuatu. Menurut Hunt (dalam Marlina 2008), kantor sewa adalah suatu bangunan yang mewadahi transaksi bisnis dan pelayanan secara profesional.

Secara umum Kelahiran bangunan-bangunan tinggi adalah akibat perkembangan kebutuhan akan ruang-ruang untuk beraktifitas yang terus meningkat sedangkan lahan yang tersedia makin menipis yang menyebabkan pertumbuhan kota secara vertikal. Selain bangunan yang menjulang, bangunan harus kuat menahan beban sendiri, beban rencana dan tahan terhadap gaya gempa. Mengingat Indonesia terletak diantara tiga lempeng tektonik dunia yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik, juga berada di jalur *"The Pacific Ring of Fire"* (cincin api pasifik), yang merupakan jalur gunung api aktif di dunia, dapat disimpulkan Indonesia sangat rawan terhadap gempa bumi bahkan bencana tsunami. Sehingga

perhatian khusus perlu ditekankan pada gaya gempa yang waktu terjadinya tidak dapat diprediksi.

Dengan adanya kejadian gempa di Indonesia yang mengakibatkan kerusakan dan kerugian sangat besar terhadap bangunan, maka diperlukan pengembangan analisis gempa terhadap struktur. Ada dua pendekatan yang digunakan untuk memperhitungkan beban lateral (gempa bumi) yang bekerja pada suatu struktur bangunan, yaitu analisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik (response spectrum atau time history). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keamanan gedung ditinjau dari *displacement*nya. *Displacement* adalah terjadinya gesekan terhadap bangunan akibat adanya dorongan angin sehingga menimbulkan perilaku gerakan ke kanan dan ke kiri pada bangunan.

Beberapa penelitian melakukan analisis terhadap *displacement* bangunan dengan penambahan beberapa elemen struktur seperti, dinding geser, bresing atau dengan mengubah hubungan antara elemen struktur, sehingga penelitian ini dilakukan dengan adanya suatu pengembangan analisis mengenai perilaku bangunan yang memiliki data fisik sama namun bentuk denah modul yang berbeda yang diaplikasikan pada struktur komposit baja pada bangunan tinggi. Analisis yang dilakukan akan dikembangkan dengan membandingkan dari dua bentuk denah modul, yaitu modul grid dan modul radial dengan baja inti jenis baja WF (*Wide Flange).* Untuk menganalisa hal tersebut akan direncanakan bangunan 25 lantai. Bangunan tersebut akan diberi beban berupa beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa dan beban kombinasi menggunakan program *ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems).*

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana perilaku struktur bangunan tinggi dengan penggunaan modul grid dan modul radial?
2. Berapa nilai *displacement* antara denah tipikal yang menggunakan pola grid dan pola radial untuk kasus bangunan tinggi dengan menggunakan program *ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems)*?

C. Tujuan

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan yaitu :

1. Mendeskripsikan perilaku struktur bangunan tinggi dengan penggunaan modul grid dan modul radial.

2. Mendeskripsikan nilai *displacement* antara denah tipikal yang menggunakan pola grid dan pola radial untuk kasus bangunan tinggi dengan menggunakan program *ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems)*.

D. Manfaat

1. Sebagai referensi penelitian selanjutnya dalam mengkaji *displacement* terhadap dua model bangunan berbeda dengan data fisik yang sama.
2. Memberikan nilai kekuatan antar bangunan yang berbeda bentuk dengan mempunyai data fisik yang sama.
3. Bisa memberikan atau membantu penelitian berikutnya.

E. Batasan Masalah

1. Pembebanan pada model struktur penelitian dasar berupa beban tekan 100 kN.
2. Struktur yang dianalisis yaitu terhadap dua model gedung berbeda yang ditinjau berdasarkan *displacement*nya.
3. Bangunan menggunakan struktur komposit baja-beton
4. Objek analisis struktur meliputi kolom, balok, plat dan *corewall*.
5. Bangunan diasumsikan untuk bangunan dengan fungsi kantor sewa.
6. Analisis struktur menggunakan bantuan aplikasi *ETABS*.
7. Tidak menghitung struktur bawah (sub struktur).

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari 5 bab. Secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab I ini akan dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah dan sitematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan literatur yang menjelaskan mengenai teori-teori dasar yang berhubungan dengan penelitian terdahulu, pengertian, jurnal serta penelitian yang berhubungan untuk menjadi acuan dalam melaksanakan penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan menguraikan pelaksanaan yang dilakukan di tahap awal ini meliputi variabel penelitian, analisis data dan pengumpulan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tetang pengolahan data dan pembahasan berupa hasil pengujian tujuan I dan hasil pengujian tujuan II.

BAB V PENUTUP

Dalam bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan bangunan tinggi, karakteristik bangunan tinggi, tinjauan ruang dalam, karakteristik bentuk dasar, komponen struktur, baja, beton, komposit, pembebanan, karakteristik gempa, hubungan bentuk dan strukur dalam arsitektur, program *ETABS*, penelitian terdahulu, serta kerangka fikir dan bagan alur.

A. Bangunan Tinggi

High rise building atau bangunan tinggi merupakan istilah yang sering digunakan merujuk kepada bangunan yang memiliki struktur menjulang tinggi atau bangunan dengan jumlah tingkat yang banyak. Sejatinya penambahan ketinggian sebuah bangunan dilakukan untuk memperluas ruang fungsi dari bangunan tersebut. Beberapa tipologi bangunan tinggi diantaranya adalah bangunan apartemen dan perkantoran. Hal ini karena dengan penambahan jumlah lantai maka akan mengurangi luas bijak bangunan tersebut sehingga lebih sedikit memakan lahan.

Bangunan tinggi akan ideal ditinggali jika ada lift atau elevator dan tentunya didukung oleh struktur bangunan yang kuat dan tahan lama.Tanpa adanya lift otomatis ini maka akan sangat melelahkan bagi penghuni untuk naik ke lantai yang paling tinggi. Beberapa definisi mengenai bangunan tinggi dikutip dari wikipedia adalah sebagai berikut:

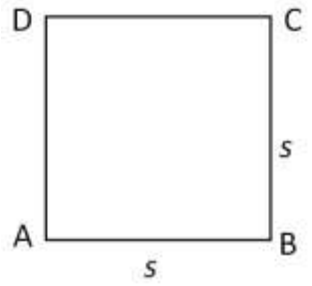
1. International Conference on Fire Safety in High-Rise Buildings mengartikan bangunan tinggi sebagai "struktur apapun dimana tinggi dapat memiliki dampak besar terhadap evakuasi"
2. New Shorter Oxford English Dictionary mengartikan bangunan tinggi sebagai "bangunan yang memiliki banyak tingkat"
3. Massachusetts General Laws mengartikan bangunan tinggi lebih tinggi dari 70 kaki (21 m)
4. Banyak insinyus, inspektur, arsitek bangunan dan profesi sejenisnya mengartikan bangunan tinggi sebagai bangunan yang memiliki tinggi setidaknya 75 kaki (23 m).

B. 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.

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 falimiar, 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 90º (sudut siku-siku)
5. Luas dan keliling persegi mengikuti persamaan berikut:

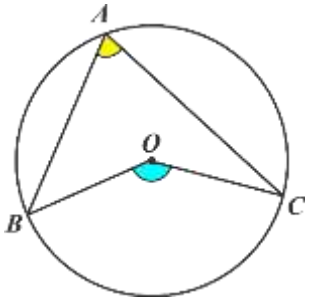
Luas = $s \times s = s^2$

Keliling = $4 \times s$

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 bentuk-bentuk bersudut lainnya di sekitar bentuk lingkaran atau menempatkan suatu unsur menurut arah kelilingnya, dapat menimbulkan perasaan gerak putar yang kuat.

Dalam dunia desain (Gialogie, 2015), lingkaran tidak memiliki awalan dan tidak memiliki akhiran. Lingkaran mewakilkan kekekalan dan dalam setiap budaya biasanya mewakilkan 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 = jari-jari = r
2. AB = diameter = d
3. Garis lurus AC = tali busur
4. Kurva/lengkungan AC = busur
5. Luas dan keliling lingkaran mengikuti persamaan berikut:

   Luas Lingkaran = πr^2

   Keliling Lingkaran = $2\pi r$

C. Komponen-komponen Struktural Bangunan

1. Balok

Balok adalah bagian dari struktur yang berfungsi untuk menopang plat 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 rangkak dan susut (MacGregor, 2005).

Menurut Nawy (2003), ada beberapa jenis keruntuhan yang terjadi pada :

a. 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 f / E. y y s
b. Penampang *Over Reinforced*, keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja E s yang terjadi masih lebih kecil dari regangan lelehnya, 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.
c. 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.

Pendimensian penampang balok berdasarkan SNI 03-2847-2002 memerhatikan syarat-syarat berikut ini:

1) Jika bentangan kolom (L) < 6 m, maka h_{balok} = (1/4 s.d 1/16)L
2) Jika bentangan kolom (L) > 6 m, maka h_{balok} = (1/10 s.d 1/12)L
3) Perbandingan lebar balok (b) terhadap tinggi (h) ≥ 0,3
4) Lebar balok (b) ≥ 250 mm nilai h > b balok

Adapun penentuan luas total kebutuhan tulangan balok dapat digunakan persamaan berikut ini.

$$A_s = \frac{1}{4}\pi D^2 n$$

Keterangan: A_s : luas kebutuhan tulangan (mm^2)

π : 22/7 atau 3,14

d : diameter tulangan (mm)

n: jumlah tulangan

Adapun pemberian nilai momen inersia asumsi penampang tidak sempurna berdasarkan SNI 2847:2019.

Tabel 1 Momen Inersia dan Luas Penampang yang Diizinkan untuk Analisis Elastis pada Level Beban Terfaktor

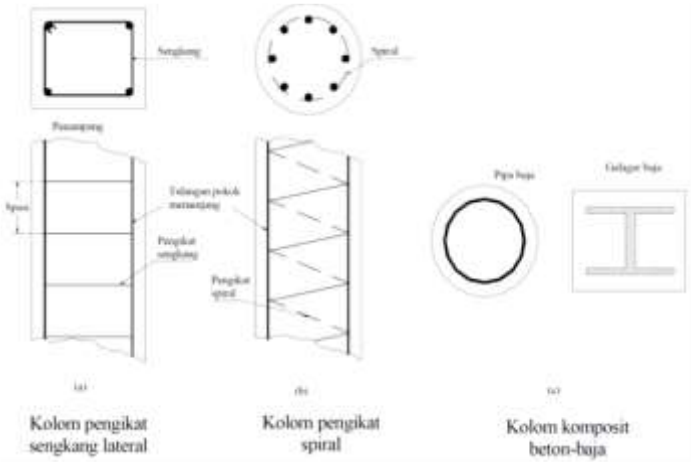
Bagian dan kondisi		**Momen inersia**	**Luas Penampang**
Kolom		0,7 I_g	1,0 A_g
Dinding	Tidak retak	0,7 I_g	
	Retak	0,35 I_g	
Balok		0,35 I_g	
Pelat datar dan *slab* datar		0,25 I_g	

2. Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang fungsi utamanya untuk mendukung beban aksial desak yang lebih besar atau sama dengan 0,1.Ag. fc’ 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 tulangannya, 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.



Gambar 3 Jenis-Jenis Kolom

Sumber : Dipohusodo, 1999

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.

3. Plat

Plat adalah elemen struktur yang memikul beban, baik berupa beban terpusat maupun beban merata yang ada di atasnya untuk selanjutnya disalurkan kepada elemen pendukung seperti balok dan kolom. Plat yang difungsikan sebagai plat lantai dan atap tidak terlalu berbeda, hanya plat atap langsung terpengaruh cuaca. Menurut McCormac dan Nilson (2010),

elemen elemen plat tersebut dapat dirancang sebagai plat satu arah atau plat dua arah.

Menurut Kusuma (2003), yang dipertimbangkan pada perencanaan plat beton bertulang tidak hanya pembebanan tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan pada tepi. Ada beberapa metode untuk mendesain dan mengetahui kebutuhan tulangan plat, yakni metode desain langsung (*Direct Design Method*), metode rangka/portal ekuivalen (*Equivalent Frame Method*), Metode analisis elastik dan analisis plastik/ garis leleh (Imran, 2014).

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, terdapat tahapan dalam menentukan tebal dan luas kebutuhan tulangan plat lantai berikut ini.

a) Menentukan tebal plat lantai dengan persamaan:

$$H_{min} = \frac{l_n(0{,}8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 9\beta}$$

$$H_{max} = \frac{l_n(0{,}8 + \frac{f_y}{1500})}{36}$$

di mana: $\beta = \frac{l_x}{l_y}$

Keterangan:

H_{min}: Tebal minimun plat (mm)

H_{max} : Tebal maksimum plat (mm)

f_y: Tegangan leleh baja tulangan yang digunakan (MPa)

l_x: panjang bentang x (mm)

l_y: panjang bentang y (mm)

b) Menentukan kombinasi beban hidup dan beban mati dengan persamaan $W_u = 1{,}2\ D + 1{,}6\ L$

c) Menentukan luas kebutuhan tulangan plat dengan persamaan:

$$A_s = \frac{1}{4}\pi\ D^2 \frac{b}{H}$$

Keterangan:

A_s : luas kebutuhan tulangan (mm^2)

π : 22/7 atau 3,14

d :diameter tulangan (mm)

b : luas lantai tinjauan (mm)

h : tebal plat (mm)

d) Menghitung tinggi blok regangan

e) Menghitung momen nominal.

4. Dinding Geser

Dinding geser merupakan elemen struktural yang berfungsi sebagai penahan gaya-gaya lateral bangunan, dimana gaya-gaya lateral yang bekerja merupakan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada diafragma dinding geser (Zuhri, 2011).

Menurut Pawirodikromo (2012) Beberapa kelebihan struktur dinding dapat diketahui berdasarkan fungsi yang diperankan. Beberapa keuntungan struktur dinding tersebut sebagai berikut :

a. Struktur dinding pada umumnya mempunyai kekuatan yang cukup besar sehingga dapat menahan beban horizontal yang cukup. Kadang-kadang direncanakan seluruh beban horizontal dibebankan pada struktur dinding.
b. Di samping mempunyai kekuatan yang cukup besar, struktur dinding umumnya sangat kaku dibanding dengan kolom, sehingga struktur ini memberikan kekakuan tambahan terhadap struktur secara keseluruhan. Kekakuan yang cukup diharapkan dapat mengendalikan simpangan yang terjadi.
c. Kekakuan struktur dinding juga mempunyai keuntungan yang lain yaitu kemampuannya dalam melindungi tingkat yang relatif lemah (*soft story*). *Soft story* yang sering dijumpai misalnya adanya tinggi tingkat yang melebihi tinggi tingkat tipikal.
d. Struktur dinding dapat mengeliminasi simpangan antar tingkat khususnya pada tingkat-tingkat bawah sampai tengah. Dengan perkataan lain, pengendalian simpangan pada daerah ini akan dilakukan secara efektif oleh struktur dinding.

Perencanaan dinding geser sebagai elemen struktur penahan beban gempa pada gedung bertingkat dilakukan dengan konsep gaya dalam (yaitu dengan hanya meninjau gaya-gaya dalam yang terjadi

akibat kombinasi beban gempa), kemudian setelah itu direncanakan penulangan dinding geser (Imran et al., 2008).

Berdasarkan bentuk, letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

1. *Bearing walls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.

2. Frame walls adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.

3. Core walls adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak dikawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

D. 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:

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:

   a. Besi (Fe) ± 98 %
   b. Karbon (C) maksimal 1,7 %
   c. Manganese (Mn) maksimal 1,65 %
   d. Silikon (Si) maksimal 0,6 %
   e. Tembaga (Cu) maksimal 0,6 %
   f. Phosfor (P) dan belerang (S)

2. Jenis-Jenis Material Baja

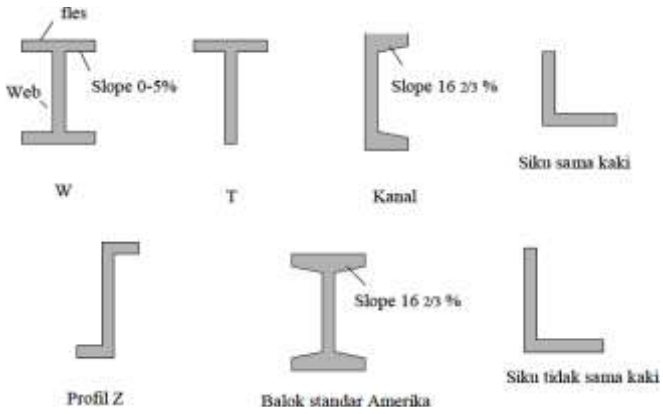
   Baja yang digunakan untuk keperluan struktur dikelompokan menjadi 4 yaitu (ASTM):

   a. Baja Karbon *(Carbon steel).* Umumnya mempunyai tegangan leleh fy berkisar antara 210 – 280 Mpa.

b. Baja paduan rendah mutu tinggi *(High strength low alloy steel/HSLA).* Mempunyai tegangan leleh fy berkisar antara 280 – 490 Mpa.
c. Baja paduan rendah dengan perlakuan panas karbon (*Heat treated carbon and high-strength low alloy steels)*. Mempunyai tegangan leleh 322 – 700 Mpa.
d. Baja struktural paduan rendah dengan perlakuan panas (*Heat-treated constructional alloy steels).* Mempunyai tegangan leleh 630 – 700 Mpa.

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 stuktur 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 4 Berbagai Bentuk Profil Dasar Baja Struktur
Sumber : AISI, 1896

Secara umum profil baja standar dikenal dalam empat golongan yaitu:

a. Profil baja produk Eropa–Barat: Belgia, Luksemburg, Jerman, Perancis, dan Nederland
b. Profil baja produk Eropa–Tengah: Austria, Hongaria, dan Ceko-Slowakia
c. Profil baja produk Inggris.
d. Profil baja produk Amerika: Amerika Serikat dan Kanada

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

a. 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.

b. 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

c. *Equal Angle (Hot Rolled)*

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

d. Unequal Angle (Hot Rolled)

Penggunaan dan istilah lain hampir sama dengan Equal Angle.

e. 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.

f. 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.*

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 Fu (MPa)	Tegangan leleh Tarik Fy (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 Fue dan Fye, berdasarkan FEMA 356, nilai Fu dan Fy 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

E. Beton

1. 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/cm² pada umur beton tersebut 28 hari, dengan mengunakan kubus beton ukuran 15x15x15 cm. mengacu pada PBI 71 yang merujuk pada standart eropa lama.

Beton dengan mutu fc' 25 menyatakan kekuatan tekan minimum adalah 25 Mpa pada umur beton 28 hari. Dengan mengunakan lingkaran 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	18.68
K-250	250	20.75
K-275	275	22.83
K-300	300	24.90
K-350	350	29.05
K-400	400	33.20
K-450	450	37.35
K-500	500	40
K-700	700	58
K-900	900	75

2. 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:

a. Baja tulangan polos

Tegangan leleh minimum pada baja tulangan polos biasanya sebesar 240 MPa. Diameter tulangan polos di pasaran umumnya adalah Ø6, Ø8, Ø10, Ø12, Ø14 danØ16.

b. Baja tulangan deform (ulir= BJTD)

Tegangan leleh minimum pada baja tulangan deform biasanya sebesar 400 MPa. Diameter tulangan deform di pasaran umumnya adalah ØD10, ØD13, ØD16, ØD19, ØD22 ØD25, ØD28, ØD32, ØD36.

F. 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

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 penyelimutan 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 2/3 dari dimensi terkecil penampang kolom komposit. Luas minimum penampang tulangan transversal (atau longitudinal) tidak boleh kurang dari 0,18 mm^2 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

dari pada 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 $b\sqrt{fy}/3E$ untuk setiap sisi selebar b pada penampang persegi dan $D\sqrt{fy}/8E$ untuk penampang bulat yang mempunyai diameter luar D.

G. Elemen Struktur Komposit

Suatu sistem struktur kerangka terdiri dari rakitan elemen struktur. Setiap elemen-elemen struktur mempunyai fungsi dan karakteristik yang berbeda. Nasution (2009) menyatakan bahwa pada suatu sistem struktur, elemen-elemen struktur mempunyai suatu mekanisme penyaluran beban dari atas ke tanah (sistem pondasi).

1. Balok Komposit

   Sebuah balok komposit adalah sebuah balok yang kekuatannya bergantung pada interaksi mekanis diantara dua atau lebih bahan. Beberapa jenis balok komposit antara lain:

   a. Balok komposit penuh

      Berdasarkan SNI 1729-2015, untuk balok komposit penuh, penghubung geser harus disediakan dalam jumlah yang memadai sehingga balok mampu mencapai kuat lentur maksimumnya. Pada penentuan distribusi tegangan elastis, slip antara baja dan beton dianggap tidak terjadi.

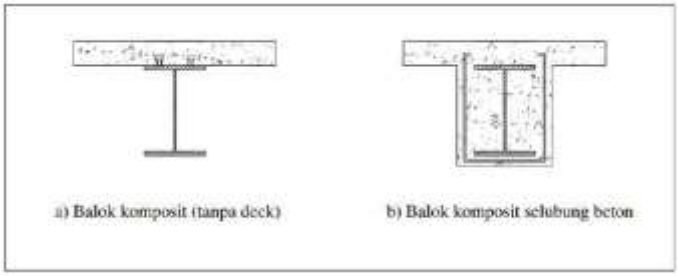
   b. Balok komposit parsial

      Berdasarkan SNI 1729-2015, balok komposit parsial, kekuatan balok dalam memikul lentur dibatasi oleh kekuatan penghubung geser. Perhitungan elastis untuk balok seperti ini, seperti pada penentuan defleksi atau tegangan akibat beban layan, harus mempertimbangkan pengaruh adanya slip antara baja dan beton.

c. Balok baja yang diberi selubung beton

Berdasarkan SNI 1729-2015, walaupun tidak diberi selubung beton disemua permukaannya, namun tetap dianggap bekerja secara komposit dengan beton, selama hal-hal berikut terpenuhi.

- Tebal minimum selubung beton yang menyelimuti baja tidak kurang daripada 50 mm, kecuali yang disebutkan pada butir ke-2 dibawah.
- Posisi tepi atas balok baja tidak boleh kurang daripada 40 mm dibawah sisi atas pelat beton dan 50 mm di atas sisi bawah plat.
- Selubung beton harus diberi kawat jaring atau baja tulangan dengan jumlah yang memadai untuk menghindari terlepasnya bagian selubung tersebut pada saat balok memikul beban.



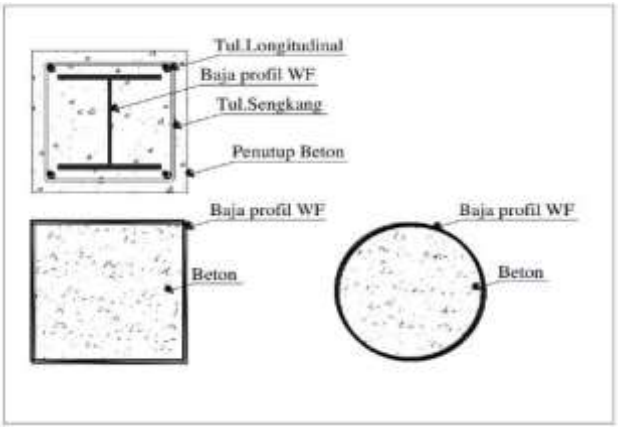
Gambar 5 Penampang Balok Komposit

2. Kolom Komposit

Kolom komposit didefinisikan sebagai "kolom baja yang dibuat dari potongan baja giling (*rolled*) *built-up* dan di cor di dalam beton struktural atau terbuat dari tabung atau pipa baja dan diisi dengan beton struktural. Menurut SNI 1729-2002, ada dua tipe kolom komposit, yaitu:

1) Kolom komposit yang terbuat dari profil baja yang diberi selubung beton di sekelilingnya (kolom baja berselubung beton).

2) Kolom komposit terbuat dari penampang baja berongga (kolom baja berintikan beton).



Gambar 6 Penampang Kolom Komposit

H. Pembebanan

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. Perencanaan pembebanan ini digunakan beberapa acuan standar sebagai berikut :

a. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983;
b. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726-2012);
c. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).

Berdasarkan peraturan-peraturan diatas, struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap bebab-beban berikut:

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	Baja	7850 kg/m^3
2	Batu alam	2600 kg/m^3
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m^3
4	Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m^3
5	Batu pecah	1450 kg/m^3
6	Besi tuang	7250 kg/m^3
7	Beton ([1])	2200 kg/m^3
8	Beton bertulang ([2])	2400 kg/m^3
9	Kayu (Kelas I) ()	1000 kg/m^3
10	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650 kg/m^3
11	Pasangan bata merah	1700 kg/m^3
12	Pasangan batu belah, batu bulat, natu gunung	2200 kg/m^3
13	Pasangan batu cetak	2200 kg/m^3
14	Pasangan batu karang	1450 kg/m^3
15	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m^3
16	Pasir (jenuh air)	1800 kg/m^3
17	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850 kg/m^3
18	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m^3
19	Tanah, lempung dan lanau (basah)	1200 kg/m^3
20	Timah hitam (timbel)	11400 kg/m^3
KOMPONEN GEDUNG		BERAT
	Adukan, per cm tebal:	

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

No.	Material	Berat
1	- Dari semen - Dari kapur, semen merah atau tras	21 kg/m^2 17 kg/m^2
2	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m^2
3	Dinding pasangan bata merah: - Satu bata - Setengah bata	 450 kg/m^2 250 kg/m^2
4	Dinding pasangan batako: Berlubang tebal dinding 20 cm Berlubang tebal dinding 10 cm Tanpa lubang 20 cm Tanpa lubang 10 cm	 200 kg/m^2 120 kg/m^2 300 kg/m^2 200 kg/m^2
5	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari: - Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm - Kaca, dengan tebal 3 - 4 mm	 11 kg/m^2 10 kg/m^2
6	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m^2	40 kg/m^2
7	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7 kg/m^2
8	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m^2 bidang atap	50 kg/m^2
	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m^2 bidang atap	

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

No.	Material	Berat
9		40 kg/m^2
10	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10 kg/m^2
11	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m^2
12	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m^2

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. Berikut merupakan tabel beban hidup yang terdapat pada lantai gedung menurut PPIUG 1983.

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, kecuali (no.2)	200
2	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, took, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250
4	Lantai ruang olah raga	400
5	Lantai ruang danda	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

3. Beban Angin

Berdasarkan SNI 1727-2013 mengenai Beban Minimun 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.

a. Kecepatan Angin Dasar (Vw)

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 Kecepatan Angin di Kota Makassar Tahun 2019

Bulan	**Kecepat Angin**
Januari	2.55
Februari	2.04
Maret	1.97
April	1.50
Mei	1.84
Juni	1.73
Juli	1.87
Agustus	2.00
September	2.00
Oktober	2.06
November	2.03
Desember	1.94

Sumber: *https://dataonline.bmkg.go.id/data_iklim*

b. 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	Fackor Arah Angin (Kd)
Bangunan Gedung - Sistem Penahan Beban Angin Utama -Komponen dan KLading Bangunan Gedung	 0.85 0.85
Atap Lengkung	0.85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama - Segiempat - Segienam - Bundar	 0.90 0.95 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

c. Kategori eksposur

Berdasarkan SNI 1727-2013, eksposur untuk angin dapat dikategorikan sebagai berikut.

1) Eksposur B

Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9.1 m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan B, berlaku di arah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1500 ft (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi rata-rata lebih besar dari 30f t (9.1 m), Eksposur B berlaku bilaman kekasaran permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

2) Eksposur C

Berlaku untuk semua kasus dimana Eksposur B atau D tidak berlaku.

3) Eksposur D

Berlaku bilaman kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5000 ft (1524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

Eksposur D juga berlaku bilamana keasaran permukaan tanah segera lawan angin dari Situs B atau C, dan juga situs yang berbeda dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan, mana yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

d. Efek topografi

Efek peningkatan keepatan pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam yang terisolasi akan menimbulkan peru bahan mendadak dalam topografi umum, terletak dalam setiap kaetgori 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 vertikasl ke atas oleh pengaruh topografi serupa dari ketinggian yang setara untuk 100 kali tinggi fitur topografi (100 H) atau 2 mil (3.22 km), dpilih yang

terkecil. Jarak ini harus diukur horizontal dari titik dimana tinggi H pada bukit, punggung bukit, atau tebing yang ditentukan.

2) Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam yang menonjol diatas ketinggian fitur dataran arah vertikal ke atas antara radius 2-mil (3,22 km) untuk setiap kuadran faktor dua atau lebih.

   Jika kondisi situs dan lokasi gedung dan struktur bangunan lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan seperti telah disebutkan diatas, maka $K_{zt} = 1.0$

e. Faktor efek-tiupan angin

   Faktor efek-tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0.85.

f. Koefisien tekanan internal (C_{pi})

   Koefisien tekanan internal (GCpi), ditentukan dari tabel berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung.

Tabel 8 Koefisien Tekanan Internal (GC_{pi}) (SNI 1727-2013)

Klasifikasi Ketertutupan	**(GCpi)**
Bangunan gedung terbuka	0.00
Bangunan gedung tertuutup 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 dari permukaan internal
2) Nilai (GCpi) harus digunakan dengan qz atau qh seperti yang ditetapkan
3) Dua kasusu harus dipertimbangkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
   i. Nilai positif dari (GCpi) diterapkan untuk seluruh permukaan internal
   ii. Nilai negatif dari (GCpi) diterapkan untuk seluruh permukaan Internal

g. Koefisien tekanan eksternal (Cpf)

Koefisien tekanan internal (C_p), ditentukan dari tabel berikut.

Tabel 9 Koefisien Tekanan Dinding (C_p) (SNI 1727-2013)

Permukaan	L/B	C_p
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.

h. Koefisien Eksposur (K_z)

Berdasarkan pasal 26.9.4 SNI 1727-2013, untuk struktur lainnya konstanta eksposur daratan yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10 Konstanta Eksposur Daratan (SNI 1727-2013)

Eksposur	**α**	**Zg (m)**
B	7.0	365.76
C	9.5	274.32
D	11.5	213.36

Sumber*:* SNI 1727-2013

Berdasarkan pasal 27.3.1, koefisien eksposur tekanan velositas Kz atau Kh sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari tabel dibawah.

Tabel 11 Koefisien Eksposur Tekanan Velositas

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
ft	(m)	B	C	D
0-15	(0-4.6)	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)	0.70	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	(61.0)	1.20	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

Keterangan :

α = eksponen pangkat untuk kecepatan-tiupan angin 3 detik

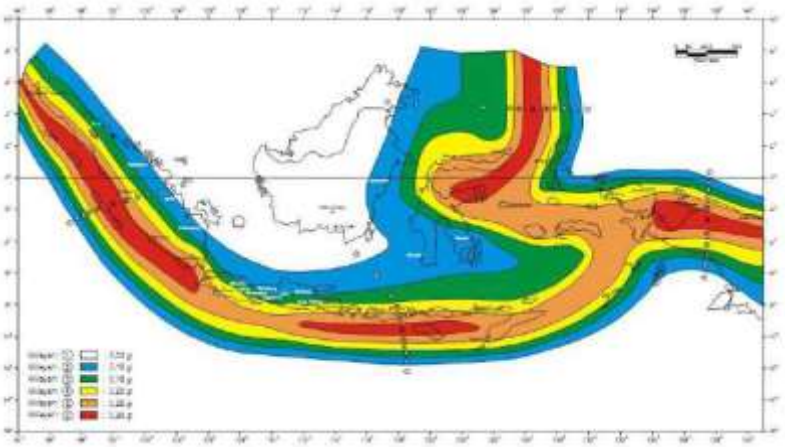
Zg = tinggi nominal lapisan batas atmosfir yang digunakan dalam SNI 1727-2013

4. Beban Gempa

Berdasarkan Pasal 1.0 PPIUG 1983, beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamis, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

a. Wilayah Gempa Indonesia

Sesuai dengan SNI 1726, Indonesia terbagi dalam 6 wilayah gempa. Wilayah gempa 1 dan 2 adalah termasuk wilayah dengan tingkat kegempaan yang rendah, wilayah gempa 3 dan 4 adalah wilayah dengan tingkat kegempaan menengah dan wilayah gempa 5 dan 6 dengan tingkat kegempaan tinggi. Bangunan yang ditinjau termasuk dalam wilayah gempa 3 dengan tingkat kegempaan menengah dan direncanakan dengan daktilitas penuh. Seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 7 Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Besar Dasar Dengan Perioda Ulang 500 Tahun

b. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2012, faktor keutamaan dan kategori resiko pada struktur bangunan gedung dan non-gedung dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 12 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung untuk Beban Gempa

JENIS PEMANFAATAN	KATEGORI RISIKO
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan termasuk, tapi tidak dibatasi untuk antara lain: – Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan peprikanan – Fasilitas sementara – Gudang penyimpanan – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Perumahan – Rumah toko – Pasar – Gedung perkantoran – Gedung apartemen /rumah susun – Pusat perbelanjaan/mall – Bangunan industri – Fasilitas manufaktur – Pabrik	II
Gedung dna non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampk ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Pusat pembangkit listrikk biasa – Fasilitas penanganan air	

Tabel 12 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung untuk Beban Gempa

JENIS PEMANFAATAN	KATEGORI RISIKO
– Fasilitas penanganan limbah – Pusat telekomunikasi 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.	III

Tabel 12 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung untuk Beban Gempa

JENIS PEMANFAATAN	KATEGORI RISIKO
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: – Bangunan-bangunan monumental – Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan – Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas pemaadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat – Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya – Faislitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat – Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat – Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadam kebakaran, 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 riisko IV.	IV

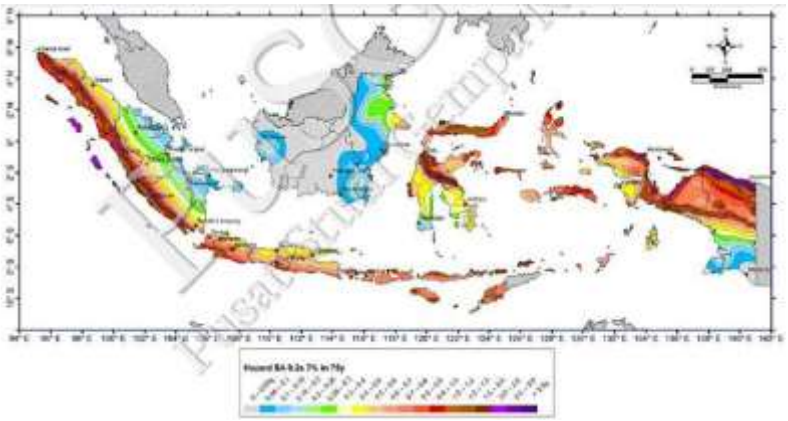
Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 13 Faktor Keutamaan Gempa

KATEGORI RISIKO	FAKTOR KEUTAMAAN GEMPA, I_e
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

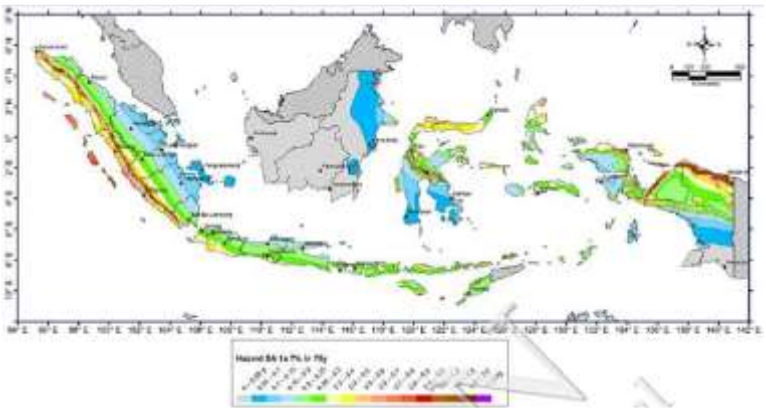
c. Nilai Spektral Percepatan

Nilai spektral percepatan pada 0.2 detik (S_S) dan nilai spektral percepatan pada 1 detik (S_1) di Indonesia dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 8 Nilai Spektral Percepatan pada 0.2 Detik (Ss)

Sumber : Pusat Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017



Gambar 9 Nilai Spektral Percepatan pada 1 Detik (D_1)

Sumber : Pusat Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017

d. Kelas Situs

Berikut merupakan tipe kelas situs berdasarkan SNI 1726-2012.

Tabel 14 Kelas Situs

Kelas Situs	***vs* (m/detik)**	***N* atau *Nch***	***su* (kPa)**
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A

Tabel 14 Kelas Situs

Kelas Situs	v_S **(m/detik)**	N **atau** N_{ch}	s_u **(kPa)**
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang meng*and*ung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, PI > 20, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir s_u <25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik- situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salahsatu atau lebih dari karakteristik berikut. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanahtersementasi lemah Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m) Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan IndeksPlastisitas PI > 75) Lapisan lempung lunak/setenggah teguh dengan ketebalan H > 35 m dengan s_u < 50 kPa		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

e. Koefisien Situs

Dalam penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Parameter spektrum

respons percepatan pada perioda pendek (*SMS*) dan perioda 1 detik (*SM*1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$S_{MS} = F_a \times S_s$

$S_{M1} = f_V \times S_1$

Keterangan:

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

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

F_a = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek;

F_v = faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik, dan koefisien situs F_a dan F_V pada Tabel 17 dan Tabel 18

Tabel 15 Koefisien Situs, F_a (SNI 1726-2012)

Kelas Situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik,** S_S				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
SE	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
SF	SS[b]				

Catatan:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_S dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigas geoteknik spesifik dan analisisrespons situs

Tabel 16 Koefisien Situs, F_V (SNI 1726-2012)

Kelas Situs	**Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik,** S_1				
	$S_S \leq 0.1$	$S_S = 0.2$	$S_S = 0.3$	$S_S = 0.4$	$S_S \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1,.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	SS[b]				

Catatan:

(a) Untuk nilai-nilai antara S_S dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigas geoteknik spesifik dan analisis respons situs

f. Parameter Percepatan Spektral Desain

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

$S_{DS} = 2/3\ S_{MS}$

$= 2/3\ F_a \times S_S$

$S_{D1} = 2/3\ S_{M1}$

$= 2/3\ F_V \times S_1$

g. Kategori Desain Seismik

Dalam SNI 1726-2012 dinyatakan bahwa struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Kategori desain seismik dikategorikan dari parameter respons percepatan pada perioda pendek dan perioda 1 detik.

Tabel 17 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	**Kategori Risiko**	
	I atau II atau 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

Sumber : SN I 1726-2012

Tabel 18 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{D1}	**Kategori Risiko**	
	I atau II atau III	**IV**
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.167 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2012

h. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Dalam pasal 7.2.2. SNI 1726-2012 dinyatakan bahwa sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu orthogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R. C_d, Ω_0, harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel berikut.

Tabel 19 Faktor R. Cd, dan Ω untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	**Koefisien Modifikasi Respons, R**	**Faktor Kuat lebih Sistem, Ω**	**Faktor Pembesaran Defleksi,Cd**
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan			
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2 ½	4
Rangka baja dengan bresing kosentris khusus	7	2 ½	5 ½
Dinding geser beton bertulang khusus	7	2 ½	5 ½
Dinding geser beton bertulang biasa	6	2 ½	5
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing kosentris	8	2 ½	4
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing kosentris khusus	6	2 ½	5
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	**7 ½**	**2 ½**	**6**
Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2 ½	6
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2 ½	5
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5 ½	3	5
Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3 ½

Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2 ½	5
Dinding geser pelat baja khusus	8	2 ½	6 ½

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 lainnyaFaktor 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 bukanagar 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.

5. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726-2012, struktur, komponen, dan pondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi berikut :

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

Keterangan :

D = beban mati *(dead load)*
L = beban hidup *(live load)*
L_r = beban atap *(live roof)*

R = beban hujan *(rain load)*

W = beban angina *(wind load)*

E = beban gempa *(earthquake load)*

6. Analisis Linear Gempa

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

a. Analisis Statik Ekuivalen

Berdasarkan SNI 1726-2012, analisis statik ekuivalen dapat dilakukandengan melakukan perhitungan berikut:

1) Periode fundamental (T)

Berdasarkan pasal 7.8.2.1 SNI 1726-2012, perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$T_a = C_t \ h^x$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur, dalam meter, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 21.

Tabel 20 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien Cu
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 21 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempayang disyaratkan dan tidak dilingkupiatau dihubungkan dengan komponenyang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gayagempa:		
Rangka baja pemikul momen	0.0724 [a]	0.8
Rangka beton pemikul momen	0.0466 [a]	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731 [a]	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731 [a]	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488 [a]	0.75

Sumber :SNI 1726-2012

2) Modal Participation Mass Ratio (MPMR)

Modal Participation Mass Ratio (MPMR) ditentukan untuk mengetahui apakah mode massa yang secara built-in terdapat 12 mode telah memenuhi persyaratan yaitu > 90%. Sehingga apabila dari ke-12 mode tersebut masih belum > 90%, maka perlu untuk menambahkan jumlah moda melalui tahapan *'Define – Modal Cases – Modify/Show Case – Other Parameters – Maximum Number of Modes'.*

3) Geser dasar seismic (V)

Berdasarkan pasal 7.8.1 SNI 1726-2012, gaya geser dasar seismik (V) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$V = C_S \times W$

Keterangan:

V = beban geser dasar statis ekuivalen akibat gempa (kN)

C_S = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif (kN)

4) Koefisien respons seismik

Berdasarkan pasal 7.8.1.1 SNI 1726-2012, koefisien respon seismik dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$C_s = S_{DS} \times Ie / R$

$C_s < (S_{D1} \times Ie) / (T \times R)$

$C_s = 0.444 \times S_{DS} \times Ie > 0.01$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

S_{DS} = parameter respons percepatan pada periode pendek

Ie = 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)

5) Faktor skala

Dalam pasal 7.9.4.1 SNI 1726-2012 dinyatakan bahwa bila periode fundamental yang dihitung melebihi CuTa, maka CuTa harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya harus dikaikan dengan $0.85 \frac{V}{Vt}$

Keterangan:

V = geser dasar prosedur gaya lateral ekivalen (kN)

V_t = geser dasar dari kombinasi ragam (kN)

Faktor skala dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$S_F = \frac{g \; x \; Ie}{R}$

Keterangan:

S_F = Skala Gaya (m/s^2)

G = Percepatan Gravitasi (9.8 m/s^2)

Ie = Faktor Keutamaan (m/s^2)

R = Faktor Modifikasi Respon

b. Analisis Dinamis Respon Spektrum

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 super posisi 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.

Berdasarkan pasal 6.4 pada SNI-1726-2012 mengenai spektrum respon desain, bila spektrum respon desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak danah 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;

$$S_a = S_{DS}\,(0.4+0.6\frac{T}{T0})$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan *T0* dan lebih kecil dari atau sama dengan *Ts*, 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:

$$S_a = \frac{SD1}{T}$$

Keterangan:

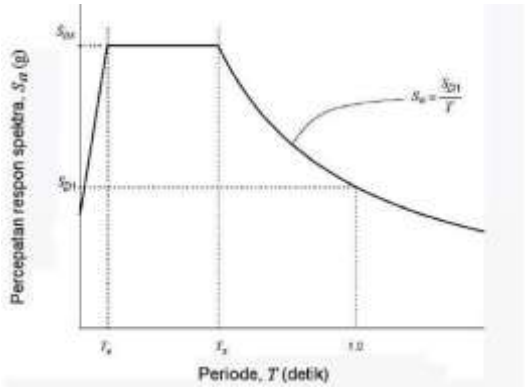
S_{DS} = Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

T = Periode Fundamental Struktur (s)

T_0 = $0.2 \frac{SD1}{SDS}$

T_s = $\frac{SD1}{SDS}$



Gambar 10 Spektrum Respons Desain

Sumber : SNI-1726-2012

Dari hasil respons spektrum pada gambar 11 kemudian diinput ke dalam ETABS. Sesuai dengan pasal 7.9.2 SNI 1726-2012 respons spektrum desain harus direduksi dengan mengalikan $\frac{g.Ie}{R}$ pada scale factor yang telah disediakan pada ETABS. Untuk nilai g adalah percepatan gravitasi dengan nilai 9,81 m/s^2 , Ie adalah kategori risiko II dengan nilai sebesar 1 dan untuk R adalah koefisien modifikasi respons akan dibahas pada point selanjutnya.

1) Simpangan Antar Lantai

Nilai perpindahan elastis antar lantai diperoleh dari hasil selisih nilaiδex lantai tingkat atas dikurangi δex lantai tingkat bawah. BSN (2012) dalam SNI 1726-2012 menjelaskan bahwa nilai perpindahan elastis antar lantai (*story drift*) harus dihitung dengan faktor perbesaran atau amplifikasi defleksi dan faktor keutamaan. Nilai perpindahan

atau simpangan antar lantai tingkat (*story drift*) yang diperbesar, ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\delta x = \frac{Cd.\delta ex}{Ie}$$

dimana:

Cd = faktor pembesaran

δex = defleksi yang ditentukan oleh analisis elastis

Ie = faktor keutamaan

2) Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726-2012, ditentukan oleh persamaan berikut.

$$\Theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

$$\Theta max = \frac{0,5}{\beta C_d}$$

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas x (kN)

Δ = simpangan antar lantai tingkat desain, serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya dasar seismik (kN)

H_{sx} = tinggi tingkat dibawah tingkat x (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser yang ditinjau

3) 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 bagunan 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:

(a) Fitur/ fasilitas yang lebih lengkap (untuk kasus perencanaan struktur gedung),

(b) Lebih ringan dan cepat saat diinstal di Computer daripada SAP 2000,

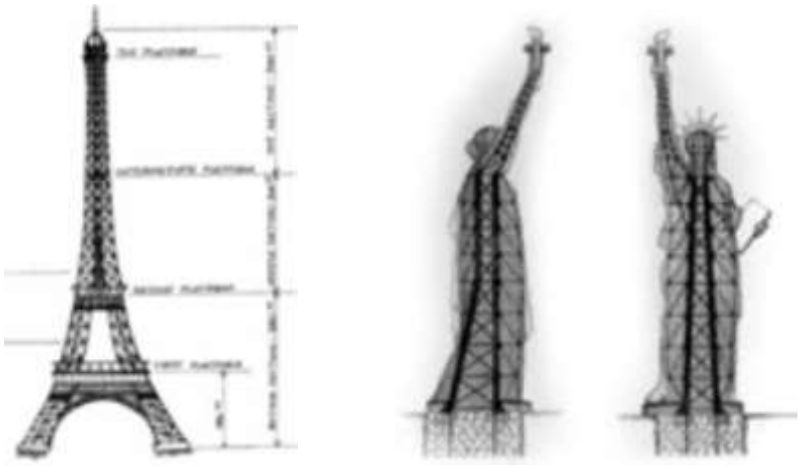
(c) Lebih cepat dalam melakukan running analysis daripada SAP 2000,

(d) Lebih cepat saat melakukan pemodelan struktur,

(e) Tampilan 2D dan 3D yang bisa mencover seluruh elemen.

I. Hubungan Bentuk dan Struktur dalam Arsitektur

Hubungan antara bentuk dan struktur dalam arsitektur dapat berkaitan dalam berbagai cara yang beragam mulai dari dominasi struktur secara penuh pada arsitektur yang ekstrim hingga pengabaian sepenuhnya persyaratan struktural dalam penentuan bentuk bangunan dan pengolahan estetikanya. Menara Eifel sebagai contoh yang jelas dimana dominasi struktur secara penuh pada bentuk dan Patung Liberty sebagai contoh dimana struktur tidak menentukan bentuk dan pengolahan estetikanya.



Gambar 11 Menara Eifel dan Patung Liberty
Sumber **:** Pinterest, 2020

"Bentuk dan gaya arsitektur selalu berhubungan erat dengan cara konstruksi dan bahan bangunan yang laku pada zaman itu. " (Heinz Frick.Sistem Bentuk Struktur Bangunan. Kanisius: 1998. Hlm.13).

a. Ornamentasi Struktur

Kategori ini merupakan salah satu versi dimana bangunan hanya memilki perlindungan struktur yang terlihat dengan beberapa penyesuaian yang minimum untuk alasan visual. Contohnya adalah kuil Parthenon, Athena.

Perlindungan struktur pada bangunan semakin disembunyikan dibalik bentuk ornament yang tidak secara langsung berhubungan dengan fungsi strukturnya. Contohnya adalah Pallazo Valmarana, Vincenza. Pemisahan hubungan antara ornament dengan fungsi struktur yang demikian membuat struktur dan pekerjaan estetika menjadi terpisah. Teknologi strukturnya sebagai persyaratan dan menggunakannya dalam bentuk dasar bangunan. Arsitektur dipengaruhi secara mendasar oleh teknologi struktur yang digunakan. Pertimbangan teknologi tidak diijinkan untuk menghambat daya imajinasi arsitekturnya.

Gambar 12 Ornamentasi Struktur
Parthenon, Athena (kiri) dan Pallazo Valmarana, Vicenza (kanan)
Sumber : Pinterest.com

b. Struktur Sebagai Ornamen

Hubungan antara struktur dan arsitektur dalam kategori ini meliputi manipulasi pada elemen struktur dengan kriteria visual sebagai kriteria utama. Kategori ini mementingkan efek visual. Proses desain lebih dikendalikan oleh pertimbangan visual dibandingkan pertimbangan teknis. Akibatnya kinerja struktur ini jauh dari ideal jika dinilai oleh kriteria teknis.

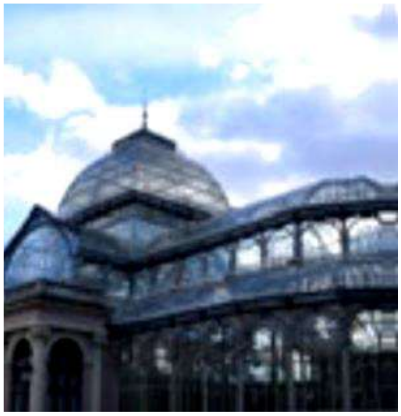
Struktur sebagai ornament dapat dibedakan dalam tiga versi, sebagai berikut:

1) Struktur digunakan secara simbolik. Struktur digunakan sebagai perbendaharaan visual yang dimaksudkan untuk menyampaikan ide tentang kemajuan dan dominasi teknologi di masa depan. Seringkali konteksnya tidak tepat dan struktur yang dihasilkan menjadi kurang baik secara teknis.
2) Struktur sebagai respon terhadap keadaan buatan yang diciptakan. Pada bangunan jenis ini, bentuk struktur yang diekspos dibenarkan secara teknis, tetapi hanya sebagai solusi untuk permasalahan teknis yang tidak perlu yang diciptakan oleh para perencana bangunan.
3) Struktur diekspresikan untuk menghasilkan bangunan yang menarik dengan menggunakan teknologi terkenal, tetapi dimana tujuan visual yang diinginkan tidak cocok dengan logika strukturalnya.

Gambar 13 Struktur Sebagai Ornamen
Kanopi pada kantor pusat Llyods (kiri) dan Renault Headquarters, Swindon UK (kanan)
Sumber : Pinterest.com

c. Struktur Sebagai Arsitektur

Bangunan yang terdiri dari struktur dan hanya struktur. Bangunan dengan bentang yang sangat panjang dan sangat tinggi seringkali masuk dalam kategori ini. Bentuk bangunan ditentukan oleh kriteria teknis murni. Arsitektur selanjutnya merupakan apresiasi dari bentuk struktur murni.



Gambar 14 Struktur Sebagai Arsitektur
Crystal Palace
Sumber : google.com

d. Struktur Sebagai Penghasil Bentuk

Struktur sebagai penghasil bentuk digunakan untuk menggambarkan hubungan antara struktur dan arsitektur dimana persyaratan struktural diijinkan untuk sangat kental mempengaruhi bentuk bangunan walaupun struktur tersebut sebenarnya tidak diekspos. Dalam jenis hubungan ini digunakan susunan elemen yang paling pantas secara struktur dan arsitektur disesuaikan dengannya. Bentuk struktur yang dihasilkan dapat digunakan untuk disumbangkan pada suatu gaya arsitektur atau bentuk bangunan sangat ditentukan

untuk memenuhi persyaratan struktural, kepentingan arsitektural diletakkan di tempat lain.

Gambar 15 Struktur Sebagai Penghasil Bentuk
Villa Savoye (kiri) dan Chrysler Building (kanan)
Sumber : www.ville-poissy.fr

J. Penelitian Terdahulu

Tabel 22 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penelitian	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1.	Aditya Putra (2018)	Analisis dan desain struktur beton bertingkat banyak berdasarkan hasil perbandingan analisis respons spektrum dan dinamik riwayat waktu.	Perbedaan untuk momen dan gaya geser balok akibat beban gempa yang bekerja tidaklah terlalu berbeda jauh namun sama halnya seperti simpangan antar lantai dan displacement yaitu momen dan gaya geser terbesar pada balok yang terbesar adalah beban gempa Bucharest (frekuensi rendah), kemudian beban gempa Kobe (frekuensi tinggi) selanjutnya beban gempa respons spektrum dan yang terkecil adalah	-Mengkaji *displacement* pada bangunan bertingkat banyak. - Menganalisis struktur bangunan terhadap beban gempa analisis respons spektrum dan dinamik riwayat waktu (time history).	- Analisis beban gempa riwayat waktu (time history) dengan jenis kandungan frekuensi gempa.

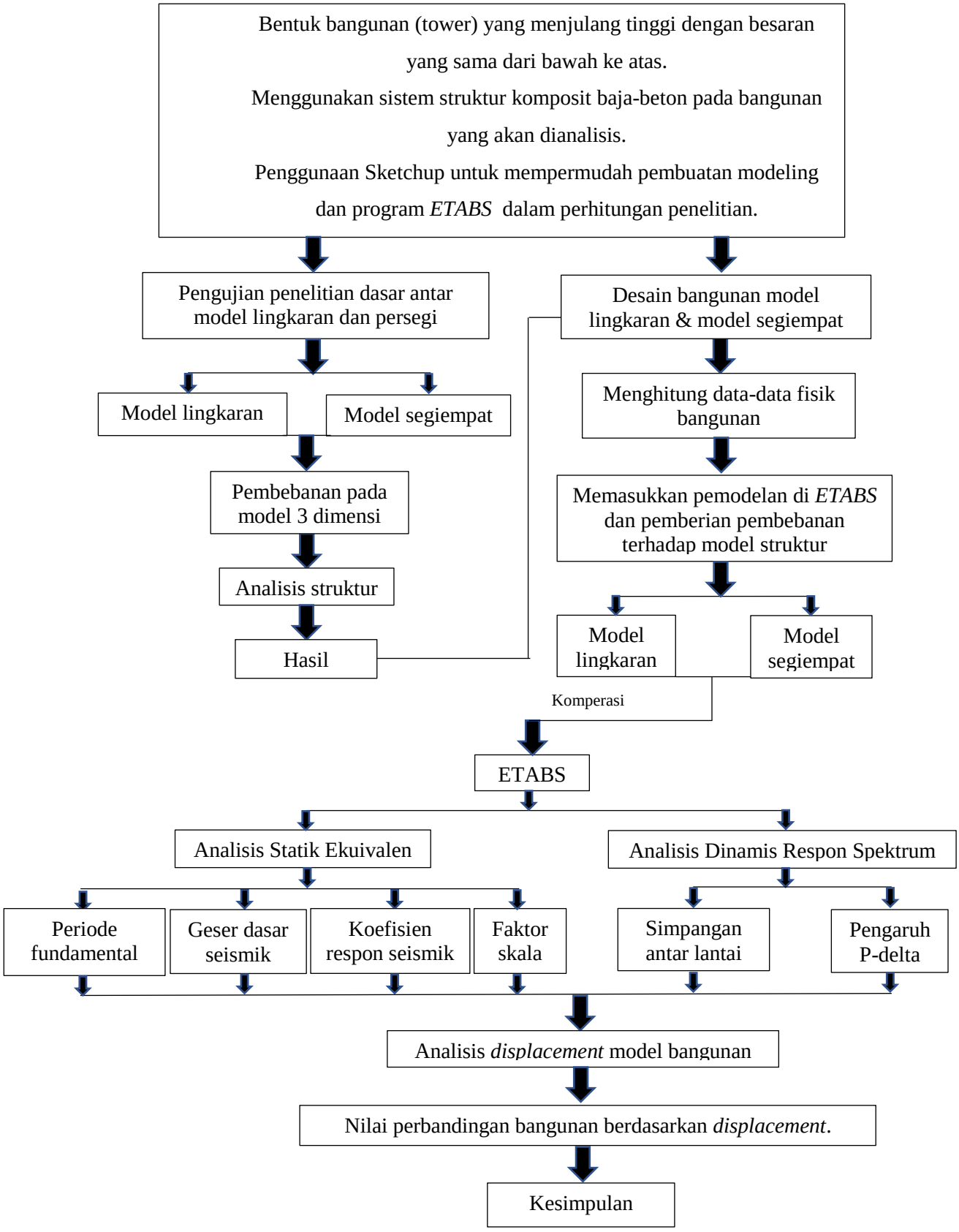
Tabel 22 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penelitian	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
			beban gempa El Centro (frekuensi menengah).		
2.	M. Lukman Farisi (2012)	Perbandingan efisiensi bahan kolom bulat dan persegi Pada struktur gedung empat lantai.	- Disimpulkan bahwa dari perbandingan gaya dalam, kolom bulat mempunyai gaya dalam yang Lebih besar dibandingkan kolom persegi. - Berdasarkan perbandingan kapasitas, kolom bulat mempunyai kapasitas yang Rata-rata sama dan sedikit lebih besar	-Menggunakan kolom unggul dari hasil pengujian untuk digunakan di penelitian. -Membandingkan 2 penampang yang berbeda untuk diuji keunggulan dari 2 model yaitu persegi dan lingkaran.	Pada penelitian ini menguji keunggulan struktur kolom persegi dan kolom lingkaran.

Tabel 22 Penelitian Terdahulu

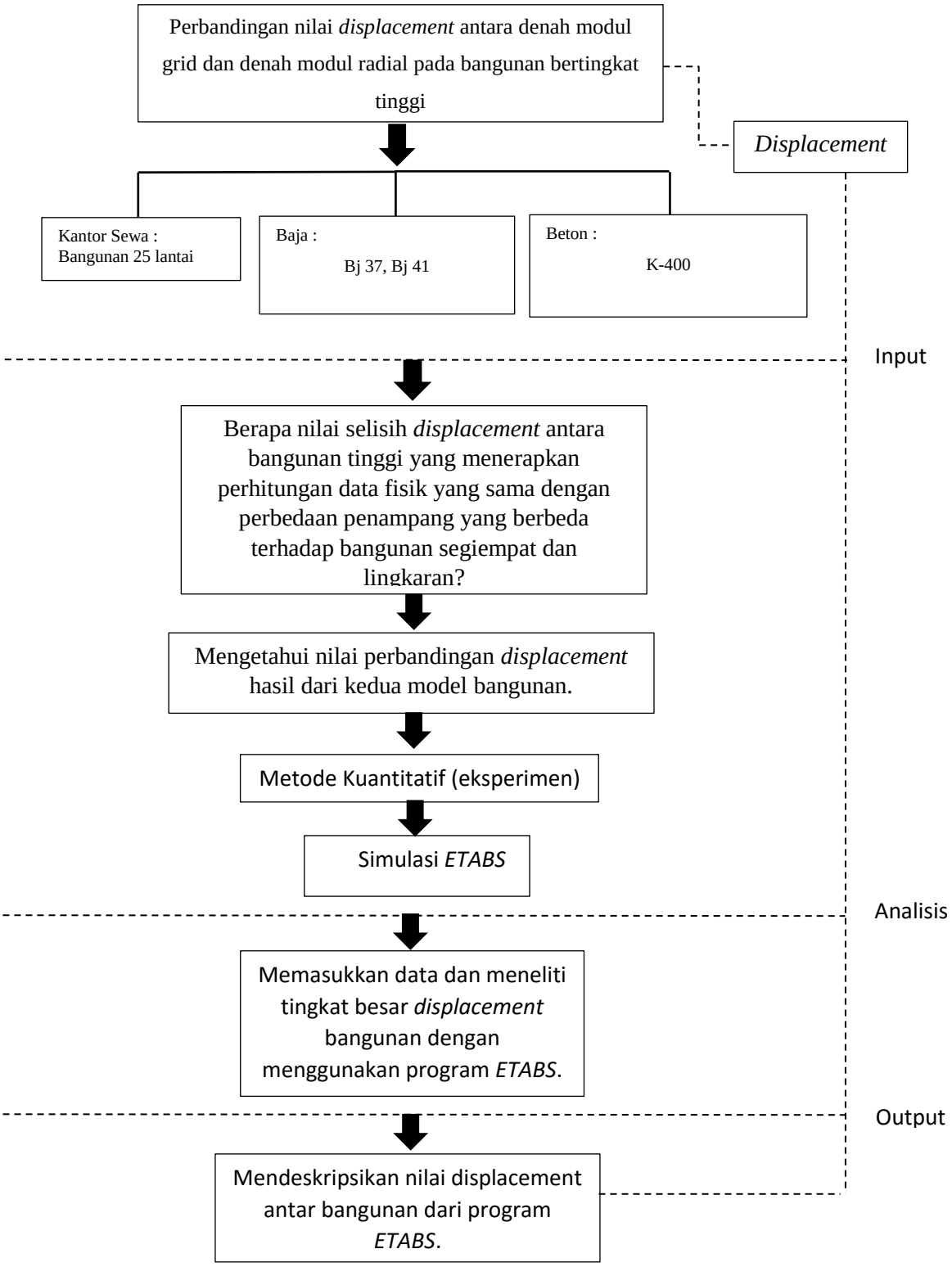
No.	Nama Penelitian	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
			dibandingkan kolom persegi.		
3.	Amira Sunarto (2018)	Perbandingan respons struktur gedung tidak beraturan horisontal akibat gempa dengan analisis statik dan dinamik.	- Dari peninjauan displacement tersebut dapat disimpulkan bahwa analisis statik ekivalen lebih konservatif digunakan pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 16 %, sedangkan analisis time history lebih konservatif digunakan pada struktur tidak beraturan dengan sudut dalam 50%.	- Meninjau *displacement* dari *drift ratio (analisis static ekivalen* dan *dinamic*) - menggunakan system struktur *rigid frame* dan *open frame.*	- meneliti satu bangunan dengan struktur tidak beraturan. - tidak meninjau *displacement* dari *drift ratio (time history).*

K. Alur Perencanaan Penelitian



Gambar 16 Alur Perencanaan Penelitian

L. Kerangka Berpikir dan Bagan Alur



Gambar 17 Bagan Kerangka Berpikir

Tabel 23 Bagan Alur

Latar Belakang	Rumusan Masalah	Tujuan	Tinjauan Pustaka	Variabel	Alat Analisis
1. Adanya peningkatan dalam hal pembangunan yang dipengaruhi oleh ide berpikir dan IPTEK oleh arsitek-arsitek yang telah berhasil mengamsumsikan idenya pada bangunan. 2. Adanya pengembangan system struktur	1.Bagimana keunggulan antara denah dengan bentuk penampang segiempat dan lingkaran jika diberikan beban dorong dan beban struktur yang sama dengan menggunakan program *ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems)*?	1.Mendeskripsikan perilaku struktur bangunan tinggi dengan penggunaan modul grid dan modul radial. 2.Mendeskripsikan nilai *displacement* antara denah tipikal yang menggunakan pola grid dan pola radial untuk kasus bangunan tinggi dengan menggunakan	1. Bangunan tinggi dan karakteristiknya 2. Komponen struktur 3. Komposit Baja dan Beton 4. Pembebanan 5. Karakteristik gempa 4. Hubungan bentuk dan struktur arsitektur 5. Penelitian terdahulu	**Variabel tetap** -Luas lantai -Luas core -Volume kolom -Tinggi lantai -Luasan ruang -Fungsi bangunan	

Tabel 23 Bagan Alur

Latar Belakang	Rumusan Masalah	Tujuan	Tinjauan Pustaka	Variabel	Alat Analisis
sebagai estetika yang digunakan bangunan bertingkat tinggi. 3. Dengan adanya kejadian gempa di Indonesia yang mengakibatkan kerusakan dan kerugian sangat besar terhadap bangunan, maka diperlukan pengembangan	2. Bagaimana nilai selisih *displacement* antara bangunan tinggi yang menerapkan perhitungan data fisik yang sama dengan perbedaan penampang yang berbeda terhadap bangunan segiempat dan lingkaran dengan menggunakan program *ETABS (Extended Three Dimension*	program *ETABS (Extended Three Dimension Analysis of Building Systems).*	6. Alur Penelitian 7. Kerangka pikir dan bagan alur	**Variabel bebas** Denah modul grid (model persegi) Denah modul radial (model lingkaran)	Program aplikasi *ETABS*

Tabel 23 Bagan Alur

Latar Belakang	Rumusan Masalah	Tujuan	Tinjauan Pustaka	Variabel	Alat Analisis
analisis gempa terhadap struktur.	*Analysis of Building Systems)*?				