

**SKRIPSI PENELITIAN**

**ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERLANTAI BANYAK  
DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM DINDING GESER PELAT BAJA**



**OLEH:**

**WA ODE DENTI DAMAYANTI**

**D051171313**

**DEPARTEMEN ARSITEKTUR**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

**HALAMAN JUDUL**

**ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERLANTAI BANYAK  
DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM DINDING GESER PELAT BAJA**

**TUGAS AKHIR  
SKRIPSI PENELITIAN  
PERIODE IV  
2021/2022**

**OLEH:  
WA ODE DENTI DAMAYANTI  
D051171313**



**DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**“Analisis Kinerja Struktur Bangunan Berlantai Banyak Dengan Menggunakan Sistem Dinding Geser Pelat Baja”**

Disusun dan diajukan oleh

Wa Ode Denti Damayanti  
D051171313

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Juni 2022

Menyetujui

Pembimbing I

**Prof. Dr. Ir. Victor Sampebulu', M.Eng**  
NIP. 19520529 198011 1 001

Pembimbing II

**Dr. Ir. Hartawan, MT**  
NIP. 19641231 199103 1 034

Mengetahui

Ketua Program Studi Arsitektur

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



## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : Wa Ode Denti Damayanti

NIM : D051171313

Program studi : Arsitektur

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

### **ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERLANTAI BANYAK DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM DINDING GESER PELAT BAJA**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Juni 2022

Yang Menyatakan,



**Wa Ode Denti Damayanti**

NIM. D051171313

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin*, puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis Kinerja Struktur Bangunan Berlantai Banyak dengan Menggunakan Sistem Dinding Geser Pelat Baja”. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana Strata 1 (S1) di Departemen Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan skripsi ini, penulis mengalami berbagai macam kendala. Namun dengan adanya saran, kritik, dan dukungan dari berbagai pihak, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang tiada henti memberikan dukungan baik moril maupun materil, serta doa kepada penulis
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Victor Sampebulu', M.Eng. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Hartawan, M.T. selaku pembimbing II yang sudah memberikan bimbingan, saran, dan ilmu kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik
3. Bapak Dr.Eng. Nasruddin, S.T., M.T. selaku dosen penguji I dan Ibu Pratiwi Mushar, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan skripsi ini
4. Ketua Departemen Arsitektur FT-UH, Bapak Dr. H. Edward Syarif, S.T., M.T.
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Arsitektur FT UH yang telah memberikan ilmu, serta membimbing dan membantu dalam proses perkuliahan
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Arsitektur FT-UH yang sudah membantu dalam pengurusan administrasi selama perkuliahan
7. Teman-teman Arsitektur 2017 FT-UH dan kakak-kakak senior yang telah memberikan saran, semangat, serta arahan dalam proses penyusunan skripsi
8. Seluruh pihak yang terlibat dalam proses penyelesaian skripsi penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis dengan rendah hati menerima saran dan kritik yang membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pihak terkait pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Gowa, 29 Juni 2022

Penulis

# ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERLANTAI BANYAK DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM DINDING GESER PELAT BAJA

Wa Ode Denti Damayanti<sup>1)</sup>, Victor Sampebulu<sup>2)</sup>, Hartawan<sup>3)</sup>

1) Mahasiswa, Departemen Arsitektur, Universitas Hasanuddin, 2) 3) Dosen, Departemen Arsitektur, Universitas Hasanuddin

E-mail: dentidamayantii@gmail.com

## ABSTRAK

Bangunan berlantai banyak adalah jenis bangunan yang rentan terhadap beban lateral, yaitu beban angin dan beban gempa. Sistem struktur penahan beban lateral yang dapat diterapkan pada bangunan berlantai banyak adalah sistem dinding penumpu. Jenis sistem dinding penumpu yang dapat digunakan adalah dinding geser pelat baja (*Steel Plate Shear Wall / SPSW*). Dinding geser pelat baja (*Steel Plate Shear Wall/SPSW*) merupakan salah satu jenis sistem struktur penahan beban lateral untuk bangunan berlantai banyak. Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan *displacement* yang terjadi pada model dasar SPSW dengan perbedaan posisi dan ketebalan pelat, serta mengungkap perbandingan kinerja struktur bangunan tanpa dan dengan SPSW yang memiliki perbedaan ketebalan dan posisi pada bangunan berlantai banyak. Metode penelitian adalah metode pemodelan dan simulasi dengan bantuan program ETABS *Trial*. Objek penelitian adalah bangunan berlantai banyak dengan struktur komposit baja-beton. Pengujian gempa menggunakan analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa pada uji model bahan tunggal, penambahan SPSW tebal 9 mm yang diposisikan sejajar terhadap arah pembebanan/arah sumbu Y (model Y9) mampu mengurangi *displacement* sebesar 0,5795 mm terhadap model tanpa SPSW (model Z), hal tersebut juga menunjukkan bahwa semakin tebal SPSW yang digunakan semakin meningkat kekuatan struktur. Pada uji bangunan tanpa dan dengan penerapan SPSW, dari hasil nilai maksimum *drift* dan maksimum inelastik *drift* arah X dan arah Y menggunakan metode respon spektrum pada ketujuh model menunjukkan bahwa level kinerja struktur berdasarkan *Applied Technology Council-40* termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO) karena nilai maksimum *drift* Ex dan Ey < IO= 0,01 dan nilai maksimum inelastik *drift* Ex dan Ey < IO= 0,005. Model dengan SPSW lebih efektif dibandingkan model tanpa SPSW dalam mengurangi *displacement*. *Displacement* terkecil terjadi pada bangunan dengan SPSW 9 mm yang dekat dengan *core* bangunan (model B9) dengan nilai rata-rata arah X dan Y berturut-turut yaitu 43,208 mm dan 54,280 mm, sedangkan *displacement* terbesar terjadi pada bangunan tanpa SPSW dengan nilai rata-rata arah X dan Y berturut-turut yaitu 46,928 mm dan 57,538 mm.

**Kata Kunci:** ETABS, Bangunan Berlantai Banyak, Kinerja Struktur, Dinding Geser Pelat Baja, Ketebalan, Posisi, Analisis Respon Spektrum

# **ANALYSIS OF STRUCTURE PERFORMANCE IN MULTI-STORY BUILDINGS USING STEEL PLATE SHEAR WALL SYSTEM**

Wa Ode Denti Damayanti<sup>1)</sup>, Victor Sampebulu<sup>2)</sup>, Hartawan<sup>3)</sup>

1) Student, Department of Architecture, Hasanuddin University, 2) 3) Lecturer,  
Department of Architecture, Hasanuddin University

E-mail: dentidamayantii@gmail.com

## **ABSTRACT**

Multi-story buildings are types of buildings that are susceptible to lateral loads, which are wind loads and earthquake loads. The lateral load-bearing structural system that can be applied to multi-story buildings is the supporting wall system. The type of support wall system that can be used is a steel plate shear wall (SPSW). Steel plate shear wall (SPSW) is one of the lateral load-bearing structural system types for multi-story buildings. This research aims to describe the displacement in the basic model of SPSW with different positions and plate thicknesses, as well as reveal the comparison of structure performance of building without and with SPSW with differences in position and thickness in multi-story buildings. The research method is modeling and simulation using the ETABS Trial program. The tested building is multi-story using a steel-concrete composite structure. Earthquake testing are using equivalent static analysis and spectrum response dynamic analysis. The analysis results reveal that in the single-material model test, the addition of SPSW with 9 mm thickness positioned parallel to the load direction/Y axis (model Y9) can decrease the displacement by 0.2845 mm compared to the model without SPSW (model Z), it also shows that the thicker the SPSW used will increase the strength of the structure. In the building test with the application of SPSW, the results of maximum drift and maximum inelastic drift in the X and Y direction using spectrum response analysis in six models showed that the structural performance level based on Applied Technology Council-40 is in Immediate Occupancy (IO) because of the value of maximum drift  $E_x$  and  $E_y < IO = 0.01$  and maximum inelastic drift  $E_x$  and  $E_y < IO = 0.005$ . The model with SPSW is more effective to reduce displacement than the model without SPSW. The smallest displacement occurs in building with a thickness of 9 mm SPSW placed near the core of the building (model B9) with an average value of X and Y directions is 43.208 mm dan 54.280 mm respectively, while the largest displacement occurs in building without SPSW with average values of X and Y directions is 46.928 mm dan 57.538 mm respectively.

**Keywords:** ETABS, Multi-Storey Building, Steel Plate Shear Wall, Structure Performance, Thickness, Position, Spectrum Response Analysis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
GLOSARIUM.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
A. Bangunan Berlantai Banyak.....	5
B. Sistem Struktur.....	5
1. Sistem Struktur Rangka Kaku ( <i>Rigid Frame</i> ).....	5
2. Sistem Struktur <i>Core</i> .....	8
C. Struktur Komposit Baja-Beton.....	11
1. Material Struktur Komposit .....	11
2. Elemen Struktur Komposit.....	15
D. Dinding Geser Pelat Baja (Steel Plate Shear Wall/SPSW).....	20
1. Komponen Dinding Geser Pelat Baja .....	21
2. Kelebihan dan Kelemahan Dinding Geser Pelat Baja.....	22
3. Pengaplikasian Dinding Geser Pelat Baja pada Bangunan .....	24

4.	Model Dinding Geser Pelat Baja Menggunakan Orthotropic Membrane Model (OMM) .....	28
5.	Desain Dinding Geser Pelat Baja .....	29
E.	Pembebanan dan Kombinasinya .....	33
1.	Beban Mati .....	33
2.	Beban Hidup.....	34
3.	Beban Angin.....	35
4.	Beban Gempa .....	41
5.	Kombinasi Pembebanan .....	49
F.	Analisis Linear Gempa .....	49
1.	Analisis Statik Ekuivalen .....	49
2.	Analisis Dinamik Respon Spektrum .....	52
G.	Kinerja Struktur.....	55
1.	Kinerja Batas Layan .....	55
2.	Kinerja Batas Ultimit .....	56
3.	Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40 ( <i>Applied Technology Council-40</i> ).....	57
H.	Keaslian Penelitian .....	59
I.	Kerangka Pikir .....	68
BAB III METODE PENELITIAN .....		69
A.	Jenis dan Metode Penelitian .....	69
B.	Objek dan Unit Penelitian .....	69
C.	Variabel Penelitian .....	69
D.	Metode Pengujian Tujuan I.....	70
1.	Material dan Dimensi SPSW.....	70
2.	Pembebanan pada Model Struktur SPSW.....	75
3.	Analisis Struktur.....	77
E.	Metode Pengujian Tujuan II.....	77
1.	Material Elemen Struktur .....	84
2.	Dimensi Elemen Struktur .....	85
3.	Pembebanan Bangunan .....	89

4.	Analisis Struktur Bangunan Uji .....	102
F.	Alur Penelitian .....	104
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		105
A.	Hasil Pengujian Tujuan I.....	105
B.	Hasil Pengujian Tujuan II .....	109
1.	Hasil Cek Struktur .....	112
a.	Modal Partisipasi Massa .....	112
b.	Periode Fundamental .....	114
c.	Gaya Geser Dasar .....	115
d.	Simpangan Antar Lantai (Drift).....	118
e.	Pengaruh P-delta.....	124
2.	Hasil Analisis Kinerja Struktur .....	130
a.	Kinerja Batas Layan .....	130
b.	Kinerja Batas Ultimit .....	149
3.	Hasil Analisis <i>Displacement</i> .....	174
a.	<i>Displacement</i> akibat beban gempa .....	174
b.	<i>Displacement</i> berdasarkan jenis pembebanan .....	181
1)	Beban Mati .....	181
2)	Beban Hidup .....	186
3)	Beban Angin .....	192
4)	Beban Kombinasi .....	197
4.	Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40 ( <i>Applied Technology Council-40</i> ) 203	
BAB V PENUTUP .....		205
A.	Kesimpulan.....	205
B.	Saran.....	206
LAMPIRAN.....		210

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Sistem Struktur Rangka .....	6
<b>Gambar 2.</b> Lentur dari Kolom dan Balok .....	7
<b>Gambar 3.</b> Interaksi Rangka Kaku - Dinding Geser.....	8
<b>Gambar 4.</b> Tata Letak Sistem Core .....	9
<b>Gambar 5.</b> Struktur <i>Core</i> .....	10
<b>Gambar 6.</b> Tata Letak <i>Core</i> Sebagai Inti Bangunan.....	11
<b>Gambar 7.</b> Profil Baja IWF .....	12
<b>Gambar 8.</b> Penampang Balok Komposit .....	17
<b>Gambar 9.</b> Penampang Kolom Komposit.....	18
<b>Gambar 10.</b> Penghubung geser/ <i>shear connector</i> .....	19
<b>Gambar 11.</b> Dinding Geser Pelat Baja .....	21
<b>Gambar 12.</b> Elemen Tipikal Pada Dinding Geser Pelat Baja.....	22
<b>Gambar 13.</b> Detail Pada Dasar SPSW, ING Building.....	24
<b>Gambar 14.</b> SPSW di Canam Manac Group, Kanada .....	25
<b>Gambar 15.</b> Tampilan dari Dekat Dinding di Pertengahan Bentangan .....	25
<b>Gambar 16.</b> <i>Layout Plan</i> SPSW pada Bangunan Baja Nippon .....	26
<b>Gambar 17.</b> Bangunan Baja Nippon.....	26
<b>Gambar 18.</b> Denah dan Tampak Bangunan Kobe City Hall .....	27
<b>Gambar 19.</b> Konsep Bangunan dengan SPSW untuk LYS, Jepang .....	27
<b>Gambar 20.</b> Sistem Struktur untuk U.S. Federal Courthouse, Seattle.....	28
<b>Gambar 21.</b> Bangunan Residensial dengan SPSW di San Mateo County, CA... 28	
<b>Gambar 22.</b> SPSW dengan <i>Orthotropic Membrane Model (OMM)</i> .....	29
<b>Gambar 23.</b> Nilai Spektral Percepatan Pada 0,2 Detik (SS).....	42
<b>Gambar 24.</b> Nilai Spektral Percepatan Pada 1 Detik (S1).....	43
<b>Gambar 25.</b> Spektrum Respons Desain .....	54
<b>Gambar 26.</b> Stiffener SPSW menggunakan Baja Kanal U.....	72
<b>Gambar 27.</b> SPSW dengan HBE 4 (6 m), VBE 4 (4 m), dan Tebal Panel 5 mm, 7 mm, & 9 mm .....	73
<b>Gambar 28.</b> Pemodelan Uji Bahan SPSW di ETABS .....	73

<b>Gambar 29.</b> Nilai dan Arah Pembebanan Model Z .....	76
<b>Gambar 30.</b> Nilai dan Arah Pembebanan Model X5, X7, dan X9 .....	76
<b>Gambar 31.</b> Nilai dan Arah Pembebanan Model Y5, Y7, dan Y9 .....	76
<b>Gambar 32.</b> Perspektif Bangunan Uji.....	78
<b>Gambar 33.</b> Detail Pelat Lantai <i>Deck</i> untuk Bangunan pada Pengujian Tujuan II .....	86
<b>Gambar 34.</b> SPSW Lantai 1 – 3 .....	87
<b>Gambar 35.</b> SPSW Lantai 4 – 6 .....	88
<b>Gambar 36.</b> SPSW Lantai 7 – 12 .....	88
<b>Gambar 37.</b> SPSW Lantai 13 – 18 .....	88
<b>Gambar 38.</b> SPSW Lantai 19 – 24 .....	89
<b>Gambar 39.</b> Beban Angin Arah X .....	96
<b>Gambar 40.</b> Beban Angin Arah Y .....	96
<b>Gambar 41.</b> Penerapan Beban Angin Pada ETABS .....	97
<b>Gambar 42.</b> Grafik <i>Displacement</i> Rata-Rata pada Model Uji Tujuan 1 .....	108
<b>Gambar 43.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Model Tanpa SPSW Arah X dan Arah Y .....	132
<b>Gambar 44.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Model A5 Arah X dan Arah Y .....	134
<b>Gambar 45.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Model A7 Arah X dan Arah Y .....	136
<b>Gambar 46.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Model A9 Arah X dan Arah Y .....	139
<b>Gambar 47.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Model B5 Arah X dan Arah Y .....	141
<b>Gambar 48.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Model B7 Arah X dan Arah Y .....	143
<b>Gambar 49.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan Model B9 Arah X dan Arah Y .....	146
<b>Gambar 50.</b> Perbandingan Kinerja Batas Layan Arah X Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 Pengujian Tujuan II .....	147



<b>Gambar 51.</b> Perbandingan Kinerja Batas Layan Arah Y Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 Pengujian Tujuan II .....	148
<b>Gambar 52.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Model Tanpa SPSW Arah X dan Arah Y .....	152
<b>Gambar 53.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Model A5 Arah X dan Arah Y .....	155
<b>Gambar 54.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Model A7 Arah X dan Arah Y .....	158
<b>Gambar 55.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Model A9 Arah X dan Arah Y .....	161
<b>Gambar 56.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Model B5 Arah X dan Arah Y .....	164
<b>Gambar 57.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Model B7 Arah X dan Arah Y .....	167
<b>Gambar 58.</b> Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit Model B9 Arah X dan Arah Y .....	170
<b>Gambar 59.</b> Perbandingan Kinerja Batas Ultimit Arah X Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 Pengujian Tujuan II .....	172
<b>Gambar 60.</b> Perbandingan Kinerja Batas Ultimit Arah Y Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 Pengujian Tujuan II .....	173
<b>Gambar 61.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Arah X pada Ketujuh Model .....	177
<b>Gambar 62.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Arah Y pada Ketujuh Model .....	179
<b>Gambar 63.</b> Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata <i>Displacement</i> Akibat Beban Gempa Ketujuh Model.....	180
<b>Gambar 64.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Akibat Beban Mati Arah X Ketujuh Model .....	183
<b>Gambar 65.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Akibat Beban Mati Arah Y Ketujuh Model .....	185

<b>Gambar 66.</b> Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata <i>Displacement</i> Akibat Beban Mati Ketujuh Model.....	186
<b>Gambar 67.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Akibat Beban Hidup Arah X pada Ketujuh Model.....	188
<b>Gambar 68.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Akibat Beban Hidup Arah Y pada Ketujuh Model.....	190
<b>Gambar 69.</b> Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata <i>Displacement</i> Akibat Beban pada Hidup Ketujuh Model.....	191
<b>Gambar 70.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Akibat Beban Angin Arah X pada Ketujuh Model.....	193
<b>Gambar 71.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Akibat Beban Angin Arah Y pada Ketujuh Model.....	195
<b>Gambar 72.</b> Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata <i>Displacement</i> Akibat Beban Angin Ketujuh Model .....	196
<b>Gambar 73.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Akibat Beban Kombinasi Arah X pada Ketujuh Model.....	199
<b>Gambar 74.</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Akibat Beban Kombinasi Arah Y pada Ketujuh Model.....	201
<b>Gambar 75.</b> Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata <i>Displacement</i> Akibat Beban Kombinasi Ketujuh Model.....	202

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Sifat Mekanis Baja Struktural .....	13
<b>Tabel 2.</b> Mutu Beton.....	14
<b>Tabel 3.</b> Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung.....	33
<b>Tabel 4.</b> Beban Hidup pada Lantai Gedung .....	34
<b>Tabel 5.</b> Kecepatan Angin di Kota Makassar Tahun 2019 .....	35
<b>Tabel 6.</b> Faktor Arah Angin, $K_d$ .....	36
<b>Tabel 7.</b> Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ ).....	38
<b>Tabel 8.</b> Koefisien Tekanan Dinding ( $C_p$ ).....	39
<b>Tabel 9.</b> Konstanta Eksposur Daratan .....	39
<b>Tabel 10.</b> Koefisien Eksposur Tekanan Velositas.....	40
<b>Tabel 11.</b> Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa.....	41
<b>Tabel 12.</b> Faktor Keutamaan Gempa.....	42
<b>Tabel 13.</b> Kelas Situs.....	43
<b>Tabel 14.</b> Koefisien Situs, $F_a$ .....	45
<b>Tabel 15.</b> Koefisien Situs, $F_v$ .....	45
<b>Tabel 16.</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek.....	46
<b>Tabel 17.</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik .....	46
<b>Tabel 18.</b> Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa .....	47
<b>Tabel 19.</b> Koefisien untuk Batas Atas Pada Perioda yang Dihitung.....	50
<b>Tabel 20.</b> Nilai Parameter Perioda Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	50
<b>Tabel 21.</b> Batasan Rasio <i>Drift</i> Menurut ATC-40 .....	58
<b>Tabel 22.</b> Mutu Material.....	70
<b>Tabel 23.</b> Karakteristik Material .....	71
<b>Tabel 24.</b> Dimensi Penampang dan Material Balok.....	71
<b>Tabel 25.</b> Dimensi dan Material Kolom.....	72
<b>Tabel 26.</b> Dimensi dan Material Pengaku SPSW.....	72

<b>Tabel 27.</b> Model Pengujian Tujuan I di <i>Software</i> ETABS.....	74
<b>Tabel 28.</b> Nilai Pembebanan untuk Model Pengujian Tujuan I.....	75
<b>Tabel 29.</b> Model Pengujian Tujuan 2.....	79
<b>Tabel 30.</b> Model Pada Pengujian Tujuan II.....	84
<b>Tabel 31.</b> Mutu Material.....	84
<b>Tabel 32.</b> Karakteristik Material .....	84
<b>Tabel 33.</b> Dimensi Penampang dan Material Balok.....	85
<b>Tabel 34.</b> Dimensi dan Material Kolom.....	85
<b>Tabel 35.</b> Detail Pelat Lantai.....	86
<b>Tabel 36.</b> Dimensi dan Material Pengaku SPSW.....	87
<b>Tabel 37.</b> Nilai Beban Hidup Untuk Bangunan Uji .....	90
<b>Tabel 38.</b> Koefisien Eksposur Untuk Bangunan Uji .....	92
<b>Tabel 39.</b> Tekanan Velositas Tiap Lantai Bangunan Uji .....	94
<b>Tabel 40.</b> Beban Angin Pada Tiap Lantai Bangunan Uji.....	95
<b>Tabel 41.</b> Kombinasi Pembebanan untuk Model Pengujian Tujuan II .....	100
<b>Tabel 42.</b> Model pada Pengujian Tujuan I .....	105
<b>Tabel 43.</b> <i>Displacement</i> Modul pada Model Z, X5 X7 X9, Y5, Y7, dan Y9....	107
<b>Tabel 44.</b> Model Bangunan Pengujian Tujuan II .....	109
<b>Tabel 45.</b> Model Pengujian Tujuan 2 .....	110
<b>Tabel 46.</b> Periode Modal Partisipasi Massa Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9.....	112
<b>Tabel 47.</b> Sum UX Modal Partisipasi Massa Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9.....	113
<b>Tabel 48.</b> Sum UY Modal Partisipasi Massa Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9.....	113
<b>Tabel 49.</b> Periode Fundamental Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 .....	115
<b>Tabel 50.</b> Gaya Geser Statik ( $V_{\text{statik}}$ ) Arah X dan Y Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 .....	116
<b>Tabel 51.</b> Gaya Geser Dinamik ( $V_{\text{dinamik}}$ ) Arah X dan Y Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 .....	117

<b>Tabel 52.</b> Gaya Geser Dinamik ( $V_{dinamik}$ ) Arah X dan Y Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 .....	117
<b>Tabel 53.</b> Hasil Cek Simpangan Antar Lantai Arah X Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 .....	119
<b>Tabel 54.</b> Hasil Cek Simpangan Antar Lantai Arah Y Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9 .....	121
<b>Tabel 55.</b> Hasil Cek Pengaruh P-Delta Arah X Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9.....	125
<b>Tabel 56.</b> Hasil Cek Pengaruh P-Delta Arah Y Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, dan B9.....	127
<b>Tabel 57.</b> Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y Model Tanpa SPSW .....	130
<b>Tabel 58.</b> Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y Model A5.....	133
<b>Tabel 59.</b> Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y Model A7.....	135
<b>Tabel 60.</b> Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y Model A9.....	137
<b>Tabel 61.</b> Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y Model B5.....	140
<b>Tabel 62.</b> Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y Model B7.....	142
<b>Tabel 63.</b> Kontrol Kinerja Batas Layan Arah X dan Arah Y Model B9.....	144
<b>Tabel 64.</b> Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y Model Tanpa SPSW .....	151
<b>Tabel 65.</b> Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y Model A5 .....	154
<b>Tabel 66.</b> Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y Model A7 .....	157
<b>Tabel 67.</b> Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y Model A9 .....	160
<b>Tabel 68.</b> Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y Model B5 .....	163
<b>Tabel 69.</b> Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y Model B7 .....	166
<b>Tabel 70.</b> Kontrol Kinerja Batas Ultimit Arah X dan Arah Y Model B9 .....	169
<b>Tabel 71.</b> <i>Displacement</i> Arah X Akibat Beban Gempa .....	175
<b>Tabel 72.</b> <i>Displacement</i> Arah Y Akibat Beban Gempa .....	177
<b>Tabel 73.</b> <i>Displacement</i> Arah X Akibat Beban Mati .....	181
<b>Tabel 74.</b> <i>Displacement</i> Arah Y Akibat Beban Mati .....	184
<b>Tabel 75.</b> <i>Displacement</i> Arah X Akibat Beban Hidup.....	187



<b>Tabel 76.</b> <i>Displacement</i> Arah Y Akibat Beban Hidup.....	189
<b>Tabel 77.</b> <i>Displacement</i> Arah X Akibat Beban Angin.....	192
<b>Tabel 78.</b> <i>Displacement</i> Arah Y Akibat Beban Angin.....	194
<b>Tabel 79.</b> <i>Displacement</i> Arah X Akibat Beban Kombinasi .....	197
<b>Tabel 80.</b> <i>Displacement</i> Arah Y Akibat Beban Kombinasi .....	199
<b>Tabel 81.</b> Level Kinerja Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, & B9 Berdasarkan ATC-40 .....	203
<b>Tabel 82.</b> Level Kinerja Model Tanpa SPSW, A5, A7, A9, B5, B7, & B9 Berdasarkan ATC-40 .....	203

## **GLOSARIUM**

- Analisis ragam spektrum respons** : suatu cara analisis untuk menentukan respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa melalui suatu metode analisis yang dikenal dengan analisis ragam spektrum respons, di mana respons dinamik total struktur gedung tersebut didapat sebagai superposisi dari respons dinamik maksimum masing-masing ragamnya yang didapat melalui spektrum respons gempa rencana
- Bangunan berlantai banyak** : jenis bangunan vertikal yang memiliki jumlah lantai lebih dari enam lantai
- Faktor keutamaan** : suatu faktor yang memperhitungkan tingkat risiko terhadap keselamatan jiwa, kesehatan, dan kesejahteraan terkait kerusakan properti atau kehilangan fungsi/kegunaan suatu fasilitas
- Fungsi hunian** : tujuan pemakaian bangunan gedung atau struktur lain atau bagian-bagiannya, yang digunakan atau yang direncanakan digunakan
- Diafragma** : sistem atap, lantai, membran, atau bresing yang berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya lateral ke elemen vertikal pemikul beban lateral
- Dinding geser pelat baja** : suatu dinding (penumpu atau nonpenumpu) yang didesain untuk memikul gaya lateral yang bekerja sejajar bidang dinding tersebut yang terbuat dari material baja

- Displacement* : perpindahan struktur yang dihitung dari lantai dasar bangunan
- Efek p-delta : efek sekunder yang bekerja pada elemen struktur, yang diakibatkan oleh penambahan beban vertikal sebagai akibat dari perpindahan horizontal struktur
- Elemen pembatas : bagian dari diafragma dan dinding geser, di mana gaya lateral yang terjadi akan disalurkan pada bagian ini
- Elemen pembatas vertikal : elemen pembatas pada dinding geser pelat baja yang diposisikan secara vertikal, yaitu kolom, yang biasa dikenal dengan *VBE/Vertical Boundary Elements*
- Elemen pembatas horizontal : elemen pembatas pada dinding geser pelat baja yang diposisikan secara horizontal, yaitu balok, yang biasa dikenal dengan *HBE/Horizontal Boundary Elements*
- Gaya geser dasar : gaya geser atau lateral total yang terjadi pada tingkat dasar
- Kategori risiko : pengelompokkan bangunan-bangunan gedung atau struktur-struktur lainnya untuk menentukan besaran beban-beban gempa berdasarkan risiko terjadinya yang tidak dapat diterima
- Kelas situs : klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan
- Kinerja batas layan : kinerja gedung yang ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana gempa rencana,

yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni

Kinerja batas ultimit : kinerja gedung yang ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi)

Simpangan antar lantai (*drift*) : perpindahan horizontal di bagian atas tingkat relatif terhadap tingkat di bawahnya

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Permasalahan keterbatasan lahan terutama di kota-kota besar, membuat manusia berusaha untuk menyiasati lahan yang sempit untuk mendirikan suatu bangunan. Untuk menyiasati hal tersebut, dapat digunakan bangunan yang dikembangkan secara vertikal, yang biasa dikenal dengan bangunan berlantai banyak.

Bangunan berlantai banyak merupakan jenis bangunan vertikal yang biasanya difungsikan untuk penggunaan tunggal seperti apartemen, perkantoran, sekolahan dan rumah sakit, ataupun untuk penggunaan ganda berskala lebih besar. Namun, jenis bangunan ini sangat rentan terhadap beban lateral, yaitu beban gempa dan beban angin. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem struktur yang dapat menahan beban lateral tersebut.

Berdasarkan SNI 1726-2012, salah satu sistem struktur penahan beban gempa yang dapat diterapkan pada bangunan berlantai banyak adalah sistem dinding penumpu. Salah satu jenis sistem dinding penumpu yang dapat digunakan adalah dinding geser pelat baja (*Steel Plate Shear wall / SPSW*).

SPSW digunakan terutama di daerah yang rawan terhadap gempa. Penggunaan struktur baja, salah satunya dinding geser pelat baja ini banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya: 1) pelat baja yang tipis dibandingkan dengan penggunaan dinding geser beton; 2) daktilitas tinggi; 3) struktur baja relatif lebih ringan dibandingkan struktur beton; 4) proses konstruksi yang cepat.



Elemen pembentuk SPSW terdiri dari panel baja pengisi, kolom yang dikenal sebagai elemen pembatas vertikal (*Vertical Boundary Element/VBE*), dan balok sebagai elemen pembatas horizontal (*Horizontal Boundary Element/HBE*). Panel baja penting untuk diperhatikan terutama dari segi ketebalannya, hal ini dikarenakan ketebalan pelat baja dapat berpengaruh terhadap kinerja struktur dari suatu bangunan. Selain itu, posisi SPSW pada bangunan juga penting, karena ketika SPSW diposisikan pada tempat yang tepat, bangunan juga akan memiliki stabilitas yang baik saat terjadi beban lateral. Oleh karena hal tersebut, perlu diteliti beberapa ketebalan pelat dinding SPSW yang berbeda dan posisi SPSW yang berbeda pada bangunan berlantai banyak agar diketahui ketebalan baja dan posisi efektif yang dapat diaplikasikan pada bangunan.

Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai perbandingan kinerja struktur bangunan tanpa SPSW dan dengan SPSW berdasarkan variasi ketebalan dan variasi posisi pada bangunan komposit 24 lantai.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Seberapa besar *displacement* pada model tanpa dinding geser pelat baja (SPSW) dan model menggunakan dinding geser pelat baja (SPSW) dengan perbedaan posisi dan ketebalan?
2. Bagaimana perbandingan kinerja struktur bangunan 24 lantai tanpa sistem dinding geser pelat baja (SPSW) dan dengan dinding geser pelat baja (SPSW) dengan perbedaan ketebalan dan posisi?

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengungkap *displacement* model tanpa dinding geser pelat baja (SPSW) dan model menggunakan dinding geser pelat baja (SPSW) dengan posisi dan tebal yang berbeda.

2. Mengungkap perbandingan kinerja struktur antara bangunan 24 lantai tanpa dinding geser pelat baja (SPSW) dan dengan dinding geser pelat baja (SPSW) dengan perbedaan posisi, dan tebal pelat yaitu 5 mm, 7 mm, serta 9 mm.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi khasanah ilmu arsitektur  
Diharapkan penelitian ini dapat menjadi bahan tambahan informasi tentang kinerja dari sistem dinding geser pelat baja pada bangunan berlantai banyak.
2. Bagi praktisi arsitektur (arsitek)  
Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi pertimbangan praktisi arsitek dalam merancang suatu bangunan yang menggunakan sistem struktur dinding geser pelat baja.
3. Bagi kebijakan pemerintah  
Diharapkan dengan adanya penelitian ini, pemerintah mempunyai gambaran mengenai kinerja struktur dari dinding geser pelat baja dengan variasi tebal dan posisi pada bangunan berlantai banyak.
4. Bagi peneliti selanjutnya  
Penelitian ini diharapkan dapat menjadi tambahan informasi dan bermanfaat sebagai sumber referensi untuk peneliti selanjutnya, terutama yang berminat untuk mengkaji tentang dinding geser pelat baja (SPSW).

#### **E. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bangunan yang ditinjau adalah bangunan 24 lantai dengan fungsi hotel
2. Jenis SPSW yang digunakan adalah *stiffened* SPSW dengan model diagonal ganda menggunakan baja kanal U
3. Struktur bangunan adalah *rigid frame & core*
4. Bangunan menggunakan struktur komposit baja-beton

5. Mutu baja yang digunakan adalah BJ-41 ( $f_y = 250$  Mpa;  $f_u = 410$  MPa) dan mutu beton adalah K400 (33,20 Mpa)
6. Kinerja struktur ditinjau berdasarkan level kinerja struktur ATC-40 (*Applied Technology Council-40*)
7. Hanya menghitung struktur utama
8. Tidak menghitung pondasi
9. Tidak menghitung sambungan
10. Program yang digunakan adalah ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*) Trial versi 18.1.1
11. Menggunakan wilayah gempa Kota Makassar

## **F. Sistematika Penulisan**

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi mengenai teori-teori yang digunakan pada penelitian ini.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang jenis dan metode penelitian, objek dan unit penelitian, serta variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dalam penelitian ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Bangunan Berlantai Banyak**

Bangunan berlantai banyak merupakan jenis bangunan vertikal yang memiliki jumlah lantai lebih dari enam lantai. Beberapa ahli memberikan pendapat tentang definisi dari bangunan berlantai banyak yaitu :

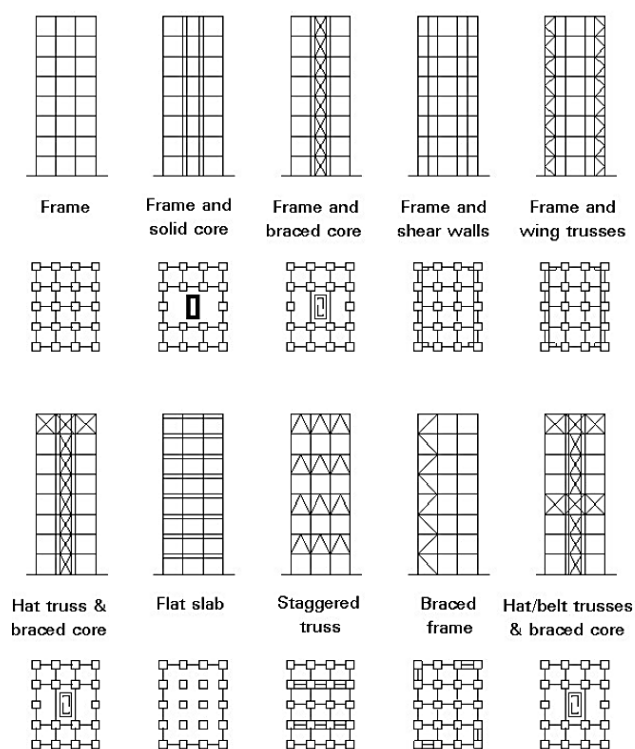
1. *International Conference on Fire Safety in High-Rise Buildings* mengartikan bangunan bertingkat banyak sebagai "struktur apapun dimana tinggi dapat memiliki dampak besar terhadap evakuasi".
2. *New Shorter Oxford English Dictionary* mengartikan bangunan tinggi sebagai "bangunan yang memiliki banyak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

Tinggi rata-rata satu tingkat lantai adalah 13 kaki atau 4 meter. Jika suatu bangunan memiliki tinggi 79 kaki atau 24 meter, maka idealnya memiliki 6 tingkat. Bangunan berlantai banyak biasanya difungsikan sebagai penggunaan tunggal seperti apartemen, perkantoran, sekolahan dan rumah sakit, ataupun untuk penggunaan ganda berskala lebih besar. Bangunan harus mampu menghadapi gaya-gaya vertikal gravitasi dan gaya horizontal yaitu angin di atas tanah serta gaya gempa di bawah tanah. Batang-batangnya harus disusun dan disambung satu sama lain sehingga dapat menyerap gaya-gaya ini dan meneruskannya dengan aman ke tanah dengan usaha sesedikit mungkin.

#### **B. Sistem Struktur**

1. **Sistem Struktur Rangka Kaku (*Rigid Frame*)**

Struktur rangka kaku (*rigid frame*) adalah struktur yang terdiri atas elemen-elemen linear, seperti kolom dan balok yang ujung-ujungnya dihubungkan dengan *joint* (titik hubung) yang bersifat kaku atau *rigid*, bedakan dengan struktur *post-and-beam* yang titik hubungunya bersifat sendi atau rol. Prinsip rangka kaku akan ekonomis sampai 30 lantai untuk rangka baja, dan 20 lantai untuk rangka beton. Beberapa bangunan rangka kaku tipikal diperlihatkan pada **Gambar 1**.



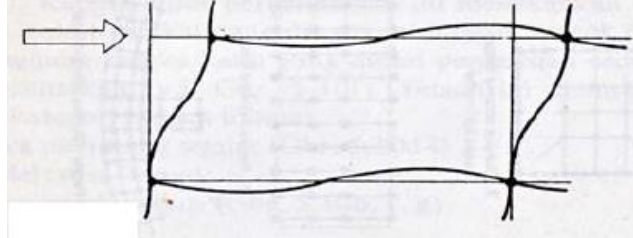
**Gambar 1.** Sistem Struktur Rangka

(Sumber: Buku Sistem Struktur pada Bangunan Bertingkat, Syaifuddin Zuhri)

Efek beban lateral yang bekerja pada struktur rangka kaku gedung bertingkat banyak, di mana semakin tinggi gedung semakin besar momen dan gaya-gaya pada setiap elemen. Apabila gaya yang bekerja sudah sedemikian besar, maka diperlukan kontribusi struktur lain, seperti *bracing*, sistem *core* ataupun dinding geser.

Karena kontinuitasnya, maka rangka kaku bereaksi terhadap beban lateral, terutama melalui lentur dari kolom dan balok seperti **Gambar 2**. Sifat

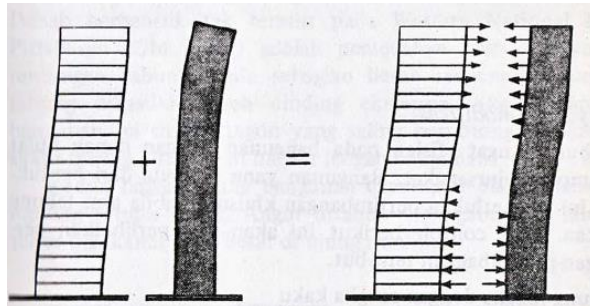
menerus dari rangka bergantung pada tahanan rotasi dari sambungan batang-batang sehingga tidak terjadi peleset.



**Gambar 2.** Lentur dari Kolom dan Balok  
(Sumber: Schueller, 1989)

Sistem rangka kaku murni tidak praktis untuk bangunan yang lebih tinggi dari 30 lantai, berbagai sistem telah dicoba untuk menggunakan dinding geser di dalam rangka untuk menahan beban lateral. Dinding geser terbuat dari beton atau rangka baja, dapat berupa inti interior tertutup, mengelilingi ruang lift atau ruang tangga, atau bisa juga berupa dinding sejajar dalam bangunan. Beberapa denah bangunan tinggi tipikal yang menggunakan inti dan rangka diperlihatkan pada **Gambar 5**.

Interaksi rangka kaku-dinding geser pada saat di atas 500 kaki, penggunaan hanya dinding geser untuk menahan beban lateral menjadi tidak praktis. Agar cukup kuat, inti harus sedemikian besar sehingga tidak sesuai lagi dengan fungsinya sebagai wadah transportasi vertikal dan distributor energi. Lebih jauh lagi, lendutan yang terjadi akan demikian besarnya sehingga menyebabkan keretakan partisi atau jendela, bahkan dapat menimbulkan reaksi psikologis pada penghuni bangunan. Kekakuan lateral sangat diperbaiki dengan menggunakan tidak hanya sistem dinding geser, tetapi juga rangka kaku untuk menahan gaya-gaya lateral. Defleksi total sistem dinding geser dan rangka kaku diperoleh dengan cara membuat *superimpose mode* individual dari deformasi (**Gambar 4**).



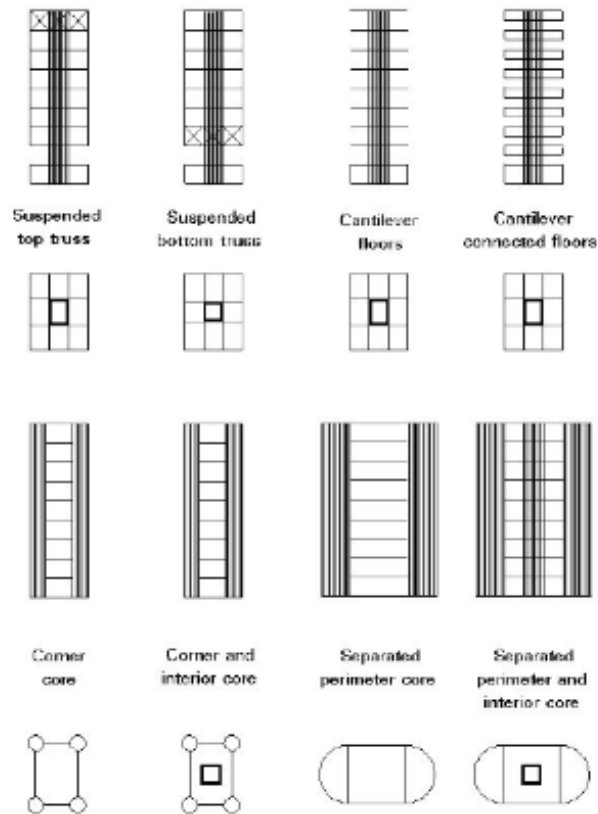
**Gambar 3.** Interaksi Rangka Kaku - Dinding Geser

## 2. Sistem Struktur Core

Masing-masing bentuk *core wall*, mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dalam memberikan fleksibilitas dan efektivitas pada struktur bangunan. Bangunan tinggi yang mempunyai struktur *core wall*, dibuat dengan salah satu pertimbangan adalah fleksibilitas untuk pengaturan posisi (tata letak) yang akan memberikan penghematan dan efisiensi maksimum pada bangunan secara keseluruhan.

Pada sistem *core* (inti) sebagai pengaku bangunan secara keseluruhan, di mana gaya-gaya lateral yang bekerja disalurkan oleh balok-balok menuju ke *core*/inti sebagai elemen struktur utama. *Core* sebagai inti pengaku pendukung utama struktur bangunan, dengan material dari:

- a. *Core* beton (*shear wall* atau *bearing wall*)
- b. *Core* dari struktur baja (*tube*)

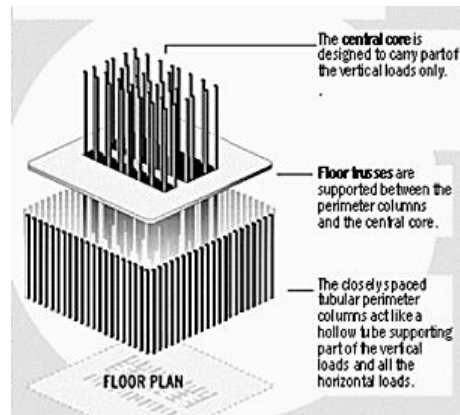


**Gambar 4.** Tata Letak Sistem Core

(Sumber: Buku Sistem Struktur pada Bangunan Bertingkat, Syaifuddin Zuhri)

Sistem struktur *core wall* didesain untuk dapat menahan gaya torsi yang timbul akibat tekanan angin yang eksentrisitas dan seragam pada pusat geser struktur *core wall*. Struktur *core wall* pada dasarnya adalah sistem struktur yang dibuat untuk mampu menahan gaya-gaya lateral yang timbul akibat gaya angin atau gempa yang merupakan beban dinamik. Untuk proses analisis mekaniknya, pengaruh gaya-gaya akibat beban angin dan gempa tersebut (yang merupakan beban dinamik) diperlakukan sebagai beban statis dan mengabaikan sifat dinamikanya.



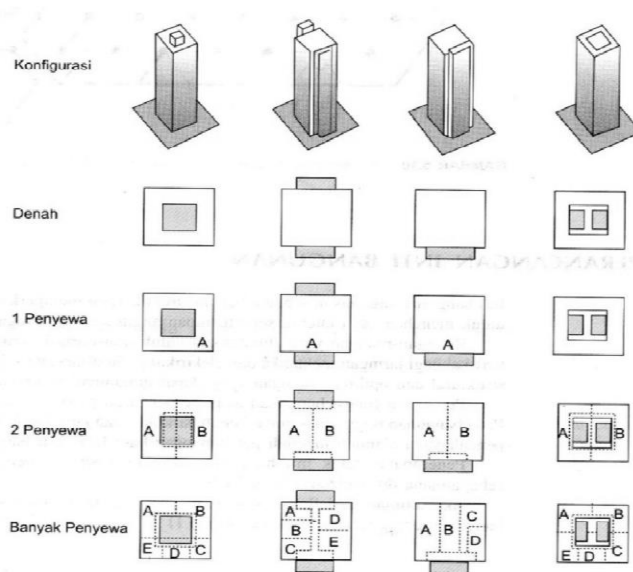


**Gambar 5.** Struktur *Core*

(Sumber: Buku Sistem Struktur pada Bangunan Bertingkat, Syaifuddin Zuhri)

Untuk bangunan apartemen atau hotel, kebutuhan jaringan akan fungsi dan utilitas cenderung tetap. Untuk yang menggunakan sistem struktur inti inti dapat dipergunakan untuk menempatkan sistem transportasi vertikal, tangga, WC, *shaft*, dan jaringan utilitas lainnya sehingga kadang bangunan mempunyai inti yang lebih dari satu. Beberapa bangunan tinggi menggunakan inti dan rangka. Dari segi perilaku denah ini diterapkan untuk memuaskan sistem pelat datar atau dinding rangka geser bersama *belt truss*. Inti dapat terbuat dari beton, baja atau kombinasi antara beton dan baja. Keuntungan inti baja, dalam perakitan lebih cepat karena pabrikasi. Sedangkan inti dari beton menghasilkan ruang yang sekaligus memikul beban. Juga dapat dipakai untuk perlindungan saat kebakaran.

Bentuk denah yang bermacam-macam memungkinkan perletakan sejumlah inti bangunan.



**Gambar 6.** Tata Letak *Core* Sebagai Inti Bangunan  
 (Sumber: Buku Sistem Struktur pada Bangunan Bertingkat, Syaifuddin Zuhri)

### C. Struktur Komposit Baja-Beton

Struktur gabungan atau struktur komposit adalah suatu struktur yang menggunakan pelat beton yang dicor secara monolit dan diletakan diatas balok penyanggah dimana kombinasi dari pelat beton dan balok akan membentuk suatu kesatuan dan akan bekerjasama baik melawan lenturan akibat beban kerja maupun geseran horizontal (Russeno, 1995).

Struktur komposit merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Aksi komposit timbul bila dua struktur pemikul beban seperti konstruksi lantai beton dan balok baja penyangga disambung secara integral dan melendut secara satu kesatuan.

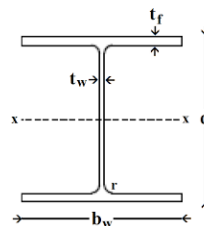
#### 1. Material Struktur Komposit

##### a. Baja

Baja merupakan salah satu material konstruksi yang sering digunakan saat ini. Hal ini dikarenakan baja memiliki beberapa keuntungan, seperti memiliki sifat elastis dan daktilitas yang cukup tinggi sehingga mampu menerima tegangan tarik yang cukup besar.

Surdia (1999) menyatakan bahwa proses pembuatan dan sifat-sifat alamiah dari bahan-bahan mentah yang digunakan dalam baja mengandung bahan lain yang tidak murni dalam jumlah kecil, seperti Fosfor (P), Belerang (S), Mangan (Mn), dan Silikon (Si), bercampur dengan elemen-elemen sisa lainnya.

Berikut adalah contoh salah satu penampang profil baja, yaitu profil baja IWF.



**Gambar 7.** Profil Baja IWF  
(Sumber: Google Image)

Contoh penulisan profil baja IWF 700x300x13x24x28, yang artinya  $d = 700$  mm;  $b_w = 300$  mm;  $t_f = 24$  mm;  $t_w = 13$  mm; dan  $r = 28$  mm.

Berikut akan dijabarkan mengenai kelebihan dan kelemahan, serta sifat mekanis dari baja.

### 1) Kelebihan dan kelemahan baja

Kelebihan baja sebagai material struktur adalah:

- Kekuatan tinggi
- Keseragaman
- Elastisitas
- Permanen
- Daktilitas
- Liat
- Tambahan pada struktur yang telah ada

Kelemahan baja sebagai material struktur adalah:

- Biaya pemeliharaan
- Biaya perlindungan terhadap kebakaran
- Rentan terhadap *buckling*
- Fatik
- Keruntuhan getas

## 2) Sifat mekanis baja

Dalam peraturan struktur baja SNI 03-1729-2002 mengambil beberapa sifat-sifat mekanis dari baja struktural yang ditetapkan sebagai berikut.

Modulus elastisitas (E) = 200000 MPa

Modulus geser (G) = 80000 MPa

Rasio poisson ( $\mu$ ) = 0,30

Koefisien muai Panjang ( $\alpha$ ) =  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada tabel berikut.

**Tabel 1.** Sifat Mekanis Baja Struktural

<b>Jenis Baja</b>	<b>Tegangan putus minimum, <math>f_u</math> (MPa)</b>	<b>Tegangan leleh minimum, <math>f_y</math> (MPa)</b>	<b>Peregangan minimum (%)</b>
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber: SNI 1729-2002)

Berdasarkan FEMA 356, untuk menentukan nilai  $F_{ue}$  dan  $F_{ye}$ , nilai  $F_u$  dan  $F_y$  dikalikan dengan faktor pengali 1,1.

### b. Beton

Asroni (2010) mengemukakan bahwa secara sederhana beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang-kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton. Perbandingan campuran bahan susun disebutkan secara urut, dimulai dari ukuran butir yang paling kecil (lembut) ke butir yang besar, yaitu :semen, pasir, dan kerikil. Jadi, jika campuran beton

menggunakan semen 1 : 2 : 3, berarti campuran adukan betonnya menggunakan semen 1 bagian, pasir 2 bagian, dan kerikil 3 bagian.

Beton normal memiliki berat jenis 2300 – 2400 kg/m<sup>3</sup>, nilai kekuatan, dan daya tahan (*durability*) beton terdiri dari beberapa faktor, diantaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan *finishing*, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya. Beberapa hal itu dapat menghasilkan beton yang memberikan kelecakan (*workability*) dan konsistensi dalam pengerjaan beton, ketahanan terhadap korosi lingkungan khusus (kedap air, korosif, dan lain-lain) dan dapat memenuhi uji kuat tekan yang direncanakan. (Dipohusodo, 1994)

Menurut Mulyono. T (2004), berikut ini kelebihan dan kekurangan dari beton, yaitu:

1. Kelebihan :

- Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
- Mampu memikul beban yang berat
- Tahan terhadap temperatur tinggi
- Biaya pemeliharaan yang kecil

2. Kekurangan :

- Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah
- Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
- Berat
- Daya pantul suara yang besar

Mutu beton berdasarkan SNI 03-2847-2002 yaitu:

**Tabel 2.** Mutu Beton

Mutu Beton	Kuat Tekan	
	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
K-225	225	18,68
K-250	250	20,75

**Tabel 2.** Mutu Beton

<b>Mutu Beton</b>	<b>Kuat Tekan</b>	
	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>MPa</b>
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

## **2. 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).

### **a. Pelat**

Pelat merupakan elemen struktur lantai dimana beban layan bekerja. Pelat adalah elemen struktur yang akan dikenai beban layan pertama kali sebelum terdistribusi ke elemen struktur yang lain. Elemen pelat mempunyai fungsi sebagai penopang langsung beban atau tumpuan beban (Nasution, 2009).

#### **1) Pelat 1 arah**

Struktur pelat yang mempunyai satu sisi yang pendek dan sisi yang lain panjang, masuk kepada kategori pelat satu arah. Sistem pelat ini bila ditumpu pada dua ujungnya disebut pelat sederhana. Apabila pelat ditumpu pada sisi memanjangnya pada lebih dari dua tumpuan, sistem pelat tersebut merupakan pelat menerus.

#### **2) Pelat 2 arah**

Menurut Nasution (2009), pelat dua arah merupakan panel beton bertulang yang perbandingan antara panjang dan lebarnya lebih kecil dari 2. Pada pelat dua arah, tipe-tipe tumpuan pada keempat sisinya menentukan perhitungan momen lentur pada setiap arahnya. Budiadi (2008) menyatakan bahwa tumpuan pada setiap sisi bisa merupakan tumpuan bebas (tidak ditumpu), sendi elastis atau terjepit penuh.

Bila pelat dua arah tanpa balok ditunjukan sebagai bagian dari sistem penahan gaya gempa, defleksi lateral yang dihasilkan dari beban lateral terfaktor diizinkan untuk dihitung menggunakan analisis linear.

#### **b. Balok Komposit**

Balok merupakan elemen vertikal struktur rangka yang berfungsi meneruskan beban-beban seluruh elemen bangunan ke pondasi. Dipohusodo (1994) mendefinisikan balok sebagai elemen struktural yang menerima gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya. Balok berfungsi sebagai pengikat kolom agar apabila terjadi pergerakan kolom-kolom, kolom tersebut tetap dapat mempertahankan bentuk dan posisinya semula. Balok dibuat dari bahan yang sama dengan kolomnya sehingga hubungan balok dengan kolomnya bersifat kaku tidak mudah berubah bentuk. Pola gaya yang tidak seragam dapat mengakibatkan balok mengalami defleksi yang harus ditahan oleh kekuatan internal material.

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

##### 1) 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.

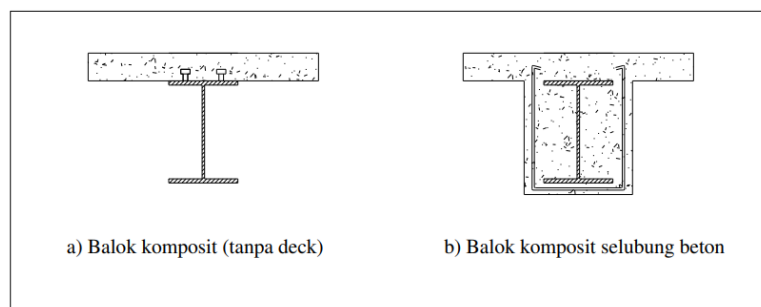
## 2) Balok komposit parsial

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.

## 3) Balok baja yang diberi selubung beton

Berdasarkan SNI 1729-2015, walaupun tidak diberi selubung beton di semua 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 di bawah sisi atas pelat beton dan 50 mm di atas sisi bawah pelat.
- 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 8.** Penampang Balok Komposit

## c. Kolom Komposit

Kolom merupakan komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melampaui 3 yang digunakan terutama untuk

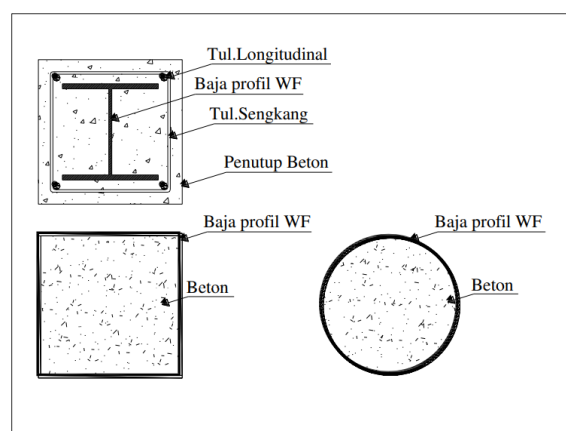


menumpu beban tekan aksial. Untuk komponen struktur dengan perubahan dimensi lateral, dimensi lateral terkecil merupakan rata-rata dimensi atas dan bawah sisi yang lebih kecil.

Dalam pasal 8.10 SNI 2847: 2013 dijelaskan bahwa kolom harus dirancang untuk menahan beban aksial dan beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Dalam menghitung momen beban gravitasi pada kolom, diizinkan untuk mengasumsikan ujung jauh kolom yang dibangun menyatu dengan struktur sebagai terjepit. Tahanan terhadap momen pada setiap tingkat lantai atau atap harus disediakan dengan mendistribusikan momen diantara kolom-kolom langsung di atas dan di bawah lantai ditetapkan dalam proporsi terhadap kekakuan kolom relatif dan kekangan.

Kolom komposit didefinisikan sebagai “kolom baja yang dibuat dari potongan baja giling (*rolled*) *built-up* dan dicor 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)

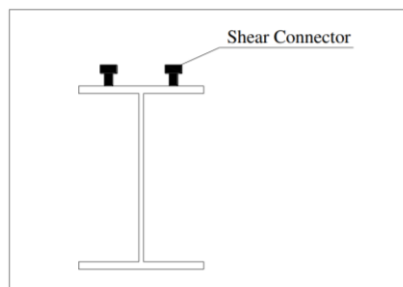


**Gambar 9.** Penampang Kolom Komposit

Kriteria untuk kolom komposit bagi komponen struktur tekan berdasarkan SNI 03-1729-2002 adalah a) mutu beton yang digunakan tidak lebih tinggi daripada 55 MPa dan tidak kurang dari 21 MPa untuk beton normal dan tidak kurang dari 28 MPa untuk beton ringan; dan b) tegangan leleh profil dan tulangan baja yang digunakan untuk perhitungan kekuatan kolom komposit tidak boleh melebihi 380 MPa;

**d. Penghubung Geser**

Gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser, sehingga tidak terjadi slip pada saat masa layan. Besarnya gaya geser horizontal yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.2.



**Gambar 10.** Penghubung geser/shear connector

**e. Pondasi**

Dari beberapa macam tipe pondasi yang dapat dipergunakan salah satu diantaranya adalah pondasi tiang pancang. Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan letak bebannya sangat dalam. Pondasi tiang pancang ini berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban-beban dari konstruksi di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang dalam.

#### **D. Dinding Geser Pelat Baja (Steel Plate Shear Wall/SPSW)**

Menurut Berman dan Bruneau (2003), dinding geser pelat baja (*steel plate shear wall*) adalah sebuah sistem penahan beban lateral yang terdiri dari pelat baja vertikal padat yang menghubungkan balok dan kolom di sekitarnya yang terpasang sepanjang ketinggian struktur sehingga membentuk sebuah dinding penopang.

Fungsi utama dari dinding geser pelat baja adalah untuk menahan gaya geser horizontal dan momen guling akibat beban lateral. Secara umum, dinding geser pelat baja terdiri dari pelat dinding baja, dua batas kolom dan balok lantai horizontal.

Dinding geser pelat baja yang selanjutnya disebut SPSW dikenakan beban inelastis siklik menunjukkan kekakuan, daktilitas yang tinggi, dan mampu mendisipasi energi dalam jumlah besar. Karakter-karakter ini membuat dinding geser pelat baja sangat cocok digunakan untuk menahan beban seismik. Dinding geser pelat baja ini memiliki keuntungan lain dalam hal biaya, daktilitas, kekakuan awal yang tinggi, dan proses pengerjaan yang relatif cepat di lapangan. Akan tetapi, fungsi utama dari dinding geser pelat baja adalah menahan beban lateral dan mengurangi beban gempa yang terjadi pada struktur. Penggunaan *Steel Plate Shear Wall* ini banyak dilakukan di kota-kota besar seperti Amerika, Kanada, Meksiko, Jepang, Taiwan, dan lain-lain.

Seilie dan Hooper (2005) menyatakan bahwa dinding geser pelat baja direncanakan dan dianalisis untuk menentukan kekuatan elemen dalam sistem, menentukan distribusi gaya geser gempa antara pelat geser dan batang vertikal (kolom), dan untuk menghitung perpindahan lateral batang.

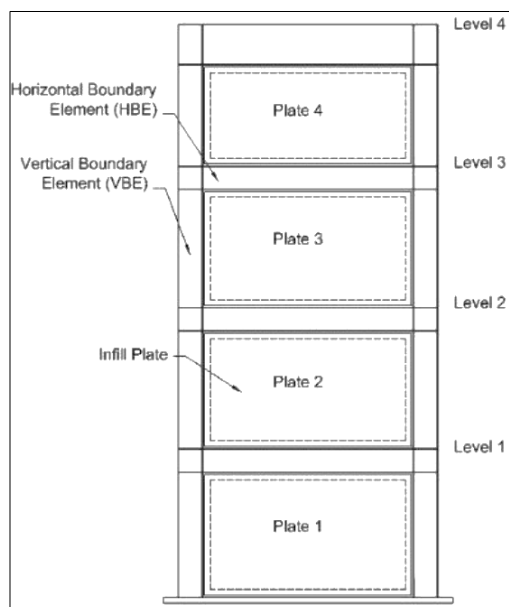
Idealnya dinding geser pelat baja harus didesain sedemikian rupa sehingga seluruh panel baja dapat menyerap seluruh energi melalui deformasi inelastik ketika struktur dibebani oleh gaya gempa rencana. Elemen pembatas horizontal dan vertikal harus tetap elastik seiring peningkatan keseluruhan aksi tarik dari pelat. Hal ini mensyaratkan agar pelat terlebih dahulu mengalami leleh akibat tarik sebelum

terjadi sendi plastis pada elemen pembatas. Desain kapasitas mengisyaratkan untuk memastikan pola keruntuhan daktail yaitu lelehnya pelat terjadi sebelum tekuk pada kolom. (Bruneau dkk, 2005)

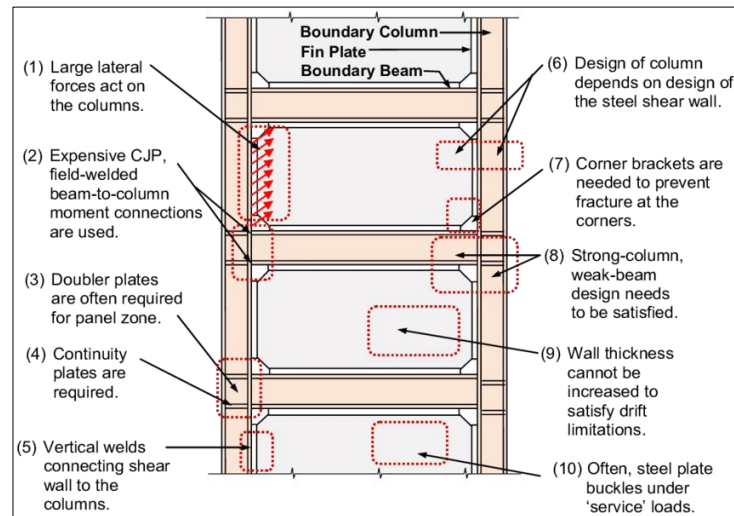
## 1. Komponen Dinding Geser Pelat Baja

Menurut Berman dan Bruneau (2004), dinding geser pelat baja terdiri dari batang vertikal (VBEs) yang disebut dengan kolom, batang horizontal (HBEs) yang disebut dengan balok, dan pelat pengisi tipis yang melengkung pada bidang geser dan membentuk bidang diagonal untuk menahan beban gempa seperti ditunjukkan pada **Gambar 11**.

Astaneh-Asl (2000) mengemukakan fungsi utama dari dinding geser pelat baja adalah untuk menahan gaya geser horizontal dan momen guling akibat beban lateral. Secara umum, dinding geser pelat baja terdiri dari pelat dinding baja, dua batas kolom dan balok lantai horizontal. Secara bersama, pelat dinding baja dan elemen pembatas bekerja seperti *plate girder* vertikal. Kolom bertindak sebagai sayap *plate girder* vertikal, pelat dinding baja sebagai elemen *web*, sedangkan balok sebagai pentransfer kekakuan.



**Gambar 11.** Dinding Geser Pelat Baja  
(Sumber: Berman dan Bruneau, 2004)



**Gambar 12.** Elemen Tipikal Pada Dinding Geser Pelat Baja  
 (Sumber: [https://www.researchgate.net/figure/Areas-of-the-current-steel-plate-shear-wall-system-that-causes-it-to-be-costly-see\\_fig4\\_309519244](https://www.researchgate.net/figure/Areas-of-the-current-steel-plate-shear-wall-system-that-causes-it-to-be-costly-see_fig4_309519244))

## 2. Kelebihan dan Kelemahan Dinding Geser Pelat Baja

Berikut adalah kelebihan dari penggunaan sistem SPSW pada suatu bangunan.

### a. Ketebalan dinding

Menurut Seilie dan Hooper (2005), dinding geser pelat baja lebih tipis dibandingkan ketebalan dinding geser pelat beton. Pada beberapa studi yang dilakukan, penggunaan dinding geser pelat baja dapat menghemat sekitar 2% dari *gross square footage*.

### b. Berat bangunan

Menurut Seilie dan Hooper (2005), dari hasil studi, berat bangunan yang menggunakan dinding geser pelat baja lebih ringan 18% dibandingkan dengan berat bangunan yang menggunakan dinding geser beton *core system*, yang mana hasil ini dapat mengurangi beban yang diterima pondasi akibat adanya beban gravitasi dan beban gempa.

### c. Pekerjaan konstruksi yang cepat

Dari studi yang dilakukan oleh Seilie dan Hooper (2005), penggunaan dinding geser pelat baja mengurangi waktu pengerjaan konstruksi. Tidak hanya cepat pada waktu pemasangan tetapi juga pada waktu perawatan. Hasil studi juga menunjukkan bahwa pengerjaan dinding geser pelat baja

jauh lebih mudah daripada pengerjaan sistem rangka bresing konsentrik khusus.

d. Daktilitas

Pelat baja tipis memiliki kapasitas pasca tekuk yang baik. Dinding geser pelat baja dapat bertahan hingga 4% tanpa mengalami kerusakan signifikan, meskipun sebagian besar kerusakan terjadi pada tepi panel pelat baja. Ada beberapa kerutan dan robekan pada panel karena lentur. Namun, robekan ini tidak mengurangi kapasitas kekakuan pelat.

e. Sistem yang teruji

Menurut Seilie dan Hooper (2005), sistem ini telah diuji sejak tahun 1970 dan telah diatur dalam *National Building Code of Canada* (NBCC) sejak 1994 dan juga telah diatur dalam *American Institute of Steel Construction* (AISC) *Seismic Provisions* pada tahun 2005.

Sedangkan kelemahan dari sistem SPSW ini adalah sebagai berikut.

a. Kekakuan

Menurut Seilie dan Hooper (2005), sistem dinding geser pelat baja pada umumnya lebih lentur dibandingkan dengan dinding geser dari beton. Sehingga, ketika menggunakan dinding geser pelat baja pada gedung bertingkat tinggi perencana perlu menambahkan pengaku.

b. Urutan pekerjaan konstruksi

Menurut Seilie dan Hooper (2005), urutan pekerjaan konstruksi sangat perlu diperhatikan dalam pemasangan dinding geser pelat baja untuk menghindari tekanan awal berlebihan pada dinding pelat baja. Pada kasus di sebuah gedung, pengelasan pelat sambung pada dinding geser ditunda sampai sebagian besar deformasi akibat beban mati dalam rangka. hal ini dimaksudkan untuk meringankan tekanan awal pada dinding geser pelat baja.

c. Sistem baru

Menurut Seilie dan Hooper (2005), karena ketidakpahaman terhadap dinding geser pelat baja, kontraktor akan mengestimasi biaya yang tinggi

dalam pemasangan dinding geser pelat baja. Hal ini dapat diatasi dengan melibatkan kontraktor dalam perencanaan dinding geser pelat baja.

### 3. Pengaplikasian Dinding Geser Pelat Baja pada Bangunan

SPSW telah banyak digunakan pada bangunan di negara-negara maju, termasuk di Amerika Serikat, Kanada, Meksiko, dan Jepang. Jenis bangunannya pun beragam, mulai dari konstruksi bangunan sederhana hingga konstruksi bangunan tingkat tinggi. SPSW dapat digunakan dimanapun fungsi bangunan memungkinkan dinding dengan panjang sedang. Bangunan menengah maupun bangunan tinggi, dengan denah lantai tipikal/berulang dan *core* bangunan yang menerus, sangat cocok untuk diaplikasikan SPSW.

Berikut adalah beberapa contoh pengaplikasian SPSW pada bangunan.



**Gambar 13.** Detail Pada Dasar SPSW, ING Building  
(Sumber: Louis Crepeau dan Jean-Benoit Ducharme, Groupe Teknika, Montreal, Kanada)

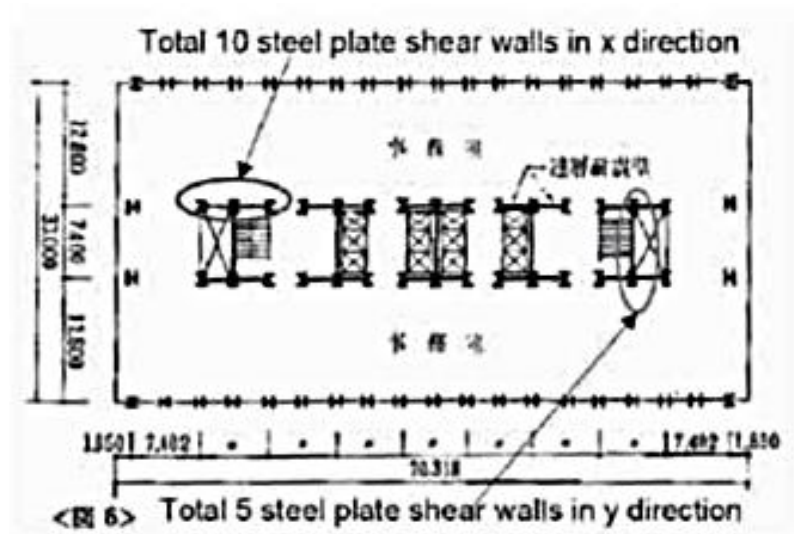


**Gambar 14.** SPSW di Canam Manac Group, Kanada  
(*Sumber:* Richard Vincent, Canam Manac Group, Jl. George, Kanada)



**Gambar 15.** Tampilan dari Dekat Dinding di Pertengahan Bentangan  
(*Sumber:* Louis Crepeau dan Jean-Benoit Ducharme, Groupe Teknika, Montreal, Kanada)

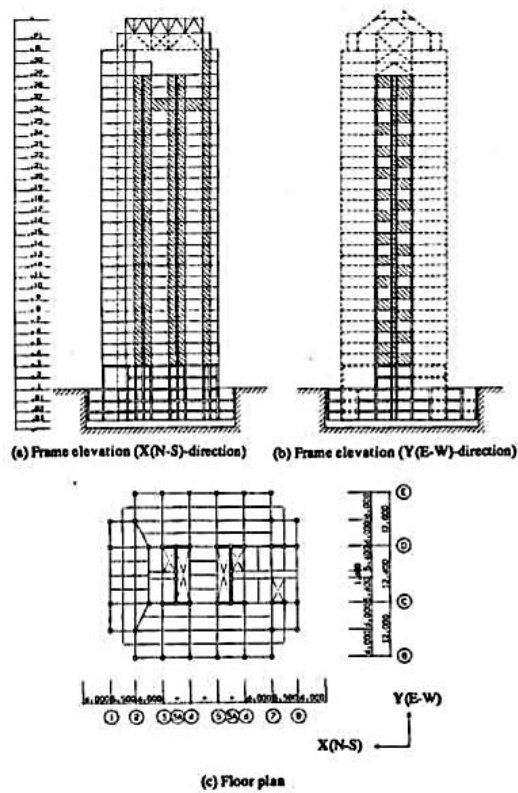




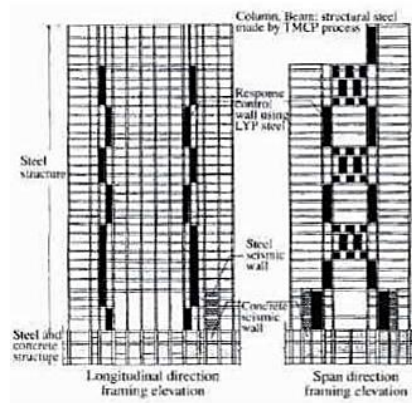
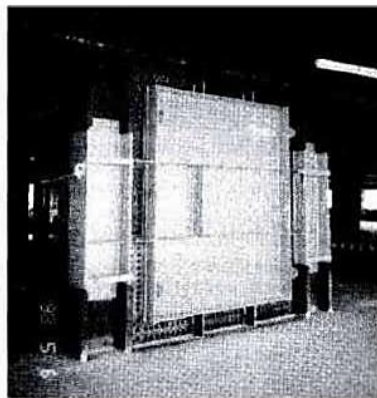
**Gambar 16.** *Layout Plan SPSW pada Bangunan Baja Nippon*  
(*Sumber: Yokoyama dkk., 1978*)



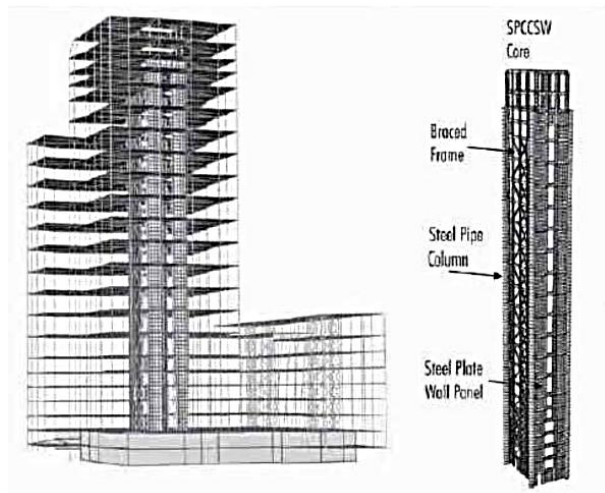
**Gambar 17.** *Bangunan Baja Nippon*  
(*Sumber: Yokoyama dkk., 1978*)



**Gambar 18.** Denah dan Tampak Bangunan Kobe City Hall  
(Sumber: Fujitana dkk., 1996)



**Gambar 19.** Konsep Bangunan dengan SPSW untuk LYS, Jepang  
(Sumber: Yamaguchi dkk., 1998)



**Gambar 20.** Sistem Struktur untuk U.S. Federal Courthouse, Seattle  
(Sumber: John Hooper, Magnusson Klemencic Associates, Seattle, WA)



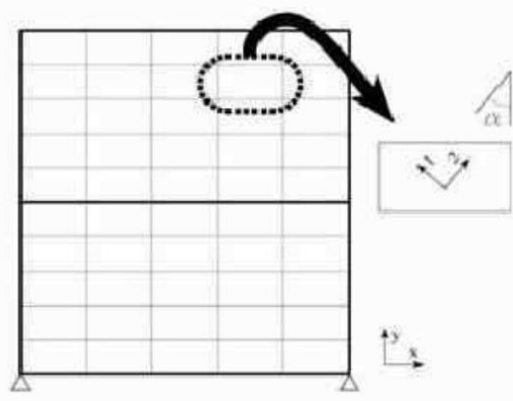
**Gambar 21.** Bangunan Residensial dengan SPSW di San Mateo County, CA  
(Sumber: M. Eatherton, GFDS Engineers, San Francisco)

#### 4. Model Dinding Geser Pelat Baja Menggunakan Orthotropic Membrane Model (OMM)

Dalam analisis dinding geser pelat baja, pemodelan perlu dilakukan untuk mendapatkan gaya-gaya pada elemen struktur yang digunakan untuk dasar perancangan. Untuk menentukan profil tampang elemen, maka gaya aksial dan lentur pada kolom serta tegangan pada *web plate* perlu diketahui. Selain itu, tujuan kedua adalah untuk mengestimasi lateral *displacement* yang terjadi pada rangka, karena simpangan/*drift* yang berlebihan akan menghasilkan perilaku struktur yang tidak dapat diandalkan, sehingga kekakuan rangka sering menjadi nilai yang menentukan desain.

Model elemen membran pada dasarnya adalah model strip tegangan, dan tegangan murni dihitung pada pelat dinding SPSW. Penyambungan membran harus cukup untuk menangkap gaya lentur pada elemen pembatas. Astaneh-asl (2001) merekomendasikan setidaknya ada empat pias pada setiap arah yaitu vertikal dan horizontal (membuat 16 elemen/pias per panel dinding SPSW). **Gambar 22.** menunjukkan OMM SPSW di mana setiap panel telah dibagi menjadi lima pias yang sama di setiap arah dan sumbu lokal elemen telah diputar untuk menyelaraskan dengan sudut yang dihitung dari tegangan.

Metode ini juga memiliki keunggulan dibandingkan metode *strip-modeling* konvensional. Perulangan desain hanya memerlukan perhitungan ulang sudut tegangan,  $\alpha$ , dan reorientasi sumbu lokal elemen membran.



**Gambar 22.** SPSW dengan *Orthotropic Membrane Model* (OMM)  
(Sumber: AISC Design Guide 20)

## 5. Desain Dinding Geser Pelat Baja

Desain pada SPSW disesuaikan dengan ketentuan SNI 7860-2015 dan AISC *Design Guide 20*. Persyaratan desain pada pelat dinding, HBE, dan VBE adalah sebagai berikut.

### a. Pelat dinding

Kekuatan geser desain panel ( $\phi V_n$ ), harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\phi V_n = \phi 0,42 \times f_y \times t_w \times L_{cf} \times \sin 2\alpha \quad (1)$$

Keterangan:

- $\phi$  = 0,90 (LRFD)  
 $L_{cf}$  = jarak bersih antara sayap kolom (VBE)  
 $t_w$  = tebal pelat dinding (badan SPSW)  
 $\alpha$  = sudut dari pelelehan badan dalam derajat, diukur relatif terhadap vertikal. Sudut inklinasi ( $\alpha$ ), boleh diambil sebesar  $40^\circ$ , atau diizinkan dengan hitungan sebagai berikut. (Timler dan Kulak, 1983)

$$\alpha = \tan^{-1} \sqrt{\frac{1 + \frac{t \cdot L}{2A_c}}{1 + t \cdot h_s \cdot \left( \frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360 \cdot I_c \cdot L} \right)}} \quad (2)$$

keterangan :

- $t$  = ketebalan pelat  
 $A_c$  = luas penampang kolom  
 $I_c$  = momen inersia kolom  
 $h_s$  = tinggi tiap lantai  
 $A_b$  = luas penampang balok  
 $L$  = jarak as antara VBE ke VBE

b. *Horizontal Boundary Element (HBE)*

Momen inersia HBE pada sumbu tegak lurus bidang badan ( $I_{HBE}$ ) harus tidak kurang dari:

$$I_{HBE} \geq 0,003 \frac{(\Delta t_w)L^4}{h} \quad (3)$$

keterangan:

- $\Delta t_w$  = perbedaan ketebalan pelat dinding SPSW di atas dan di bawah HBE  
 $h$  = jarak as antara HBE ke HBE

Ketebalan pelat badan minimum HBE ( $t_{wHBE}$ ) harus tidak kurang dari:

$$t_{wHBE} \geq \frac{t_w R_y f_y}{f_y HBE} \quad (4)$$

keterangan:

$f_{yHBE}$  = tegangan leleh dari HBE

$R_y$  = tegangan leleh yang diharapkan dari pelat SPSW

$f_y$  = tegangan leleh dari pelat SPSW

Beban terbagi merata pada balok akibat pelat SPSW ditentukan dengan persamaan berikut.

$$q_u = R_y f_y [t_i \cos^2(\alpha_i) - t_{i+1} \cos^2(\alpha_{i+1})] \quad (5)$$

keterangan:

$\alpha_i$  = sudut inklinasi pelat SPSW tingkat ke-i

$\alpha_{i+1}$  = sudut inklinasi pelat SPSW tingkat ke-i+1

$t_i$  = tebal pelat SPSW tingkat ke-i

$t_{i+1}$  = tebal pelat SPSW tingkat ke-i+1

Gaya kombinasi dari gaya aksial disekitar HBE, yang pertama yaitu reaksi VBE yang disebabkan oleh gaya dalam dari pelat SPSW ditentukan dengan persamaan berikut.

$$P_{HBE(VBE)} = \sum \frac{1}{2} R_y f_y \sin^2(\alpha) t_w h_c \quad (6)$$

keterangan:

$\alpha$  = sudut inklinasi pelat SPSW

$h_c$  = tinggi kolom (VBE)

Selain yang pertama reaksi VBE, kedua yaitu gaya aksial dari pelat SPSW yang merupakan gaya kolektor tambahan yang diperlukan agar pelat SPSW mengalami leleh pada tingkat tersebut ditentukan dengan persamaan berikut.

$$P_{HBE(web)} = \frac{1}{2} R_y f_y [t_i \sin^2(2\alpha_i) - t_{i+1} \sin^2(\alpha_{i+1})] L_{cf} \quad (7)$$

Gaya geser yang terjadi pada balok akibat SPSW adalah sebagai berikut.

$$V_u = \frac{2M^*_{pr}}{L_h} \quad (8)$$

keterangan:

$M^*_{pr}$  = momen yang mungkin terjadi pada sendi plastis

$L_h$  =  $L - 2 [ \frac{1}{2} (d_c + d_b) ]$

c. *Vertical Boundary Element (VBE)*

Momen inersia VBE pada sumbu tegak lurus bidang badan (IVBE) harus tidak kurang dari:

$$I_{VBE} \geq 0,00307 \frac{(tw)h^4}{L} \quad (9)$$

keterangan:

h = jarak as antara HBE ke HBE

L = jarak as antara VBE ke VBE

Gaya aksial pada VBE ditentukan dengan persamaan berikut.

$$P_{VBE} = P_u + E_m \quad (10)$$

keterangan:

$P_u$  = gaya aksial akibat beban gravitasi terfaktor

$E_m$  = gaya tekan aksial seismik, ditentukan dengan persamaan:

$$E_m = \sum \frac{1}{2} R_y f_y \sin(2\alpha) t_w h + \sum V_u \quad (11)$$

keterangan:

h = tinggi kolom (VBE)

$V_{u=}$  = gaya geser total pada HBE

Momen lentur yang terjadi pada VBE ditentukan dengan persamaan:

$$M_{VBE(web)} = \frac{1}{2} R_y f_y \sin^2(\alpha) t_w (h_c^2 / 12) \quad (12)$$

dan

$$M_{VBE(HBE)} = \frac{1}{2} \sum M_{pb} \quad (13)$$

keterangan:

$h_c$  = tinggi kolom (VBE)

$M_{pb}$  = momen yang mungkin terjadi

Gaya geser pada VBE diakibatkan oleh efek tarik pelat SPSW dan efek balok yang menumpu ditentukan dengan persamaan:

$$V_{VBE(web)} = \frac{1}{2} R_y f_y \sin^2(\alpha) t_w h_c \quad (14)$$

dan

$$V_{VBE(HBE)} = \sum \frac{1}{2} (M_{pc} / h_c) \quad (15)$$

## E. Pembebanan dan Kombinasinya

Perencanaan pembebanan ini digunakan beberapa acuan standar sebagai berikut :

- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983;
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012);
- Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).

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

### 1. Beban Mati

Berdasarkan pasal 1.0 PPIUG 1983, beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

Berikut merupakan berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung berdasarkan PPIUG 1983.

**Tabel 3.** Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

<b>BAHAN BANGUNAN</b>	<b>BERAT (KG/M<sup>3</sup>)</b>
Baja	7850
Beton ( <sup>1</sup> )	2200
Beton bertulang ( <sup>2</sup> )	2400
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
<b>KOMPONEN GEDUNG</b>	<b>BERAT (KG/M<sup>2</sup>)</b>
Adukan, per cm tebal:	
- Dari semen	21
Dari kapur, semen merah atau tras	17



**Tabel 3.** Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

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 10
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24

Catatan:

- (1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.
- (2) Untuk beton getas, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan tersendiri.
- (3) Nilai ini adalah nilai rata-rata; untuk jenis-jenis kayu tertentu lihat NI 5 Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia.

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983)

## 2. Beban Hidup

Berdasarkan Pasal 1.0 PPIUG 1983, beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

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

**Tabel 4.** Beban Hidup pada Lantai Gedung

a	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250 kg/m <sup>2</sup>
b	Lantai dan balkon-balkon dari ruang-ruang dan untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam a/s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400 kg/m <sup>2</sup>
c	Lantai untuk: pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan	400 kg/m <sup>2</sup>

	ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	
d	Lantai gedung parkir bertingkat: - Untuk lantai bawah - Untuk lantai tingkat lainnya	800 kg/m <sup>2</sup> 400 kg/m <sup>2</sup>

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983)

### 3. Beban Angin

Berdasarkan Pasal 1.0 PPIUG 1983, beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

#### a. Kecepatan angin dasar (V)

Berdasarkan pasal 26.2 SNI 1727-2013, kecepatan angin dasar merupakan kecepatan tiupan angin dalam tiga detik pada ketinggian 33 kaki (10 m) di atas tanah pada eksposur C yang ditentukan sesuai dengan kecepatan angin dasar.

Pada pasal 26.5.1 SNI 1727-2013 dikemukakan bahwa kecepatan angin dasar (V) 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.

Angin diasumsikan datang dari segala arah horizontal. Kecepatan angin dasar harus diperbesar jika catatan atau pengalaman menunjukkan bahwa kecepatan angin lebih tinggi dari pada yang ditentukan.

Kecepatan angin di Sulawesi Selatan berdasarkan data dari situs web Badan Pusat Statistik Sulawesi Selatan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 5.** Kecepatan Angin di Kota Makassar Tahun 2019

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	4,00
Februari	2,67
Maret	2,67

**Tabel 5.** Kecepatan Angin di Kota Makassar Tahun 2019

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
April	3,67
Mei	4,33
Juni	3,67
Juli	5,00
Agustus	5,67
September	6,33
Oktober	6,00
November	5,00
Desember	5,33

(Sumber: Balai Besar Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Wilayah IV Makassar)

**b. Faktor arah angin ( $K_a$ )**

Dalam pasal 26 SNI 1727-2013, faktor arah angin,  $K_a$ , ditentukan berdasarkan tabel berikut.

**Tabel 6.** Faktor Arah Angin,  $K_a$ 

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin $K_a$ *
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 - Segi empat - Segi enam 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 - Segi tiga , segi empat, persegi panjang Penampang lainnya	0,85 0,95

(Sumber: SNI 1727-2013)

**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 kaki (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1500 kaki (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi rata-rata lebih besar dari 30 kaki (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2600 kaki (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 bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku diarah lawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5000 kaki (1524 m) atau 20 kali tinggi bangunan, pilih yang terbesar.

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

**d. Efek topografi**

Efek peningkatan kecepatan pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam yang terisolasi akan menimbulkan perubahan mendadak dalam topografi umum, terletak dalam setiap kategori eksposur, harus

dimasukkan dalam perhitungan beban angin bila kondisi bangunan gedung dan kondisi lokasi dan lokasi struktur memenuhi kondisi berikut.

- 1) Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam yang terisolasi dan tidak terhalang angin arah vertikal ke atas oleh pengaruh topografi serupa dari ketinggian yang setara untuk 100 kali tinggi fitur topografi (100 H) atau 2 mil (3,22 km), dipilih 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 di atas 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 ( $GC_{pi}$ ), ditentukan dari tabel berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung.

**Tabel 7.** Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ )

<b>Klasifikasi Ketertutupan</b>	<b>(<math>GC_{pi}</math>)</b>
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

Catatan:

- 1) Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi dari permukaan internal
- 2) Nilai ( $GC_{pi}$ ) harus digunakan dengan  $q_z$  atau  $q_h$  seperti yang ditetapkan

- 3) Dua kasus harus dipertimbangkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
  - (i) Nilai positif dari ( $GC_{pi}$ ) diterapkan untuk seluruh permukaan internal
  - (ii) Nilai negatif dari ( $GC_{pi}$ ) diterapkan untuk seluruh permukaan internal

(Sumber: SNI 1727-2013)

**g. Koefisien tekanan eksternal ( $C_{pf}$ )**

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

**Tabel 8.** Koefisien Tekanan Dinding ( $C_p$ )

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
	$\geq 4$	-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

(Sumber: SNI 1727-2013)

**h. Koefisien Eksposur ( $K_z$ )**

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

**Tabel 9.** Konstanta Eksposur Daratan

Eksposur	$\alpha$	$Z_g$ (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  $K_z$  atau  $K_h$  sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari tabel dibawah.

**Tabel 10.** 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:

$\alpha$  = eksponen pangkat untuk kecepatan-tiupan angin 3 detik

$Z_g$  = tinggi nominal lapisan batas atmosfer yang digunakan dalam SNI 1727-2013

(Sumber: SNI 1727-2013)

**i. Tekanan Velositas ( $q_h$ )**

Berdasarkan pasal 27.3.2 SNI 1727-2013, tekanan velositas dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$q_h = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \quad (16)$$

Keterangan:

$q_h$  = tekanan velositas ( $N/m^2$ )

$K_z$  = koefisien eksposur

$K_{zt}$  = faktor topografi

$K_d$  = faktor pengaruh angin

$V$  = kecepatan angin dasar (m/s)

#### 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 dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

##### a. 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 11.** 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: <ul style="list-style-type: none"><li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li><li>- Fasilitas sementara</li><li>- Gudang penyimpanan</li><li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li></ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"><li>- Perumahan</li><li>- Rumah toko dan rumah kantor</li></ul>	II



**Tabel 11.** Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung untuk Beban Gempa

JENIS PEMANFAATAN	KATEGORI RISIKO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen /rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	

(Sumber: SNI 1726-2012)

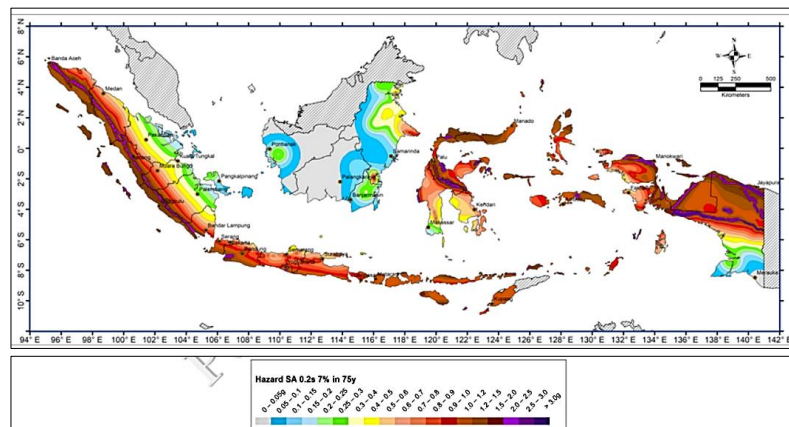
**Tabel 12.** Faktor Keutamaan Gempa

KATEGORI RISIKO	FAKTOR KEUTAMAAN GEMPA, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726-2012)

**b. Nilai Spektral Percepatan**

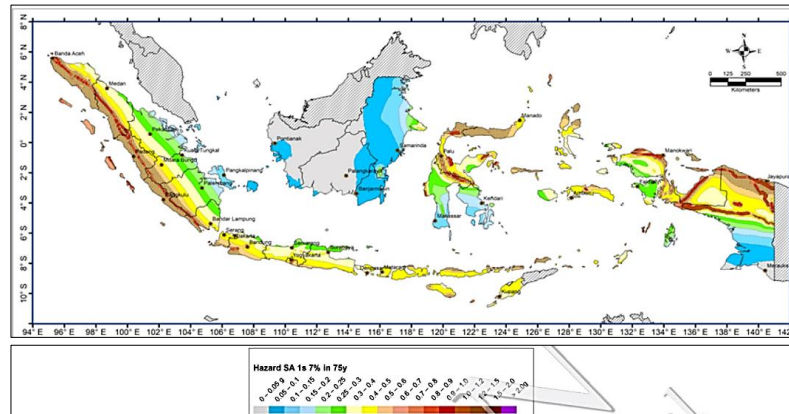
Nilai spektral percepatan pada 0,2 detik ( $S_s$ ) dan nilai spektral percepatan pada 1 detik ( $S_1$ ) di Indonesia dapat dilihat pada **Gambar 23.** dan **Gambar 24.** di bawah.



**Gambar 23.** Nilai Spektral Percepatan Pada 0,2 Detik ( $S_s$ )

(Sumber: Desain Spektra Indonesia 2021, Kementerian PUPR,

<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.1115&ss=0.2247&s1=0.1087&tl=16&kelas=2#grafik>)



**Gambar 24.** Nilai Spektral Percepatan Pada 1 Detik (S1)  
 (Sumber: Website Desain Spektra Indonesia 2021, Kementerian PUPR,  
<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.1115&ss=0.2247&s1=0.1087&tl=16&kelas=2#grafik>)

**c. Kelas Situs**

Berikut merupakan tipe kelas situs berdasarkan SNI 1726-2012.

**Tabel 13.** Kelas Situs

Kelas Situs	$v_s$ (m/detik)	N atau $N_{ch}$	$S_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math>,</li> <li>3. Kuat geser niralir <math>s_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut.		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> </ul>		

**Tabel 13.** Kelas Situs

Kelas Situs	$v_s$ (m/detik)	N atau $N_{ch}$	$S_u$ (kPa)
respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726-2012)

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

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (17)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (18)$$

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 14.** dan **Tabel 15.**

**Tabel 14.** Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE <sub>R</sub> ) 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 <sup>b</sup>				

**Catatan:**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs

(Sumber: SNI 1726-2012)

**Tabel 15.** Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE <sub>R</sub> ) terpetakan pada perioda pendek, $T=1$ detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

**Catatan:**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs

(Sumber: SNI 1726-2012)

**e. 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:

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= 2/3 S_{MS} \\
 &= 2/3 F_a \times S_s
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
S_{D1} &= 2/3 S_{M1} \\
&= 2/3 F_v \times S_1
\end{aligned}
\tag{20}$$

**f. 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 16.** 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: SNI 1726-2012)

**Tabel 17.** 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
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2012)

**g. 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 ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai  $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega_0$ , harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel berikut.

**Tabel 18.** Faktor R,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Penahan Gaya-Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R	Faktor Kuat-lebih Sistem, $\Omega_0$	Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d$
<b>Sistem rangka pemikul momen</b>			
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 ½
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 ½
Rangka baja pemikul momen menengah	4 ½	3	4
Rangka baja pemikul momen biasa	3 ½	3	3
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½
<b>Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>5 ½</b>
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 ½
Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 ½
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2 ½
Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3 ½	3 <sup>0</sup>	3 ½
<b>Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan</b>			
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2 ½	4

**Tabel 18.** Faktor R,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

<b>Sistem Penahan Gaya-Seismik</b>	<b>Koefisien Modifikasi Respons, R</b>	<b>Faktor Kuat-lebih Sistem, <math>\Omega_0</math></b>	<b>Faktor Pembesaran Defleksi, <math>C_d</math></b>
Rangka baja dengan bresing konsentris 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 konsentris	8	2 ½	4
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2 ½	5
<b><i>Dinding geser pelat baja dan beton komposit</i></b>	<b>7 ½</b>	<b>2 ½</b>	<b>6</b>
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

(Sumber: SNI 1726-2012)

Faktor modifikasi respons (R) atau faktor reduksi beban gempa adalah suatu nilai yang mereduksi jumlah beban gempa berdasarkan tipe struktur yang direncanakan serta komponen struktur pendukung lainnya. Faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) diberikan pada elemen struktur tertentu agar setidaknya elemen tersebut mengalami kerusakan yang lebih kecil.

dibandingkan elemen yang lain. faktor kuat lebih ( $\Omega_o$ ) ditentukan bukan agar elemen tersebut masih dalam kondisi elastik, hal ini dikarenakan berbagai kemungkinan yang tidak dipertimbangkan ketika analisa struktur dilakukan (misal fenomena redistribusi gaya) membuat asumsi *member* masih elastik hanya karena didesain dengan gaya yang lebih tinggi adalah asumsi yang kurang bisa dipegang secara ilmiah.

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

Keterangan:

$D$  = beban mati (*dead load*)

$L$  = beban hidup (*live load*)

$L_r$  = beban atap (*liveroof load*)

$R$  = beban hujan (*rain load*)

$W$  = beban angin (*wind load*)

$E$  = beban gempa (*earthquake load*)

## F. Analisis Linear Gempa

### 1. Analisis Statik Ekuivalen

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



a. Periode fundamental (T)

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (21)$$

Keterangan:

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

**Tabel 20.**

**Tabel 19.** Koefisien untuk Batas Atas Pada Perioda yang Dihitung

Parameter Percepatan respons Spektral Desain pada 1 Detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726-2012)

**Tabel 20.** Nilai Parameter Perioda Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

(Sumber: SNI 1726-2012)

b. Geser dasar seismik (V)

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

$$V = C_s \times W \quad (22)$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik, pada persamaan (15)

$W$  = berat seismik efektif

c. Koefisien respons seismik

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

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (23)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung berdasarkan persamaan (22) tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (24)$$

$C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \quad (25)$$

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0.5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (26)$$

Keterangan:

$S_{D1}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode sebesar 1,0 detik

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode sebesar 0,2 detik

- T = periode fundamental struktur (s)
- S<sub>1</sub> = parameter percepatan spektrum respons maksimum
- I<sub>e</sub> = faktor keutamaan gempa
- R = koefisien modifikasi respons

d. Faktor skala

Dalam pasal 7.9.4.1 SNI 1726-2012 dinyatakan bahwa bila periode fundamental yang dihitung melebihi C<sub>u</sub>T<sub>a</sub>, maka C<sub>u</sub>T<sub>a</sub> harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V<sub>t</sub>) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan  $0.85 \frac{V}{V_t}$ .

Keterangan:

V = geser dasar prosedur gaya lateral ekuivalen

V<sub>t</sub> = geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan

Faktor skala dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Faktor skala} = \frac{I_e \times g}{R} \quad (27)$$

Keterangan:

I<sub>e</sub> = faktor keutamaan gempa

g = gaya gravitasi (9.8 m/s<sup>2</sup>)

R = koefisien modifikasi respons

## 2. Analisis Dinamik Respon Spektrum

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamik gerakan tanah terhadap struktur. Terdapat 2 macam analisis dinamik gempa, yaitu:

- 1) Analisis ragam respon spektrum, dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.

- 2) Analisis riwayat waktu, dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan menjadi Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Response Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*). Analisis dinamik elastis digunakan untuk mendapatkan respon struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*). Analisis dinamik elastis ini lebih sering digunakan karena lebih sederhana.

Tujuan dari analisis dinamik yaitu untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektrum respon. Pembagian gaya geser tingkat tersebut untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen.

Metode respon spektrum merupakan metode analisis struktur bangunan dengan menggunakan spektrum gempa yang digambarkan dalam bentuk kurva hubungan antara periode struktur dan nilai percepatan bangunan ketika dikenakan beban gempa.

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar dan mengikuti ketentuan berikut.

- a) Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (28)$$

- b) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ ;
- c) Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (29)$$

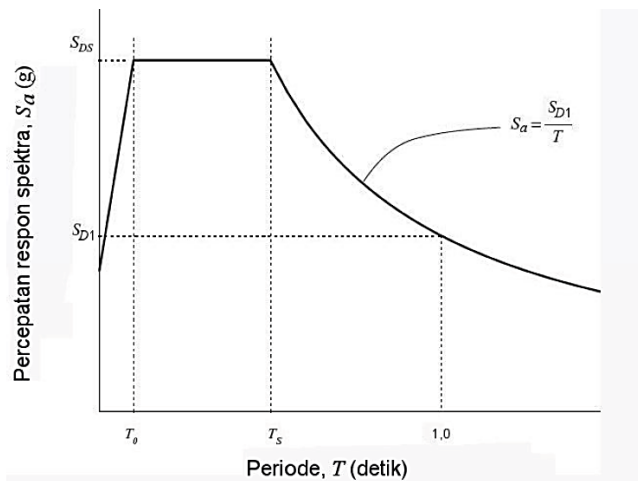
Keterangan:

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

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

$T_0$  =  $0,2 (S_{D1} / S_{DS})$

$T_s$  =  $S_{D1} / S_{DS}$



**Gambar 25.** Spektrum Respons Desain  
(Sumber: SNI 1726-2002)

#### a. Simpangan Antar Lantai

Nilai perpindahan elastis antar lantai diperoleh dari hasil selisih nilai  $\delta_{ex}$  lantai tingkat atas dikurangi  $\delta_{ex}$  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 (30).

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{ex}}{I_e} \quad (30)$$

dimana:

$C_d$  = faktor pembesaran

$\delta_{ex}$  = defleksi yang ditentukan oleh analisis elastis

$I_e$  = faktor keutamaan

## b. Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726-2012, ditentukan oleh persamaan berikut.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (31)$$

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (32)$$

keterangan:

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

$\Delta$  = 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

$\beta$  = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser yang ditinjau

## G. Kinerja Struktur

### 1. Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat (*drift*) akibat pengaruh dari gempa rencana, digunakan untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan,

disamping itu juga untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. *Drift* harus dihitung dari simpangan (*displacement*) gedung akibat pengaruh gempa nominal dibagi faktor skala.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, *drift* yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui  $0,03/R$  kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung dari yang mana nilainya terkecil.

## 2. Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh dari gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan, digunakan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (delatasi).

Simpangan dan simpangan antar-tingkat harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan faktor pengali  $\xi$ .

- a. Faktor pengali dari simpangan struktur gedung beraturan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\xi = 0,7 \times R \quad (33)$$

- b. Faktor pengali dari simpangan struktur gedung tidak beraturan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\xi = \frac{0,7 \times R}{\text{Faktor Skala}} \quad (34)$$

dimana:

R = faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak lebih dari 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

### 3. Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40 (*Applied Technology Council-40*)

Konsep *Performance Based Seismic Design* adalah konsep yang menetapkan tingkat kinerja (*performance level*) yang diharapkan setelah struktur dikenakan gempa dengan intensitas tertentu. Menurut ATC-40, kinerja bangunan terhadap beban gempa dibagi menjadi 6 kategori level struktur yaitu:

- a. *Immediate Occupancy*, SP-1: Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
- b. *Damage Control*, SP-2: Dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.
- c. *Life Safety*, SP-3: Bila terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dapat dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
- d. *Limited Safety*, SP-4: Kondisi bangunan tidak sebaik level life safety dan tidak seburuk level *structural stability*, termasuk ketika level *life safety* tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.
- e. *Structural Stability*, SP-5: Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada



struktur dan nonstruktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.

- f. *Not Considered*, SP-6: Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

ATC-40 juga memberikan batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi pada *performance point* (PP) untuk mengevaluasi kinerja struktur daktail dengan analisis statik non linier. Parameter yang digunakan adalah maksimum total *drift* dan maksimum inelastik *drift* yang disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 21.** Batasan Rasio *Drift* Menurut ATC-40

Parameter	Performance Level			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maksimum Total <i>Drift</i>	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,33V_i / P_i$
Maksimum Inelastik <i>Drift</i>	0,005	0,005 – 0,015	<i>No limit</i>	<i>No limit</i>

$$\text{Maksimum drift} = \frac{D_t}{H_{total}} \quad (35)$$

$$\text{Maksimum inelastik drift} = \frac{D_t - D_1}{H_{total}} \quad (36)$$

Keterangan:

$D_t$  = *displacement* atap (paling atas)

$D_1$  = *displacement* lantai 1 (lantai di atas penjepit lateral)

## H. Keaslian Penelitian

JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
Studi Perilaku Dinding Geser Pelat Baja ( <i>Steel Plate Shear wall</i> ) Pada Bangunan Struktur Baja Akibat Beban Gempa	Nur Husain	2011	Institut Teknologi Sepuluh November, Indonesia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bangunan 10 lantai</li> <li>Membandingkan bangunan dengan dan tanpa SPSW dengan posisi di tengah bentangan pada 4 sisi bangunan</li> <li>Menghitung <i>drift</i> dan <i>base shear</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis linear dan analisis non-linear</li> <li>Analisis menggunakan <i>software</i> SAP2000 v.14 dan Abaqus 6.7</li> </ul>	<i>Drift</i> pada bangunan dengan SPSW 4,7 kali lebih kecil dibandingkan tanpa SPSW. Selain itu, <i>base shear</i> dan <i>drift</i> yang terjadi pada bangunan dengan SPSW lebih kecil dibandingkan bangunan tanpa SPSW.
<i>Numerical Investigations on Steel Plate Shear walls – Stiffened and Un-stiffened</i>	Priya S Jain dan Prashanth S	2015	M.S.Ramaiah Institute of Technology, India	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bangunan simetris 10, struktur baja</li> <li>Menggunakan SPSW <i>unstiffened</i> dan SPSW <i>stiffened</i></li> <li>Membandingkan <i>displacement</i>,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis non-linear</li> <li>Software yang digunakan adalah Ansys v14, Ansys v15, dan</li> </ul>	<i>Drift</i> maksimum terjadi di lantai 6. <i>Displacement</i> makin meningkat seiring bertambahnya lantai. <i>Displacement</i> , defleksi luar bidang berkurang seiring bertambahnya ketebalan pelat baja.

JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
				<i>drift</i> , dan tegangan geser dari SPSW <i>unstiffened</i> dengan variasi ketebalan dari pelat baja yaitu 8 mm, 12 mm, serta 16 mm, dan SPSW <i>stiffened</i> dengan tebal 3 mm antara pengaku diagonal tunggal dan pengaku diagonal ganda.	ETABS versi 9.2	Tebal SPSW 12 mm lebih efektif dibandingkan dua variasi lainnya. Bangunan 10 lantai yang menggunakan SPSW <i>unstiffened</i> dengan ketebalan di atas 8 mm dapat digunakan. Jika tebal SPSW kurang dari 8 mm, maka harus menggunakan SPSW <i>stiffened</i> dengan jenis pengaku diagonal ganda.
<i>Behavior of Steel Plate Shear wall in Framed Structure</i>	Akash V. Lad dan Sauabh S. Fartade	2016	Subharti Institute of Technology and Engineering, India	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan simetris 7 lantai, struktur rangka</li> <li>• Menggunakan SPSW <i>unstiffened</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis dinamik yaitu analisis <i>time-history</i> dan</li> </ul>	Defleksi arah X meningkat seiring bertambahnya tebal SPSW, sedangkan defleksi arah Y dan Z

JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
				<ul style="list-style-type: none"> <li>Membandingkan defleksi, momen lentur, <i>base shear</i>, dan <i>drift</i> lantai dari bangunan yang menggunakan SPSW dengan variasi ketebalan pelat 8 mm, 12 mm, &amp; 16 mm, serta dua posisi SPSW yaitu di tengah bentang (4 sisi) dan sudut bangunan.</li> </ul>	<p>analisis respon spektrum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis menggunakan <i>software</i> STAAD Pro. V8i</li> </ul>	<p>menurun seiring bertambahnya tebal SPSW untuk SPSW di tengah bentang. Posisi SPSW di sudut bangunan, peningkatan tebal SPSW tidak terlalu efektif untuk mengurangi defleksi. Momen lentur terbesar pada tebal 8 mm di tengah bentang, sedangkan terkecil pada tebal 16 mm di sudut bangunan. <i>Base shear</i> terbesar terjadi pada SPSW 16 mm di tengah bentang, sedangkan terkecil pada tebal 8 mm di sudut bangunan.</p>

JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
						<p><i>Drift</i> terbesar terjadi di tengah bentang pada tebal SPSW 8 mm, dan terkecil terjadi di sudut bangunan pada tebal SPSW 16 mm.</p> <p>Oleh karena itu, bangunan 7 lantai lebih efektif menggunakan SPSW dengan posisi di sudut bangunan dan pelat baja yang lebih tebal.</p>
<i>Design and Analysis of High Rise Building with Steel Plate Shear wall</i>	Anjana R K Unnithan	2017	VIT University, India	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan 10 lantai, struktur komposit</li> <li>• Membandingkan <i>displacement, drift, overturning moment</i>, dan <i>base shear</i> dengan empat variasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis respon spektrum</li> <li>• Analisis menggunakan bantuan <i>software ETABS</i></li> </ul>	<p><i>Displacement</i> meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi lantai, <i>Displacement, drift</i>, dan <i>base shear</i> menurun seiring bertambahnya ketebalan SPSW,</p>

JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
				ketebalan SPSW yaitu 8 mm, 16 mm, 24 mm, 32 mm, 40 mm, 48 mm, 56 mm, 64 mm, 72 mm, dan 80 mm, dengan posisi SPSW berada di inti ( <i>core</i> ) serta tengah bentang (4 sisi) bangunan.		sedangkan <i>overturning-moment</i> meningkat seiring bertambahnya ketebalan SPSW. <i>Displacement</i> terkecil terjadi pada SPSW dengan tebal 80 mm dan 72 mm, yaitu 52.2 mm, sedangkan terbesar terjadi pada SPSW tebal 8 mm, yaitu 74 mm. <i>Story drift</i> tertinggi terjadi di lantai 5 pada ketebalan 8 mm dan terendah di lantai 1 pada ketebalan 80 mm. <i>Overturning moment</i> tertinggi terjadi di lantai dasar dengan tebal SPSW 80 mm, sedangkan <i>base shear</i> tertinggi di lantai

JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
						1 pada tebal SPSW 8 mm.
<i>Analysis of An Irregular Building with SPSW</i>	Akhila A. dan Chaithra S.	2019	Sree Narayana Institute of Technology, India	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bangunan 15 lantai, struktur RC (<i>reinforced concrete</i>)</li> <li>Menggunakan SPSW dikakukan (<i>stiffened</i>) bentuk diagonal</li> <li>Membandingkan <i>displacement</i>, kekakuan, dan <i>drift</i> dari SPSW yang diletakkan di inti dan di sudut bangunan, dengan 3 jenis ketebalan yaitu 48 mm, 64 mm, dan 80 mm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis respon spektrum</li> <li>Analisis dengan <i>software</i> ETABS-2015</li> </ul>	<p><i>Displacement</i> dan <i>drift</i> di sudut bangunan lebih kecil dibandingkan penempatan SPSW di inti bangunan.</p> <p><i>Displacement</i> dan <i>drift</i> terbesar di inti bangunan dengan tebal SPSW 48 mm, sedangkan terkecil pada SPSW di sudut bangunan dengan tebal 80 mm.</p> <p>Kekakuan bangunan lebih tinggi dengan penempatan SPSW di sudut bangunan dari pada di inti bangunan. Kekakuan terbesar terjadi pada tebal</p>

JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
						SPSW 80 mm di sudut bangunan dan terkecil pada tebal 48 mm di inti bangunan.
<i>Non-Linear Seismic Analysis of Steel Plate Shear wall Subjected to Blast Loading</i>	Prashant Sunagar, Manish S Dharek, Nruthya K, Sreekechava K S, Nagashree B, Ramegowda	2020	Ramaiah Institute of Technology, BMS Institute Technology and Management, dan Jyothy Institute of Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bangunan simetris 5 lantai, struktur baja</li> <li>Membandingkan <i>displacement, base shear</i>, dan gaya kolom pada bangunan dengan SPSW <i>unstiffened</i> dengan ketebalan pelat 6 mm, 8 mm, dan 10 mm dengan 4 variasi posisi, yaitu penuh pada kedua sisi bangunan berhadapan, tengah bentang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis <i>time-history</i></li> <li>Analisis dan pemodelan menggunakan SAP 2000</li> </ul>	<p><i>Base shear</i> terbesar terjadi pada tebal SPSW 6 mm di tengah bentang, dan terkecil terjadi pada tebal 10 mm posisi SPSW penuh pada 2 sisi bangunan berhadapan. <i>Displacement</i> menurun seiring bertambahnya tebal SPSW untuk setiap posisi. <i>Displacement</i> terkecil terjadi pada tebal 10 mm di posisi dua sisi penuh SPSW, sedangkan terbesar pada tebal 6 mm di</p>



JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
				bangunan (4 sisi), pola seperti H (4 sisi), dan pola seperti tanda “+” (4 sisi).		tengah bentang pada keempat sisi bangunan. Bangunan dengan tebal SPSW 10 mm bekerja lebih baik dibandingkan dua lainnya. Penempatan SPSW di tengah bentang (4 sisi) bangunan kinerjanya baik untuk menahan momen lentur dikedua arah bangunan. Sedangkan SPSW penuh di dua sisi bangunan berhadapan sangat baik dalam menahan gaya aksial.
Analisis Kinerja Struktur Bangunan	Wa Ode Denti Damayanti	2022	Universitas Hasanuddin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bangunan 24 lantai dengan sistem struktur <i>rigid frame-core</i>,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis respon spektrum</li> </ul>	<i>Displacement</i> terbesar terjadi pada bangunan tanpa SPSW, sedangkan

JUDUL	PENULIS	TAHUN	INSTITUSI/ NEGARA	VARIABEL	METODE	HASIL
Berlantai Banyak dengan Menggunakan Sistem Dinding Geser Pelat Baja				struktur komposit baja-beton <ul style="list-style-type: none"> <li>Mengungkap kinerja struktur berdasarkan ATC-40 pada bangunan tanpa SPSW dan menggunakan SPSW <i>stiffened</i> tebal 5 mm, 7 mm, dan 9 mm, dengan dua variasi posisi yaitu jauh dan dekat dari <i>core</i> bangunan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis dan pemodelan dengan bantuan program ETABS <i>Trial</i> 18.1.1</li> </ul>	<i>displacement</i> terkecil terjadi pada SPSW 9 mm yang diposisikan dekat dengan <i>core</i> bangunan. Level kinerja berdasarkan ATC-40 semua bangunan uji tanpa SPSW dan yang diaplikasikan SPSW tebal 5 mm, 7 mm, dan 9 mm, dengan posisi jauh dan dekat dari <i>core</i> bangunan, masuk dalam kategori <i>Immediate Occupancy</i> (IO).

## I. Kerangka Pikir

