

**PENGARUH JENIS TUMPUAN JEMBATAN PENGHUBUNG  
(SKYBRIDGE) TERHADAP KESTABILAN STRUKTUR BANGUNAN  
BERLANTAI BANYAK**

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

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



Oleh:

**MAULANA NUR IKHSAN**

**D511 16 022**

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

**HALAMAN JUDUL**

**PENGARUH JENIS TUMPUAN JEMBATAN PENGHUBUNG  
(*SKYBRIDGE*) TERHADAP KESTABILAN STRUKTUR BANGUNAN  
BERLANTAI BANYAK**

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

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



Oleh:

**MAULANA NUR IKHSAN**

**D511 16 022**

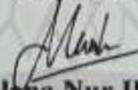
**DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH JENIS TUMPUAN JEMBATAN PENGHUBUNG  
(SKYBRIDGE) TERHADAP KESTABILAN STRUKTUR BANGUNAN  
BERLANTAI BANYAK**

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

Penyusun

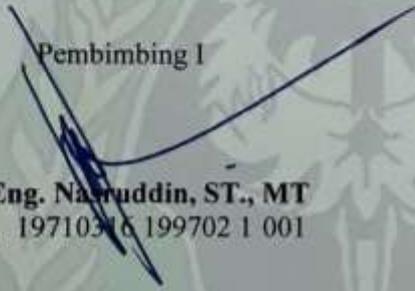


**Maulana Nur Ikhsan**  
**D511 16 022**

Gowa, 26 Nopember 2020

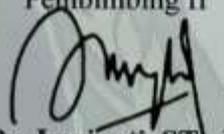
Menyetujui

Pembimbing I



**Dr. Eng. Nasruddin, ST., MT**  
NIP. 19710316 199702 1 001

Pembimbing II



**Dr. Imrianti, ST., MT**  
NIP. 19730208 200604 2 001

Mengetahui

Program Studi Arsitektur



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

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : Maulana Nur Ikhsan

NIM : D51116022

Program Studi : S1 Teknik Arsitektur

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Pengaruh Jenis Tumpuan Jembatan Penghubung (Skybridge) Terhadap Kestabilan Struktur Bangunan Berlantai Banyak* adalah karya ilmiah yang bebas dari plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Makassar, 26 November 2020

Yang Menyatakan,



**Maulana Nur Ikhsan**

NIM. D51116022

## **KATA PENGANTAR**

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

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

1. Kedua orang tua, ayahanda tercinta Jamaluddin Jompa dan ibunda tersayang Hartati Tamti yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil serta doa yang tiada henti-hentinya kepada penulis.
2. Segenap keluarga dan teman yang telah menyemangati dan membantu penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. H. Edward Syarif, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Eng. Nasruddin Junus, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing I yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu dan solusi pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penulisan skripsi ini.

6. Ibu Dr. Imriyanti, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis selama menyusun skripsi dan memberikan banyak ilmu serta solusi pada setiap permasalahan atas kesulitan dalam penulisan skripsi ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
8. A. Nur Anisah Rahayu Agich yang telah membantu dan memberikan semangat setiap harinya dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Makassar, 26 November 2020

Penulis

# **THE INFLUENCE OF THE TYPE OF CONNECTING BRIDGE PILE (SKYBRIDGE) ON THE STABILITY OF MULTI-STOREY BUILDING STRUCTURES**

Maulana Nur Ikhsan<sup>1)</sup>, Nasruddin Junus<sup>2)</sup>, Imriyanti<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Student of the Hasanuddin University Architecture Department, <sup>2)</sup> <sup>3)</sup>Lecturer of the Hasanuddin University Architecture Department

Email: [maulananurikhsaan@gmail.com](mailto:maulananurikhsaan@gmail.com)

## **ABSTRACT**

In planning a multi-storey building structure, a study is needed on the selection of the effective type of pedestal on the connecting bridge. However, currently, studies on this matter are still lacking. This study aims to (1) determine the comparison of the stability value of a multi-story building structure connected by a bridge (skybridge) with variations in the types of roller supports, joints, and rigidity. (2) knowing the comparison of the stability value of a multi-story building structure at two variations in the position of the bridge (skybridge). The building structure consists of two identical 50-story buildings with reinforced concrete as the main material. The building structure was analyzed by using the ETABS program. The analysis used is dynamic analysis of Time Linear History, using 3 earthquake data, namely the Kobe Earthquake (Japan), the Tabas Earthquake (Iran), and the Chi-Chi Earthquake (Taiwan). The results showed that in the variation of the P1 position, the lowest displacement value was 102.490 mm which was found on the T2 support variation, namely Stiff-Rigid, Rigid-Rigid. Whereas in the P2 position variation, the lowest displacement value is 89,955 mm which is found on the T8 pedestal variation, namely Stiff-Joint, Rigid-Joints. Based on the two displacement values, it can be concluded that the variation of the T8 support in the P2 position variation is the most effective variation of the pedestal and position in stabilizing the building.

Keywords: joint, connecting bridge, structural stability, displacement, multi-story building

# **PENGARUH JENIS TUMPUAN JEMBATAN PENGHUBUNG (SKYBRIDGE) TERHADAP KESTABILAN STRUKTUR BANGUNAN BERLANTAI BANYAK**

Maulana Nur Ikhsan<sup>1)</sup>, Nasruddin Junus<sup>2)</sup>, Imriyanti<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Departemen Arsitektur Universitas Hasanuddin, <sup>2)</sup><sup>3)</sup>Dosen  
Departemen Arsitektur Universitas Hasanuddin

Email: [maulananurikhsaan@gmail.com](mailto:maulananurikhsaan@gmail.com)

## **ABSTRAK**

Dalam perencanaan struktur bangunan berlantai banyak, diperlukan studi mengenai pemilihan jenis tumpuan yang efektif pada jembatan penghubung. Namun saat ini, studi mengenai hal tersebut masih sangat kurang. Adapun penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui perbandingan nilai kestabilan struktur bangunan berlantai banyak yang dihubungkan jembatan penghubung (*skybridge*) dengan variasi jenis tumpuan rol, sendi, dan kaku. (2) mengetahui perbandingan nilai kestabilan struktur bangunan berlantai banyak pada dua variasi posisi jembatan penghubung (*skybridge*). Struktur bangunan terdiri dari dua bangunan identik 50 lantai dengan material utama beton bertulang. Struktur bangunan dianalisis dengan program ETABS. Analisis yang digunakan adalah analisis dinamik *Time linear History*, menggunakan 3 data gempa yaitu Gempa Kobe (Jepang), Gempa Tabas (Iran), dan Gempa Chi-chi (Taiwan). Hasil penelitian menunjukkan pada variasi posisi P1, nilai *displacement* terendah adalah 102,490 mm yang terdapat pada variasi tumpuan T2 yaitu Kaku-kaku, Kaku-kaku. Sedangkan pada variasi posisi P2, nilai *displacement* terendah adalah 89,955 mm yang terdapat pada variasi tumpuan T8 yaitu tumpuan Kaku-Sendi, Sendi-Kaku. Berdasarkan kedua nilai *displacement* tersebut dapat disimpulkan variasi tumpuan T8 pada variasi posisi P2 adalah variasi tumpuan dan posisi yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan.

Kata kunci: tumpuan, jembatan penghubung, kestabilan struktur, bangunan berlantai banyak

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR. ....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
E. Sistematika Penulisan. ....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
A. Sistem Struktur Gedung .....	5
B. Beton Bertulang. ....	7
1. Mutu Beton.....	9
2. Tulangan.....	10
C. Elemen Struktur.....	17
1. Kolom .....	17
2. Balok.....	18

3.	Dinding Geser.....	19
D.	Pengertian Jembatan Penghubung ( <i>skybridge</i> ) .....	22
E.	Jenis-Jenis Jembatan Penghubung ( <i>skybridge</i> ) .....	25
1.	Jembatan Penghubung ( <i>skybridge</i> ) Dilihat dari Kepemilikan.....	25
2.	Jembatan Penghubung ( <i>skybridge</i> ) Dilihat dari Penyaluran Beban	28
3.	Skybridge Dilihat dari Tipe Struktur.....	31
F.	Tipe Tumpuan antara Jembatan Penghubung ( <i>skybridge</i> ) dan Gedung ...	32
1.	<i>Roller-Connected Skybridge</i> .....	32
2.	<i>Hinge -Connected Skybridge</i> .....	37
3.	<i>Rigid-Connected Skybridge</i> .....	39
G.	Pembebanan Struktur.....	43
1.	Beban Mati .....	44
2.	Beban Hidup.....	45
3.	Beban Angin.....	45
4.	Beban Gempa .....	53
5.	Kombinasi Pembebanan.....	65
H.	Analisis Dinamik Gempa.....	66
1.	Analisis Ragam Spektrum Respon ( <i>Respons Spectrum Modal Analysis</i> ) .....	67
2.	Analisis Ragam Riwayat Waktu ( <i>Time History Modal Analysis</i> )... ..	69
I.	Simpangan Antar Lantai. ....	71
J.	Defleksi.....	73
K.	Keaslian Penelitian.....	76
L.	Kerangka Fikir .....	79

BAB III METODOLOGI.....	80
A. Jenis Penelitian.....	80
B. Instrumen Penelitian .....	80
C. Variabel Penelitian.....	81
D. Tahap Pengumpulan Data.....	82
E. Tahap Pemodelan Struktur.....	85
F. Tahap Pembebanan Struktur .....	86
G. Tahap Analisis .....	88
H. Alur Penelitian .....	90
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	91
A. Hasil Analisis pada Variasi Tumpuan T1 .....	91
B. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T2 .....	92
C. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T3.....	93
D. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T4.....	95
E. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T5.....	96
F. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T6.....	98
G. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T7.....	99
H. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T8.....	100
I. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T9.....	102
J. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T10.....	103
K. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T11 .....	105
L. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T12.....	106
M. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T13.....	107
N. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T14.....	109

O. Hasil Analisis Pada Variasi Tumpuan T15.....	110
P. Perbandingan Hasil Analisis .....	112
1. Variasi Posisi P1 dan P2.....	112
2. Variasi Tumpuan T1-T15 .....	114
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	116
A. Kesimpulan .....	116
B. Saran .....	117
DAFTAR PUSTAKA .....	118

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kuat Tekan Beton (SNI 03-6468-2000).....	10
Tabel 2.2. Dimensi Tulangan Ulir (SNI T-15-1991-03) .....	13
Tabel 2.3. Rata-Rata Kecepatan Angin di Kota Makassar pada Tahun 2013 .	46
Tabel 2.4. Faktor Arah Angin .....	47
Tabel 2.5. Koefisien Tekanan Internal.....	50
Tabel 2.6. Koefisien Tekanan Dinding, Cpf .....	50
Tabel 2.7. Koefisien Eksposur .....	53
Tabel 2.8. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk Beban Gempa .....	54
Tabel 2.9. Faktor Keutamaan Gempa .....	58
Tabel 2.10. Klasifikasi Situs .....	60
Tabel 2.11. Koefisien situs (Fa) .....	61
Tabel 2.12. Koefisien situs (Fv) .....	62
Tabel 2.13. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek.....	63
Tabel 2.14. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik.....	63
Tabel 2.15. Koefisien Batas Atas Periode ( $C_u$ ) .....	64
Tabel 2.16. Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	65
Tabel 2.17. Keaslian Penelitian.....	77
Tabel 3.1. Variasi Tumpuan.....	84
Tabel 3.2. Dimensi Elemen Bangunan .....	86
Tabel 3.2. Data <i>Ground Motion</i> .....	90

Tabel 4.1 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T1 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.2 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T2 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.3 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T3 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.4 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T4 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.5 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T5 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.6 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T6 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.7 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T7 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.8 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T8 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.9 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T9 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.10 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T10 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.11 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T11 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.12 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T12 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95

Tabel 4.13 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T13 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.14 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T14 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95
Tabel 4.15 Displacement Rata-Rata Bangunan dengan Variasi Tumpuan	
T15 pada Variasi Posisi P1 dan P2.....	95

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem struktur pada gedung kantor (Khan, 1969) .....	6
Gambar 2.2 Berbagai Jenis Sistem Struktur Bangunan Gedung: (a) Struktur Interior (b) Struktur Eksterior (Ali, 2018).....	6
Gambar 2.3 Jarak Tulangan Pada (a) Balok (b) Kolom dan (c) Plat Lantai (SNI 03-2847-2002 dan ACI 318) .....	12
Gambar 2.4 Syarat Sambungan Kelas A: (a) Potongan Melintang Balok dan (b) Potongan Membujur Balok (SNI 03-2847-2002 dan ACI 318) .....	16
Gambar 2.5 Rute Evakuasi Dengan <i>Skybridge</i> (Wood, 2005) .....	24
Gambar 2.6 Contoh <i>Public Skybridge</i> : (a) <i>Skybridge</i> Bandara Palembang dan (b) <i>Skybridge</i> Terminal Tirtonadi .....	26
Gambar 2.7 Contoh <i>Private Skybridge</i> : (a) <i>Skybridge</i> Marina Bay (b) <i>Skybridge</i> American Copper Buildings .....	27
Gambar 2.8 Contoh <i>Attached Skybridge</i> (a) <i>Petronas Twin Tower</i> (Abada, 2004) dan (b) <i>Linked Hybrid</i> . .....	29
Gambar 2.9 Ilustrasi tipe-tipe koneksi <i>skybridge</i> (McCall, 2013).....	32
Gambar 2.10 Tumpuan Rol (Ishak, 2014) .....	33
Gambar 2.11 <i>Petronas Tower</i> (Abada, 2004) dan <i>Nina Tower</i> (Toronto, 2009) .....	34
Gambar 2.12 <i>Pinnacle Duxton</i> (Engineers 2010) dan <i>The Linked Hybrid</i> (Holl 2009).....	35
Gambar 2.13 <i>Highlight Towers</i> (Architectism 2011) dan <i>The National</i> <i>Congress Complex of Brasilia</i> (Zimbres 2006) .....	36

Gambar 2.14 <i>Bahrain World Trade Center</i> dan <i>Sky Habitat</i> (Haklar 2009) ..	37
Gambar 2.15 Tumpuan Sendi (Ishak, 2014) .....	38
Gambar 2.16 <i>Island Tower Sky Club</i> (Wikipedia 2010).....	39
Gambar 2.17 <i>Umeda Sky Building</i> (WikiArquitectura (2010)).....	40
Gambar 2.18 Tumpuan kaku (Ishak, 2014) .....	40
Gambar 2.19 <i>The Shanghai World Financial Center (SWFC)</i> dan <i>Kingdom Centere</i> .....	41
Gambar 2.20 <i>The Shanghai International Design Center</i> (Lu 2009) dan <i>The Gate of the Orient</i> (SkyscraperCity 2013) .....	42
Gambar 2.21 <i>The China Central Television Headquarters</i> (Luong and Kwok 2012) .....	43
Gambar 2.22 <i>The Arch</i> (Wikipedia 2013) .....	43
Gambar 2.23 Koefisien Cpf dengan rasio L/B (a) $0 < L/B < 1$ (b) $L/B = 2$ (c) $L/B > 4$ (Taranath, 2004) .....	51
Gambar 2.24 Koefisien Cpf dengan rasio L/B (a) $0 < L/B < 1$ (b) $L/B = 2$ (c) $L/B > 4$ (Taranath, 2004) .....	52
Gambar 2.25 $S_s$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko- Tersesuaikan (MCER), Paramater Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 0,2 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB .....	58
Gambar 2.26 $S_1$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko- Tersesuaikan (MCER), Paramater Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 1 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB .....	58

Gambar 2.27 Spektrum Respons Desain (SNI-1726-2012) .....	68
Gambar 2.28 Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI-1726-2012) .....	72
Gambar 2.29 (a) Balok sebelum terjadi deformasi (b) Balok dalam konfigurasi terdeformasi <i>(<a href="http://bambangpurwantana.staff.ugm.ac.id/KekuatanBahan">http://bambangpurwantana.staff.ugm.ac.id/KekuatanBahan</a>)</i> ..	73
Gambar 2.30 Kerangka Fikir .....	79
Gambar 3.1 Model Bangunan .....	82
Gambar 3.2 Variasi Posisi Skybridge .....	83
Gambar 3.3 Kurva Spektrum Gempa di Makassar ( <i><a href="http://puskim.pu.go.id">http://puskim.pu.go.id</a></i> ) ..	88
Gambar 3.4 Rekam Gempa Kobe (Arah-X dan Arah-Y) .....	89
Gambar 3.5 Rekam Gempa Tabas (Arah-X dan Arah-Y) .....	89
Gambar 3.6 Rekam Gempa Chi-Chi (Arah-X dan Arah-Y).....	89
Gambar 3.7 Alur Penelitian.....	90
Gambar 4.1 Grafik <i>Displacement</i> Bangunan dengan Variasi Tumpuan T1 pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	94
Gambar 4.2 Grafik <i>Displacement</i> Bangunan dengan Variasi Tumpuan T2 pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	95
Gambar 4.3 Grafik <i>Displacement</i> Bangunan dengan Variasi Tumpuan T3 pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	97
Gambar 4.4 Grafik <i>Displacement</i> Bangunan dengan Variasi Tumpuan T4 pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	98
Gambar 4.5 Grafik <i>Displacement</i> Bangunan dengan Variasi Tumpuan T5 pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	99

Gambar 4.6 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T6	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	101
Gambar 4.7 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T7	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	102
Gambar 4.8 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T8	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	103
Gambar 4.9 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T9	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	105
Gambar 4.10 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T10	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	106
Gambar 4.11 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T11	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	107
Gambar 4.12 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T12	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	108
Gambar 4.13 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T13	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	109
Gambar 4.14 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T14	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	110
Gambar 4.15 Grafik Displacement Bangunan dengan Variasi Tumpuan T15	
pada Variasi Posisi (a) P1 dan (b) P2 .....	111

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Makassar adalah ibu kota Sulawesi Selatan sekaligus kota terbesar di Indonesia Timur. Posisi Makassar yang strategis menjadikan banyak investor tertarik membangun gedung tinggi. Makassar kini memiliki 40 gedung tinggi diatas 12 lantai dan 35 gedung tinggi berkisar antara 7-11 lantai. Selain itu, terdapat 17 gedung tinggi (12-35 lantai) yang berada dalam tahap pembangunan serta 28 gedung tinggi yang masih dalam tahap proposal (*Skyscrapercity Forum Indonesia, 2020*).

Untuk mempermudah aksesibilitas antar gedung-gedung tinggi, diperlukan sarana penghubung berupa Jembatan penghubung (*skybridge*). Jembatan penghubung (*Skybridge*) adalah salah satu jenis jembatan pejalan kaki tertutup yang menghubungkan antara dua bangunan atau lebih di area padat penduduk. Jembatan penghubung (*skybridge*) dibuat tertutup agar melindungi pejalan dari cuaca yang tidak mendukung. Tujuan pembangunan jembatan penghubung (*skybridge*) adalah untuk efektivitas waktu dan kenyamanan pejalan kaki untuk berpindah dari gedung satu ke gedung lainnya (<http://eprints.umm.ac.id/46292/3/BAB%20II.pdf>).

Menurut Kaharuddin (2011) lokasi-lokasi atau titik gempa pada umumnya bergenerasi pada daerah persinggungan dan perpotongan patahan atau daerah tumbukan lempeng, dimana pada daerah ini lempeng-lempeng bumi saling berinteraksi dan saling menghalang-halangi laju pergerakannya, sehingga dapat menampung dan melepaskan energi dalam bentuk gempa bumi.

Berdasarkan hal tersebut, daerah yang berpotensi terjadi gempa salah satunya adalah kota Makassar. Adapun kestabilan suatu gedung akan meningkat terhadap suatu guncangan (gempa) jika terhubung oleh gedung lainnya dibandingkan jika hanya berdiri sendiri (Toshihiko Kimura, 1993).

Dalam perencanaan struktur jembatan penghubung (*skybridge*), diperlukan studi mengenai pemilihan jenis tumpuan yang efektif pada jembatan penghubung tersebut. Hal ini juga disebutkan McCall (2013), perlu dilakukan analisis bangunan tinggi dengan jembatan penghubung (*skybridge*) bertumpuan sendi dan membandingkan hasilnya jika jembatan tersebut bertumpuan rol serta bangunan tinggi yang tidak dihubungkan oleh jembatan penghubung (*skybridge*).

Semakin banyaknya bangunan berlantai banyak di Makassar serta masih kurangnya penelitian mengenai jenis tumpuan yang efektif pada jembatan penghubung adalah yang melatarbelakangi penelitian yang berjudul “*Pengaruh Jenis Tumpuan Jembatan Penghubung (Skybridge) Terhadap Kestabilan Struktur Bangunan Berlantai Banyak*”. Kestabilan struktur meliputi nilai *displacement* bangunan. Penelitian ini diharapkan mampu berkontribusi dalam proses perencanaan serta perancangan Jembatan Penghubung (*Skybridge*) pada bangunan berlantai banyak.

## B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh kestabilan struktur bangunan berlantai banyak yang dihubungkan jembatan penghubung (*skybridge*) pada variasi jenis tumpuan rol, sendi, dan kaku.

2. Bagaimana pengaruh kestabilan struktur bangunan berlantai banyak yang dihubungkan jembatan penghubung (*skybridge*) pada dua variasi posisi jembatan penghubung (*skybridge*).

#### C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh kestabilan struktur bangunan berlantai banyak yang dihubungkan jembatan penghubung (*skybridge*) dengan variasi jenis tumpuan rol, sendi, dan kaku.
2. Mengetahui pengaruh kestabilan struktur bangunan berlantai banyak yang dihubungkan jembatan penghubung (*skybridge*) pada dua variasi posisi jembatan penghubung (*skybridge*).

#### D. Ruang Lingkup Penelitian

1. Pengaruh kestabilan struktur yang ditinjau pada variasi tumpuan maupun posisi jembatan penghubung (*skybridge*) adalah perbandingan nilai *displacement* bangunan.
2. Gedung yang ditinjau adalah 2 gedung identik dengan material utama beton bertulang. Kedua gedung berjumlah 50 lantai.
3. Jumlah jembatan penghubung (*skybridge*) yang menghubungkan kedua gedung berjumlah 2 yang berada pada posisi vertikal yang berbeda.
4. Peraturan pembebanan yang digunakan adalah pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung SKBI-1. 3.53.1987 UDC: 624.042.
5. Peraturan beton yang digunakan tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung SNI 03-2847-2002.

6. Peraturan gempa yang digunakan adalah tata cara perencanaan ketahanan Gempa Bangunan Gedung SNI 03-1726-2012.
7. Struktur bangunan dianalisis dengan program *ETABS*.
8. Analisis yang digunakan adalah analisis dinamis *Time linear History*.

#### E. Sistematika Penulisan

BAB I : Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan

BAB II : Tinjauan pustaka, berisi uraian teori mengenai Sistem Struktur Gedung, Beton Bertulang, Elemen Struktur, Jembatan Penghubung (*skybridge*), Jenis-Jenis Jembatan Penghubung (*skybridge*), Tipe Tumpuan antara Jembatan Penghubung (*skybridge*) dan Gedung, Pembebanan Struktur, Analisis Dinamik Gempa, Simpangan Antar Lantai, Defleksi, Keaslian Penelitian, dan Kerangka Fikir.

BAB III : Metodologi penelitian, berisi uraian mengenai Jenis Penelitian, Instrumen Penelitian, Variabel Penelitian, Tahap Pengumpulan Data, Tahap Pemodelan Struktur, Tahap Pembebanan Struktur, Tahap Analisis, Perbandingan Hasil Analisis, dan Alur Penelitian

BAB IV : Hasil dan pembahasan, berisi uraian mengenai hasil analisis yang telah dilakukan serta pembahasan dari hasil analisis tersebut.

BAB V : Kesimpulan dan saran, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

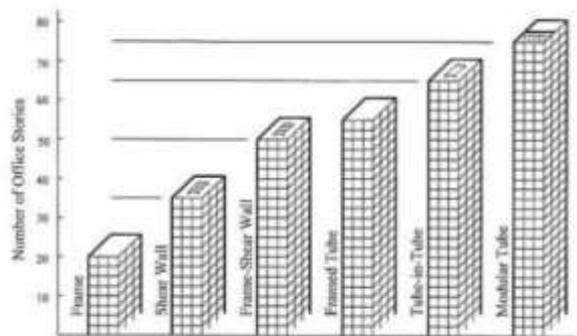
### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Sistem Struktur Gedung

Sistem struktur dari suatu bangunan, merupakan kumpulan dan kombinasi berbagai elemen struktur yang dihubungkan dan disusun secara teratur, baik secara *discrete* maupun menerus yang membentuk suatu totalitas kesatuan struktur. Sistem struktur pada bangunan tinggi dirancang dan dipersiapkan agar mampu:

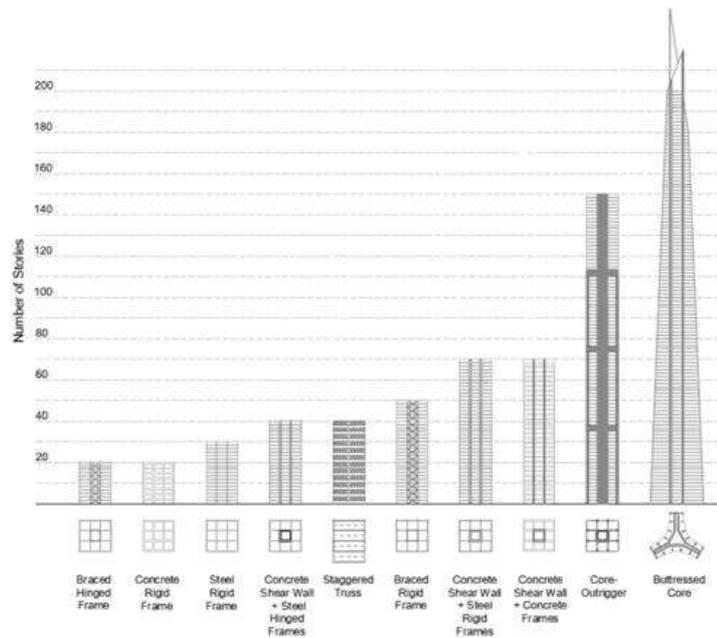
- Memikul beban vertikal baik statik maupun dinamik
- Memikul beban horizontal, baik akibat angin maupun gempa
- Menahan berbagai tegangan yang diakibatkan oleh pengaruh temperatur dan *shrinkage*.
- Menahan external dan internal blast dan beban kejut (*impact loads*).
- Mengantisipasi pengaruh *vibrations dan fatigue*

Gambar 2.1 adalah gambaran umum sebagai "rough rule of thumb" yang menggambarkan secara global hubungan antara sistem rangka struktur dan jumlah tingkat bangunan dan gambar berikutnya khusus untuk struktur beton bertulang pada gedung kantor (*office building*).

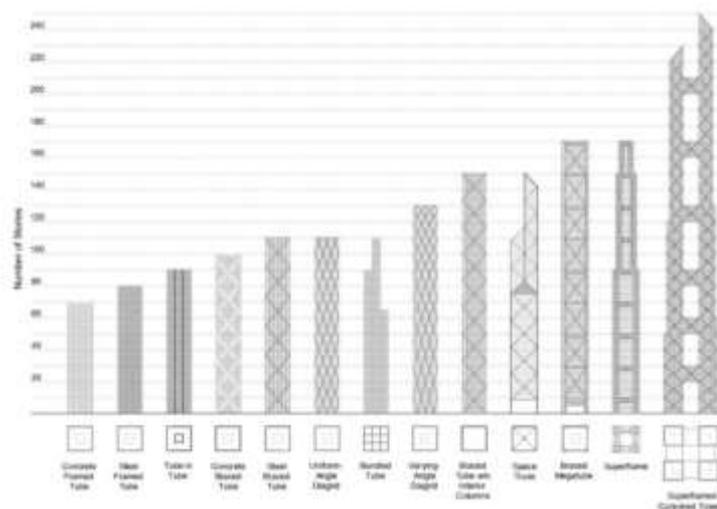


Gambar 2.1 Sistem struktur pada gedung kantor (Khan, 1969)

Gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan grafik antara ketinggian efektif suatu bangunan berdasarkan sistem struktur tertentu. Grafik tersebut dibagi dua jenis, yaitu struktur bangunan yang tidak terekspos (Struktur Interior) dan yang terekspos (Struktur Eksterior).



(a)



(b)

Gambar 2.2 Berbagai Jenis Sistem Struktur Bangunan Gedung: (a) Struktur Interior (b) Struktur Eksterior (Ali, 2018)

Sistem struktur Gedung yang digunakan adalah rangka kaku dan inti. Rangka kaku akan bereaksi terhadap beban lateral. Terutama melalui lentur balok dan kolom. Perilaku demikian berakibat ayunan (*drift*) lateral yang besar sehingga pada bangunan dengan ketinggian tertentu. Akan tetapi apabila dilengkapi dengan struktur inti, maka ketahanan lateral bangunan akan sangat meningkat karena interaksi inti dan rangka. Sistem inti ini memuat sistem-sistem mekanis dan transportasi vertikal.

#### B. Beton Bertulang

Beton merupakan suatu komposit atau campuran dari beberapa bahan batu- batuan berupa agregat (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen, dapat dikatakan bahwa semen merupakan bahan pengikat antara agregat halus dan kasar (Sagel.R., P. Kole, dan Gideon Kusuma., 1997). Sebagai material komposit sifat beton sangat tergantung pada sifat unsur masing-masing serta interaksi dari perencanaan yang baik, pemilihan dan pengadaan masing-masing material yang baik, proses penanganan dan proses produksinya. Ketiga sistem tersebut dapat pula dipandang sebagai model komposit dengan 2 fase, yaitu fase matriks dan fase terurai. Kadang kala beton masih ditambah lagi dengan bahan pembantu (*admixture*) untuk mengubah sifat-sifatnya ketika masih berupa beton segar (*fresh concrete*) atau beton keras (Paul Nugraha dan Antoni, 2007).

Menurut Tri Mulyono, beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan

(bahan- bahan penyusun beton) memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing- masing komponen. Nawy, 1985 mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Beton mempunyai kuat tekan yang besar sementara kuat tariknya kecil. Oleh karena itu untuk struktur bangunan, beton selalu dikombinasikan dengan tulangan baja untuk memperoleh kinerja yang tinggi.

Beton sering digunakan dalam pekerjaan teknik sipil karena memiliki banyak kelebihan diantaranya tahan terhadap serangan api, tahan terhadap serangan korosi, mudah dibentuk, mampu memikul beban yang berat dengan umur rencana yang lama dibandingkan dengan perkerasan lentur, dan juga biaya pemeliharaan yang relatif kecil (Tri Mulyono, 2005).

Beton menurut DPU – LPBM dalam SK SNI T – 15 – 1990-30:1 mendefinisikan beton sebagai campuran antara lain semen Portland (PC) atau semen hidrolik; agregat halus (pasir) ; agregat kasar (koral/split) dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

#### 1. Mutu Beton

Mutu beton merupakan klasifikasi kegunaan beton itu sendiri yang terdiri dari beberapa karakteristik juga menyatakan kekuatan tekan luas bidang permukaan. Adapun klasifikasi mutu beton berdasarkan kuat tekannya yaitu sebagai berikut:

- a. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap

mutu bahan-bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu kelas I dinyatakan dengan B0.

- b. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar B1, K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan- bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.
- c. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

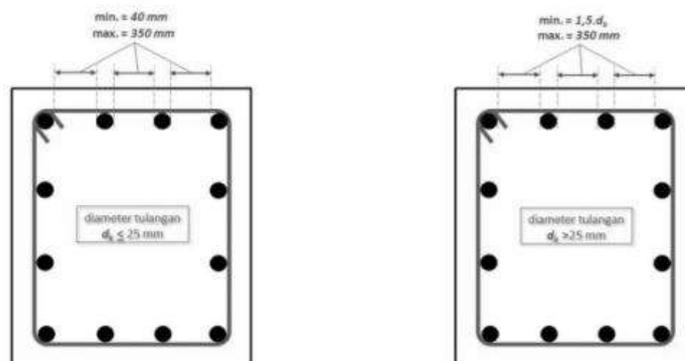
Tabel 2.1. Kuat Tekan Beton (SNI 03-6468-2000)

Jenis Beton	Mutu Beton	Kuat Tekan (MPa)
Mutu Rendah	K-225	18
Mutu Sedang	K-250	20
	K-275	22
	K-300	24
	K-350	28
	K-400	32
	K-450	36

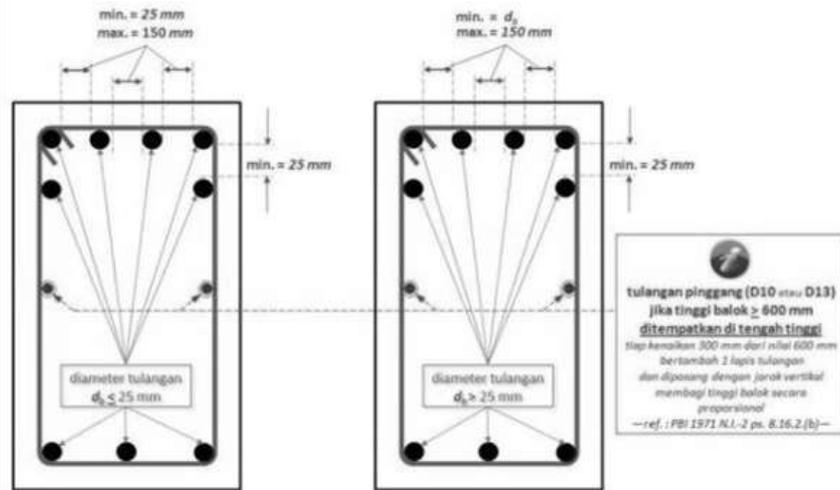
Jenis Beton	Mutu Beton	Kuat Tekan (MPa)
	K-500	40
Mutu Tinggi	K-700	58
	K-900	75

## 2. Tulangan

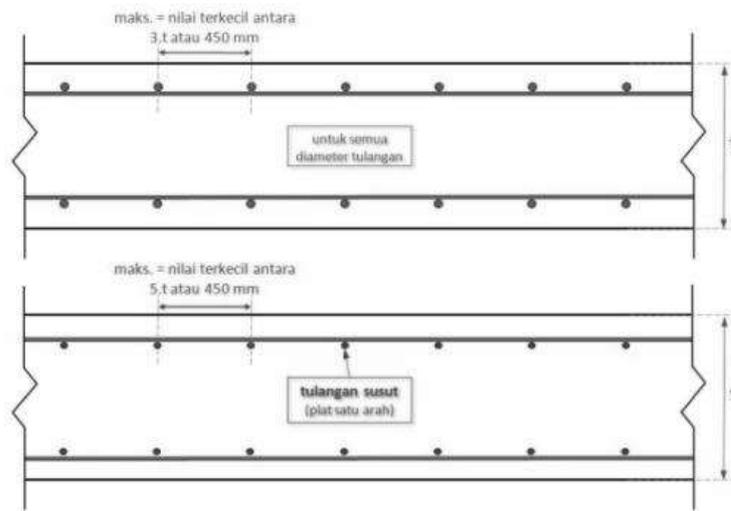
Tulangan baja, yang biasanya berupa batang baja bulat, diletakkan di dalam beton, khususnya di daerah tarik, untuk memikul gaya tarik yang timbul dari beban eksternal yang bekerja pada struktur beton. Tulangan memanjang yang diletakkan dalam beton, dan berfungsi memikul gaya tarik ataupun tekan yang terjadi, dinamakan sebagai tulangan utama. Pada elemen pelat, terkadang diberikan tulangan dalam arah tegak lurus tulangan utama yang disebut sebagai tulangan sekunder, atau tulangan pembagi. Pada elemen balok, terdapat tulangan dalam arah melintang dari tulangan utama, yang berfungsi untuk memikul gaya geser, tulangan ini disebut dengan tulangan geser atau tulangan Senggang. Ukuran diameter tulangan baja tersedia di lapangan mulai dari diameter 6 mm, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 29, 32 hingga 50 mm. Mutu dari baja tulangan ditentukan berdasarkan kuat lelehnya.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.3 Jarak Tulangan Pada (a) Balok (b) Kolom dan (c) Plat Lantai (SNI 03-2847-2002 dan ACI 318)

Berdasarkan SNI (dalam Wahyudi, 1999), digunakan simbol D untuk menyatakan diameter tulangan ulir. Sebagai contoh, D-10 dan D-19 menunjukkan tulangan ulir berdiameter 10 mm dan 19 mm. Tulangan

ini tersedia mulai dari diameter 10 hingga 32 mm, meskipun ada juga yang lebih besar, tetapi umumnya diperoleh melalui pesanan khusus.

Bedasarkan ketentuan SNI T-15-1991-03 pasal 3.5 (dalam Wahyudi, 1999: 33) baja tulangan ulir lebih diutamakan pemakaiannya untuk batang tulangan. Salah satu tujuan dari ketentuan ini adalah agar struktur beton bertulang tersebut memiliki keandalan terhadap efek gempa, Karena antara lain terdapat lekatan yang lebih baik antara beton dengan tulangnya. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh baja tulangan ulir menurut L. Wahyudi (1999:3) antara lain:

- a. Mutu dan cara uji harus sesuai dengan SII-0136-86 atau ekuivalen JLS. G. 3112
- b. Baja tulangan ulir mempunyai kuat leleh lebih besar dari 400 KN/cm<sup>2</sup> boleh dipakai asalkan  $f_y$  adalah tegangan yang memberikan regangan 0,30 %.
- c. Baja tulangan beton yang dianyam harus memilih ASTM AIG4 “*Spesification For Fabricated Deform Steel Bar Mats For Concrete Reinforcement*”.

Tabel 2.2. Dimensi Tulangan Ulir (SNI T-15-1991-03)

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Keliling (cm)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )
10	0,67	3,14	0,785
13	1,04	4,08	1,33
16	1,58	5,02	2,01
19	2,23	5,96	2,84
22	2,98	6,91	3,80
25	3,85	7,85	4,91

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Keliling (cm)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )
32	6,31	10,05	8,04
36	7,99	11,30	10,20
40	9,87	12,56	12,60

Adapun rasio minimum tulangan vertikal dan horizontal terhadap luas bruto beton sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 14.3, disyaratkan:

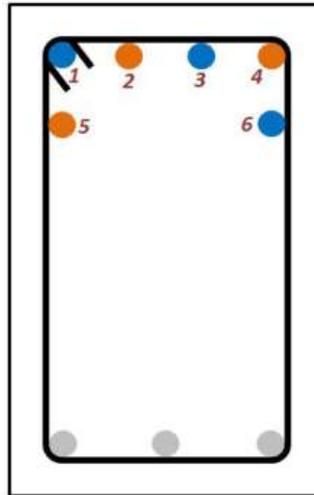
- a. Rasio minimum untuk luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton haruslah:
  - 1) 0,0012 untuk batang ulir  $\leq$  D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan  $> 420$  Mpa.
  - 2) 0,0015 untuk batang ulir lainnya.
  - 3) 0,0012 untuk tulangan kawat las  $< \phi 16$  atau D16.
- b. Rasio minimum untuk luas tulangan horisontal terhadap luas bruto beton haruslah:
  - 1) 0,0020 untuk batang ulir  $\leq$  D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan  $> 420$  Mpa.
  - 2) 0,0025 untuk batang ulir lainnya.
  - 3) 0,0020 untuk jaring kawat baja las (polos atau ulir)  $< \phi 16$  atau D16.

Sambungan lewatan dilakukan untuk elemen struktur yang panjang dan menerus sehingga tulangan yang dipasang memerlukan penyambungan -- di samping ada pula sambungan mekanis, namun

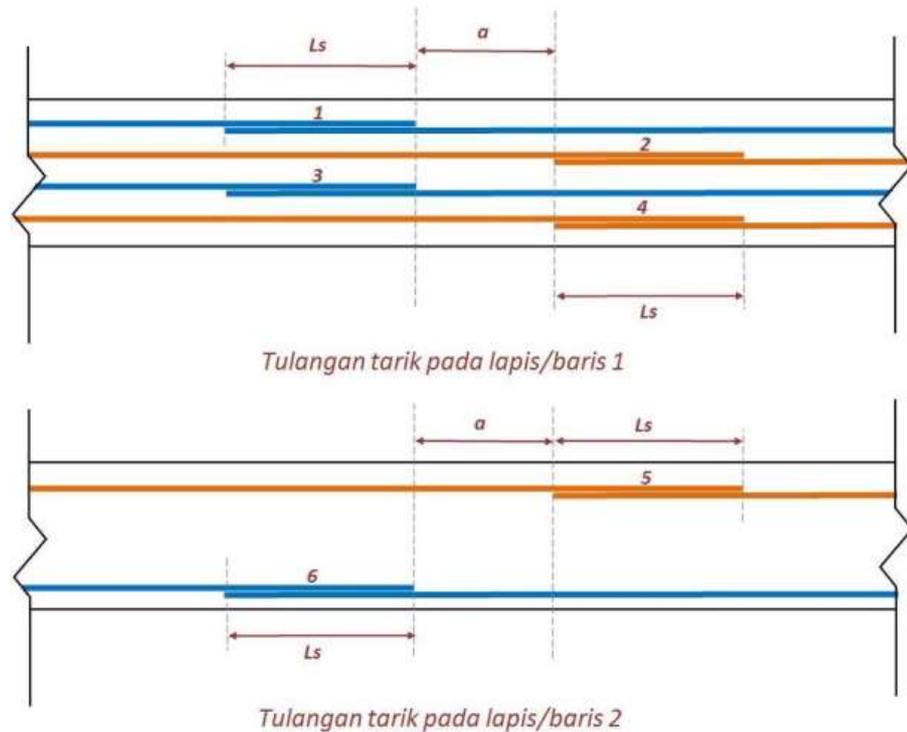
sambungan lewatan adalah jenis sambungan yang paling umum dilakukan dalam pelaksanaan di lapangan

Sambungan lewatan untuk kondisi tarik, dibagi 2 kelas yaitu: sambungan kelas A dan sambungan kelas B. Sambungan kelas A diperbolehkan apabila dipenuhi seluruhnya dari dua kondisi berikut ini:

- a. luas tulangan terpasang tidak kurang dari 2 kali luas tulangan perlu dalam analisis pada keseluruhan panjang sambungan. Contohnya pada daerah sambungan diperlukan tulangan untuk menahan momen (pada umumnya tulangan tarik) adalah sebanyak 3 buah tulangan dan yang masih terpasang atau diteruskan di dalam daerah penampang tersebut min. 6 tulangan, maka dapat dinyatakan memenuhi satu syarat ini
- b. paling banyak 50% dari jumlah tulangan yang disambung dalam daerah panjang lewatan perlu. apabila dalam satu penampang pada posisi daerah yang akan disambung ada 6 buah tulangan dan yang disambung hanya maksimal 3 tulangan sedangkan yang minimal 3 sisanya menerus (sambungan untuk 3 tulangan yang lain di luar daerah sambungan lewatan perlu 3 tulangan yang disambung) maka dapat dinyatakan memenuhi satu syarat ini sambungan yang ditempatkan berselang seling dapat dianggap di luar daerah panjang lewatan perlu jika ditempatkan pada jarak antara sambungan yang tidak segaris, yaitu  $a_{\min} = L_d$  (PBI N.I.-2 pasal 8.12.2.b memberikan nilai  $a_{\min} = 40 \text{ db}$ )



(a)



(b)

Gambar 2.4 Syarat Sambungan Kelas A: (a)Potongan Melintang Balok dan (b)Potongan Membujur Balok (SNI 03-2847-2002 dan ACI 318)

Apabila tidak dipenuhi dua kondisi tersebut maka harus dimasukkan sebagai sambungan kelas B. Panjang minimum sambungan lewatan tarik (ps. 14.15.(1-2) SNI-03-2847-2002):

- a. Sambungan kelas A:  $L_s \text{ min} = 1,0 L_d$  dan tidak kurang dari 300 mm
- b. Sambungan kelas B:  $L_s \text{ min} = 1,3 L_d$  dan tidak kurang dari 300 mm

Perhitungan  $L_d$  mengikuti ketentuan yang dapat dilihat pada bagian Penyaluran Tulangan Tanpa Kait dengan menghitung nilainya tanpa faktor modifikasi. Panjang minimum sambungan lewatan tekan (ps. 14.16.(1-2) SNI-03-2847-2002):

- a. Untuk  $f_y < 400 \text{ MPa}$ :  $L_s \text{ min} = 0,07 \cdot f_y \cdot db$
- b. Untuk  $f_y > 400 \text{ MPa}$ :  $L_s \text{ min} = (0,13 \cdot f_y - 24) \cdot db$

Dimana  $db$  adalah diameter nominal tulangan yang disambung, jika terdapat perbedaan diameter tulangan nominal maka diambil nilai terbesar

### C. Elemen Struktur

Elemen struktur utama yang terdapat dalam suatu bangunan adalah kolom, balok, dan dinding geser.

#### 1. Kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013 Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi

lateral terkecil. Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Menurut SNI 2847-2013 ada empat ketentuan terkait perhitungan kolom:

- a. Kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimum dari momen terhadap beban aksial juga harus diperhitungkan.
- b. Pada konstruksi rangka atau struktur menerus pengaruh dari adanya beban tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar atau dalam harus diperhitungkan. Demikian pula pengaruh dari beban eksentris.
- c. Dalam menghitung momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung-ujung terjauh kolom dapat dianggap jepit, selama ujung-ujung tersebut menyatu (monolite) dengan komponen struktur lainnya.
- d. Momen-momen yang bekerja pada setiap level lantai atau atap harus didistribusikan pada kolom di atas dan di bawah lantai tersebut berdasarkan kekakuan relative kolom dengan juga memperhatikan kondisi kekekangan pada ujung kolom.

## 2. Balok

Balok beton adalah bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen

lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser.

Menurut Prof Widodo dalam buku “Analisis Tegangan Regangan” beton memiliki sifat rangka yang terjadi pada beton yang dibebani secara tetap dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu pada balok beton dikenal istilah shortterm (*immediate*) deflection dan long-term deflection yang membuat lendutan. Lendutan adalah fungsi dari kekakuan yaitu perkalian antara modulus elastisitas beton  $E_c$  dengan inersia penampang  $I$ . lendutan itu harus dibatasi, karena berkaitan dengan kenyamanan dan seni dalam arsitektur.

SNI beton 2013 dengan tegas menyebut dalam butir 9.5 terhadap Kontrol lendutan. Balok beton bisa retak ketika menahan momen lentur. Sewaktu serat bawah tertarik (momen positif), beton sebenarnya bisa menahan tegangan Tarik tersebut, tetapi tegangan tarik sangat kecil. Perilaku keruntuhan yang dominan pada struktur balok pada umumnya adalah lentur, tentu saja itu akan terjadi jika resio bentang ( $L$ ) dan tinggi balok ( $h$ ) cukup besar. Jika rasionya kecil maka digolongkan sebagai balok tinggi (*deep beam*) keruntuhan geser dominan.

### 3. Dinding Geser

Dinding struktural yang umum digunakan pada gedung tinggi adalah dinding geser kantilever dan dinding geser berangkai. Berdasarkan SNI 03-1726-2012, pengertian dinding geser beton bertulang kantilever adalah suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa

rencana, yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur (bukan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis pada kakinya, yang nilai momen lelehnya dapat mengalami peningkatan terbatas akibat pengerasan regangan (faktor kuat lebih bahan). Dinding geser kantilever termasuk dalam kelompok flexural wall, yaitu dinding geser yang rasio antara tinggi dan panjangnya tidak boleh kurang dari 2 dan dimensi panjangnya tidak boleh kurang dari 1,5 meter.

Dalam praktiknya, dinding geser selalu dihubungkan dengan sistem rangka pemikul momen pada gedung. Berdasarkan SNI 03-1726-2012, kerja sama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser (sistem ganda) merupakan suatu keadaan khusus dengan dua struktur yang berbeda sifatnya digabungkan sehingga diperoleh suatu struktur yang lebih kuat dan ekonomis. Dinding geser mempunyai kekakuan yang baik karena mampu meredam deformasi lateral akibat gempa sehingga kerusakan struktur dapat dihindari. Pemasangan dinding geser pada struktur utama sebaiknya simetris. Hal ini dilakukan karena pemasangan dinding geser yang tidak simetris dapat menimbulkan terjadinya rotasi pada mode-mode awal struktur sehingga berbahaya bagi keamanan dan kenyamanan pengguna gedung. Dinding geser berfungsi menambah kekakuan struktur sehingga kinerja struktur bangunan secara keseluruhan juga dapat meningkat.

Dinding geser didefinisikan sebagai komponen struktur vertikal yang relatif sangat kaku. Dinding geser pada umumnya hanya boleh mempunyai bukaan sekitar 5% agar tidak mengurangi kekakuannya.

Bangunan beton bertulang yang tinggi sering didesain dengan dinding geser untuk menahan gempa. Dinding geser bisa digunakan untuk menahan gaya lateral saja maupun sebagai dinding pendukung. Penempatan dinding geser dapat dilakukan pada sisi luar bangunan atau pada pusat bangunan. Dinding geser yang ditempatkan pada bagian dalam bangunan biasanya disebut dengan inti struktural (*structural core/corewall*) yang biasa digunakan untuk ruang lift dan tangga.

Struktur *core wall* yang bisa dijumpai dalam aplikasi konstruksi bangunan tinggi dewasa ini ada bermacam-macam. Antara lain adalah bentuk  $\Delta$ , O, atau *core wall* dua cell dengan pengaku di tengahnya berbentuk  $\square$ . Dari masing-masing bentuk *core wall* ini, 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.

Dari segi konstruksi pembuatannya, *core wall* tersebut dapat dibuat berupa struktur konstruksi baja, konstruksi beton bertulang ataupun juga komposit. Dari konstruksi bahan tersebut, struktur *core wall* dapat bersifat massif. Namun terjadinya pelemahan struktur *core wall* itu juga terkadang tak dapat dihindari dalam pelaksanaan konstruksi bangunan, seperti pelubangan struktur *core wall* untuk ruang pintu, kisi udara, dan lain-lain.

Tetapi dalam proses perencanaan dan perancangan suatu bangunan, adanya pelemahan struktur *core wall* tersebut sudah diperhitungkan tidak akan menimbulkan masalah, dengan memberikan solusi teknik yang tepat dan sesuai. Penggunaan material beton bertulang dalam pembuatan *core wall* akan memberikan keuntungan berupa kekakuan lateral yang diperoleh cukup tinggi, oleh karena konstruksi beton bertulang mempunyai karakteristik kuat tekan yang tinggi. Oleh sebab itu *core wall* dengan konstruksi beton bertulang ini akan sesuai untuk diaplikasikan pada struktur-struktur gantung. Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, penempatan struktur *core wall* ini dalam aplikasi konstruksi bangunan, dapat ditempatkan pada posisi tengah bangunan, dapat juga di posisi pinggir bangunan, atau bahkan di luar bangunan yang direncanakan sebagai bagian struktur bangunan yang berguna untuk mendukung fungsi utilitas bangunan (ruang lift, ruang shaft).

#### D. Pengertian Jembatan Penghubung (*skybridge*)

Jembatan Penghubung (*skybridge*) atau yang lebih mudah disebut jembatan udara atau jembatan langit adalah salah satu jenis jembatan yang memiliki fungsi seperti jembatan pada umumnya. Yaitu sebagai lintasan untuk memperpendek jarak dengan menyeberangi suatu rintangan tanpa menutup rintangan itu sendiri. Perbedaan dengan jembatan biasanya terletak pada rintangan yang akan dilewati. Jembatan Penghubung (*skybridge*) melewati rintangan jarak dan ketinggian dari suatu gedung ke gedung lainnya yang saling berdekatan.

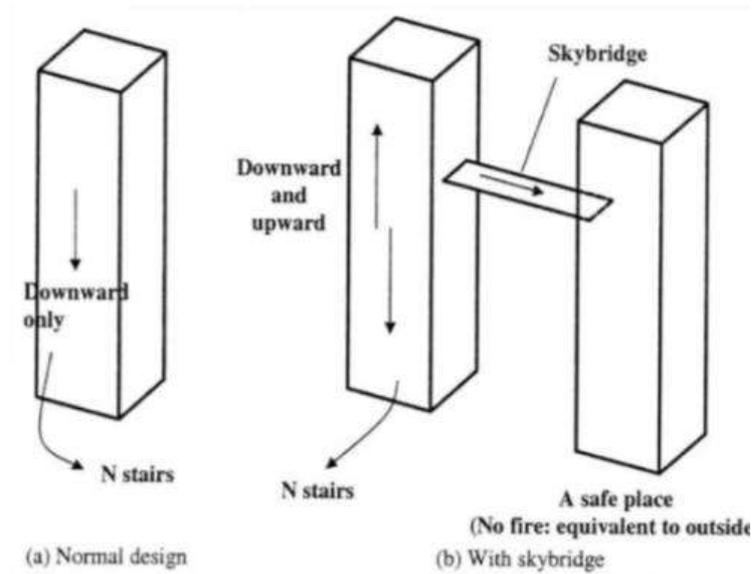
Jembatan Penghubung (*skybridge*) adalah salah satu jenis jembatan pejalan kaki tertutup yang menghubungkan antara dua bangunan atau lebih di area padat penduduk. *Skybridge* dibuat tertutup agar melindungi pejalan dari cuaca yang tidak mendukung. Tujuan pembangunan *skybridge* adalah untuk efektivitas waktu dan kenyamanan pejalan kaki untuk berpindah dari gedung satu ke gedung lainnya.

Terlihat beberapa arsitek mendesain jembatan penghubung (*skybridge*) untuk bangunan - bangunan pencakar langit yang terkenal di dunia. Bangunan pencakar langit seperti *InTempo* di Spanyol dan *Petronas Twin Tower* di Malaysia adalah salah satu contoh jembatan penghubung (*skybridge*) yang merubah pandangan dari jembatan pejalan biasa menjadi sebuah ikon pemandangan yang tidak ada duanya.

Arsitek terkenal dunia mendesain *skybridge* melebihi ekspektasi yang pernah dibayangkan oleh manusia sebelumnya. *Skybridge* didesain menjadi tempat fasilitas umum maupun sebuah ruangan yang akan dijual. Fasilitas – fasilitas tersebut antara lain taman bermain terbuka, kolam renang, *gym*, *restaurant* dan lainnya. Untuk beberapa *skybridge* memiliki ruangan hotel atau appartement yang memiliki harga sangat tinggi.

Selain untuk menstabilkan bangunan, salah satu kelebihan *skybridge* adalah dapat digunakan sebagai rute evakuasi ketika gedung dalam kebakaran atau bahaya seperti terorisme. Dengan *skybridge* rute evakuasi yang biasanya hanya tangga darurat sekarang dapat melalui rute evakuasi *skybridge*. *Skybridge* memungkinkan pengguna gedung berpindah ke gedung lainnya

yang lebih aman. Hal ini meningkatkan tingkat keamanan gedung terutama bagi orang yang ada di lantai atas.



Gambar 2.5 Rute Evakuasi Dengan *Skybridge* (Wood, 2005)

#### E. Jenis-Jenis Jembatan Penghubung (*skybridge*)

Jenis – jenis Jembatan Penghubung (*skybridge*) secara umum dapat dibagi menjadi tiga. Yaitu dapat dilihat dari kepemilikannya, dari penyaluran beban - beban yang di terimanya dan dari tipe strukturnya.

##### 1. Jembatan Penghubung (*skybridge*) Dilihat dari Kepemilikan

Kepemilikan *skybridge* ditinjau dari siapa pihak yang membuat dan mengelola *skybridge*. Kepemilikan dari *skybridge* akan menentukan fungsi atau kegunaan dari *skybridge* tersebut.

##### a. *Public Skybridge*

*Skybridge* jenis ini adalah *skybridge* yang dapat diakses secara bebas oleh banyak masarakat. Pada public *skybridge* siapapun dapat mengakses baik gedung yang dihubungkan maupun *skybridge*

tersebut. Sesuai dengan namanya, *public skybridge* digunakan sebagai fasilitas umum yang bertujuan untuk kemudahan masyarakat untuk berpindah tempat dari bangunan satu ke bangunan lain. Salah satunya adalah Skybridge Bandara Palembang dan Skybridge Terminal Tirtonadi Solo.



(a)



(b)

Gambar 2.6 Contoh *Public Skybridge*: (a) Skybridge Bandara Palembang dan (b) Skybridge Terminal Tirtonadi

*Public skybridge* biasanya terletak pada bangunan – bangunan atau fasilitas umum milik pemerintah maupun swasta. *Public skybridge* sebagian besar dibangun dan dikelola oleh pemerintah. Pemerintah membangun *skybridge* pada fasilitas – fasilitas umum seperti bandara, terminal, stasiun, rumah sakit dan fasilitas umum lainnya yang pada umumnya gedung yang dihubungkan dikelola pula oleh pemerintah. Selain fasilitas umum, *public skybridge* juga dibangun oleh pemerintah yang menghubungkan lebih dari dua gedung baik milik pemerintah atau swasta untuk mengurangi kemacetan.

b. *Private Skybridge*

*Private skybridge* dikelola oleh instansi atau perusahaan tertentu yang mengelola sebagian atau seluruh gedung yang dihubungkan. Akses *skybridge* terbatas pada pengguna gedung yang dihubungkan atau atas izin pengelola *skybridge*.

*Private skybridge* biasanya tidak hanya sebagai akses penyebrangan pejalan kaki. Pada apartemen dan hotel ternama dunia, *skybridge* digunakan sebagai ikon dari bangunan dan tempat yang menyajikan pemandangan yang indah. Beberapa appartement dan hotel ternama didunia membuat kamar – kamar mewah pada *skybridge* dan memberi *skybridge* fasilitas – fasilitas mewah seperti kolam renang, café, gym dan restaurant. Seperti pada *Petronas Tower Twin Tower* di Malaysia yang menjadikan *skybridge* sebagai destinasi wisata.



(a)



(b)

Gambar 2.7 Contoh *Private skybridge*: (a) Skybridge Marina Bay

(b) Skybridge American Copper Buildings

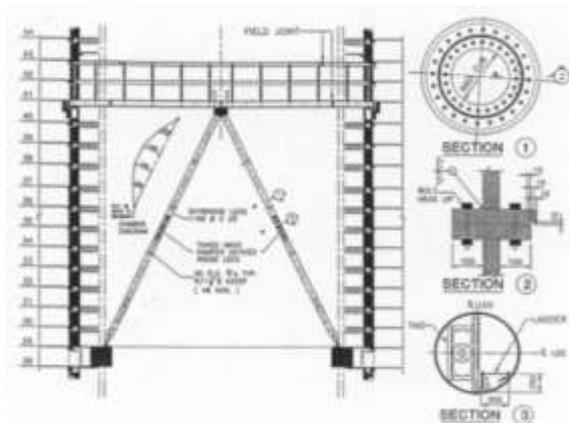
## 2. Jembatan Penghubung (*skybridge*) Dilihat dari Penyaluran Beban

*Skybridge* sebagai sebuah struktur tentunya menerima beban – beban yang akan di salurkan menuju bagian struktur lain sampai menuju pondasi. Penyaluran beban dari *skybridge* tersebut harus di desain sesuai dengan kebutuhan gedung yang akan dihubungkan dan kondisi lapangan.

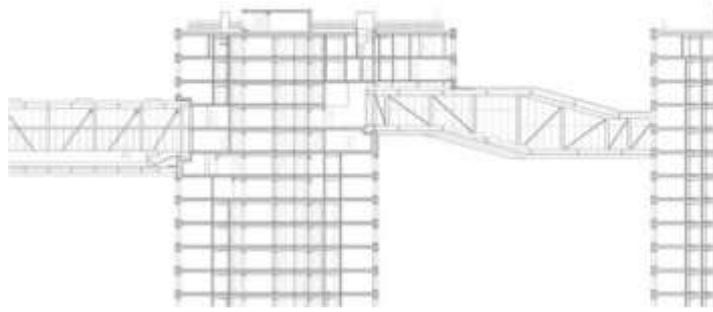
### a. *Attached Skybridge*

Struktur dari *attached skybridge* terikat dengan struktur gedung yang dihubungkan. Beban dari *skybridge* sepenuhnya akan dipikul oleh struktur gedung. Maka dari itu beban – beban yang diterima oleh struktur *skybridge* akan di salurkan menuju struktur dari gedung yang dihubungkan. Struktur dari gedung tersebut dapat berupa corbel, balok, kolom atau *shearwall* yang nantinya akan menyalurkan beban sampai ke pondasi gedung.

*Skybridge* yang terikat pada gedung atau *attached skybridge* digunakan dalam beberapa kondisi tertentu. Salah satu kondisi tersebut adalah elevasi struktur *skybridge* dari muka tanah cukup tinggi. Semisal *skybridge* yang terletak pada tengah ketinggian atau atap dari gedung pencakar langit yang akan dihubungkan. Kondisi yang lain yaitu apabila kondisi dibawah *skybridge* tidak memungkinkan untuk dibuat pilar penyangga seperti *skybridge* yang terletak di atas jalan raya. Salah satu contoh dari *attached skybridge* adalah *Petronas Twin Tower* di Malaysia dan *Linked Hybrid* di China.



(a)



(b)

Gambar 2.8 Contoh *Attached Skybridge* (a) *Petronas Twin Tower*

(Abada, 2004) dan (b) *Linked Hybrid*

#### b. *Independent Structure Skybridge*

*Independent Structure Skybridge* adalah *skybridge* dimana struktur dari *skybridge* berdiri sendiri tanpa terikat dengan gedung yang dihubungkan. *Skybridge* jenis ini dapat memikul sendiri seluruh beban yang diterimanya. Ciri utama *independent structure skybridge* adalah adanya pilar penyangga *skybridge*. Pilar tersebut yang akan menyalurkan beban dari struktur *skybridge* menuju pondasi dari *skybridge*.

Struktur dari *independent structure skybridge* sepenuhnya terpisah dengan struktur gedung yang dihubungkan. Hal ini dikarenakan beberapa faktor, diantaranya adalah desain dari gedung yang akan dihubungkan tidak sanggup untuk memikul beban dari *skybridge*. Faktor yang lain adalah karena gedung yang akan dihubungkan sudah selesai dibangun. *Independent structure skybridge* umumnya berada di elevasi yang tidak terlalu tinggi dari muka tanah.

### c. *Semi-Independent Skybridge*

Pada skybridge jenis ini bisa dikatakan adalah gabungan dari attached skybridge dan independent structure skybridge dimana struktur skybridge terikat dengan gedung yang dihubungkan dan juga memiliki pilar penyangga skybridge. Beban – beban yang diterima skybridge di salurkan ke gedung yang dihubungkan maupun pilar penyangga yang berikutnya akan di salurkan sampai ke pondasi, baik pondasi dari gedung maupun pondasi pilar penyangga tersebut.

*Semi-independent skybridge* digunakan ketika jarak dari gedung yang akan dihubungkan cukup jauh sehingga menjadikan bentang dari *skybridge* tersebut besar. Skybridge jenis ini dapat pula digunakan ketika terjadi belokan pada *skybridge*. *Semi-independent skybridge* sering di jumpai pada bandara.

## 3. Skybridge Dilihat dari Tipe Struktur

### a. *Simple Beam*

*Simple Beam Skybridge* adalah tipe struktur yang paling sederhana dimana struktur skybridge hanya berupa balok horizontal yang di sangga oleh tiang penopang atau kolom di kedua ujung *skybridge*. Salah satu contoh adalah *Skybridge* Petronas Tower yang terdiri dari balok grider yang memiliki perletakan rol di kedua ujungnya dan perletakan sendi di tengah bentang.

### b. *Suspension Skybridge* (Jembatan Gantung)

Pada dasarnya *suspension skybridge* sama halnya seperti jembatan gantung pada umumnya. *Skybridge* di gantungkan

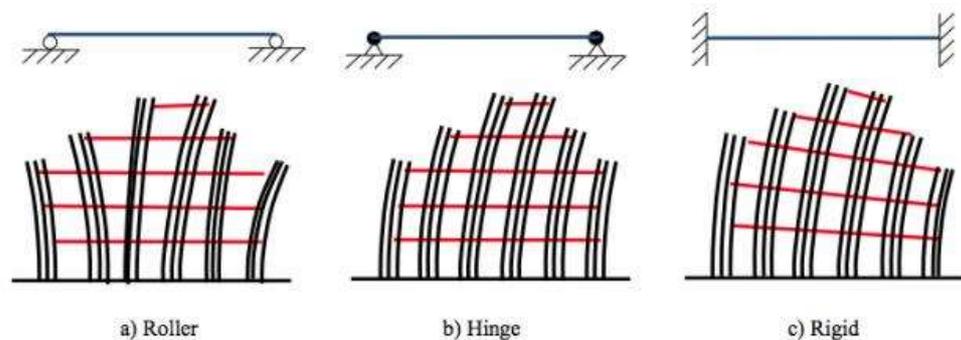
menggunakan kabel baja, kabel baja tersebut terhubung dengan pilar penyangga atau gedung yang dihubungkan oleh *skybridge*.

c. *Truss Skybridge* (Jembatan Rangka)

Struktur rangka *skybridge* adalah tipe struktur yang paling banyak di gunakan dalam perencanaan *skybridge*. Umumnya menggunakan bahan baja. Struktur rangka lebih efisien dalam pelaksanaan dan pekerjaan dari *skybridge*. Dari pemasangan yang mudah dan perawatan yang mudah.

F. Tipe Tumpuan antara Jembatan Penghubung (*skybridge*) dan Gedung

Tipe – tipe tumpuan antara *Skybridge* dan Gedung adalah *Roller-Connected Skybridge*, *Rigid-Connected Skybridge*, dan *Hinge-Connected Skybridge*.

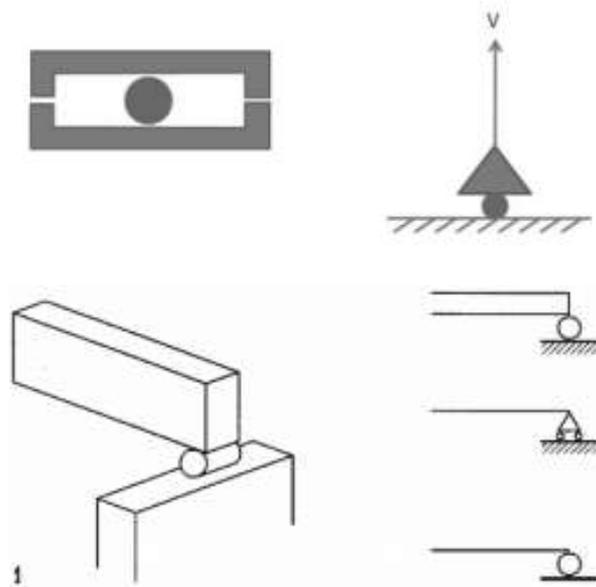


Gambar 2.9 Ilustrasi tipe-tipe koneksi *skybridge* (McCall, 2013)

1. *Roller-Connected Skybridge*

Dalam tipe koneksi ini, *main girder* atau girder induk dari *skybridge* terhubung dengan kedua gedung dengan bantalan rol (*roller bearings*). Hal tersebut membuat masing – masing gedung dapat bergoyang atau berputar sendiri secara terpisah. Adapun sifat dari tumpuan rol adalah sebagai berikut:

- a. Tidak dapat menahan gaya tarik dan tekan sembarang arah, hanya arah vertikal.
- b. Diproyeksikan atas reaksi vertikal.



Gambar 2.10 Tumpuan Rol (Ishak, 2014)

*Skybridge* dari Petronas Twin Tower di Malaysia adalah salah satu contoh dari *roller-connected skbridge*. Dua bangunan 88 lantai tersebut dihubungkan pada lantai 41 dengan skybridge.



Gambar 2.11 *Petronas Tower* (Abada, 2004) dan *Nina Tower* (Toronto, 2009)

*Nina Tower* di Hong Kong, Cina adalah dua Menara dengan tinggi 80 lantai dan 42 lantai dengan jembatan yang terhubung dengan tumpuan rol pada lantai ke-41. Menara yang lebih rendah diberi nama dari salah satu perusahaan swasta terbesar Hong Kong, Nina Wang dan menara tertinggi suami dari Nina Wang yaitu, Teddy Wang. Bersama-sama, kedua menara disebut sebagai Menara Nina.

*Pinnacle Duxton* di Singapura adalah kompleks perumahan tujuh menara 50 lantai, di mana setiap menara terhubung ke menara yang berdekatan di lantai 26 dan 50. (Ming et al. 2010). Skybridge di lantai 26 dicadangkan untuk penggunaan penghuni hanya sebagai jalan keluar darurat, jalur jogging, pusat kebugaran, gym luar ruangan, taman bermain anak, alun-alun komunitas, dan 2 dek observasi. Skybridge di lantai 50 terbuka untuk umum dan penduduk.



Gambar 2.12 *Pinnacle Duxton* (Engineers 2010) dan *The Linked Hybrid* (Holl 2009)

*The Linked Hybrid di Beijing*, Cina adalah sebuah kompleks berlantai 22 dengan delapan menara yang terhubung dengan *skybridge* di antara setiap bangunan. Skybridge berfungsi sebagai transportasi antara masing-masing menara tetapi di samping itu, masing-masing skybridge memiliki fungsi uniknya sendiri seperti kolam renang, ruang kebugaran, kafe, galeri, auditorium dan salon mini (Holl 2009). Jembatan adalah rangka baja yang ditempatkan pada isolator seismik "pendulum gesekan" khusus, yang memungkinkan jembatan untuk bergeser secara vertikal atau horizontal relatif terhadap bangunan lain (Nordenson 2010).

*Highlight Towers di Munich*, Jerman adalah kompleks menara kembar dengan menara dengan ketinggian yang berbeda-beda, dihubungkan dengan dua jembatan baja di lantai 9, 10 dan 20. (Emporis 2012).



Gambar 2.13 *Highlight Towers* (Architectism 2011) dan *The National Congress Complex of Brasilia* (Zimbres 2006)

*The National Congress Complex of Brasilia* di Brasil adalah bangunan modern pertama yang memiliki jembatan antara dua menara pada ketinggian di atas tanah (Wood 2003).

*Bahrain World Trade Center* adalah kompleks dua menara 50 lantai di Manama, Bahrain. Kedua menara dihubungkan dengan tiga skybridge yang masing-masing memiliki turbin angin, yang diharapkan memasok 11-15 persen dari total konsumsi daya menara (Haklar 2009).



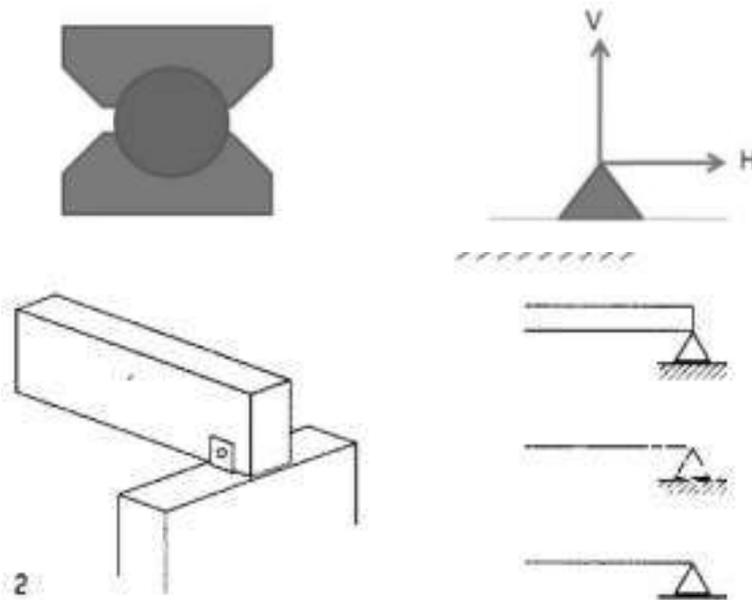
Gambar 2.14 *Bahrain World Trade Center* dan *Sky Habitat* (Haklar 2009)

*Sky Habitat* adalah kompleks apartemen dua menara di Singapura setinggi 38 lantai. Kedua menara ini terhubung dengan skybridge di berbagai tingkat di mana skybridge di lantai paling atas telah ditetapkan sebagai "Swimmable Skybridge" dan akan dibangun di atas Sky Habitat (Haklar 2009). Kolam renang di lantai paling atas memanjang dari skybridge, dari menara ke Menara.

## 2. *Hinge -Connected Skybridge*

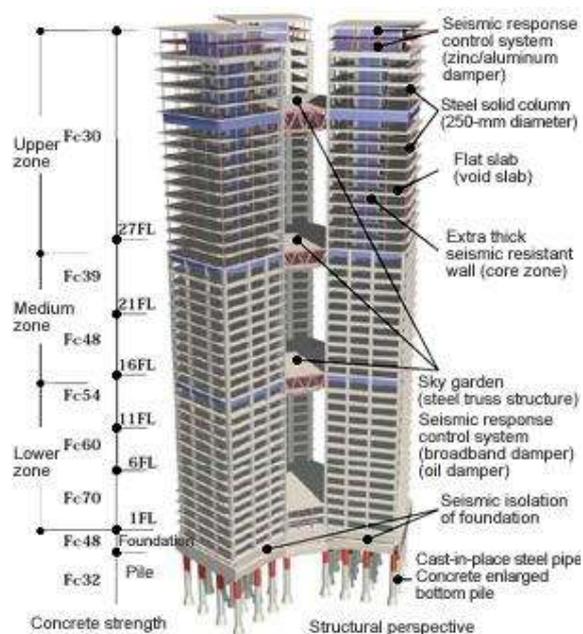
*Hinge-Connected Skybridge* memiliki perletakan sendi pada *skybridge*. Dalam tipe koneksi ini, *skybridge* membantu gedung dalam menambah kekakuan lateral akibat beban angin. Namun tipe koneksi ini memerlukan metode yang khusus dan memerlukan sebuah peredam (Damper) pada batang struktur *skybridge*. Agar mempermudah perencanaan, umumnya *skybridge* dengan tipe koneksi ini direncanakan pada tingkat paling atas dari gedung. Adapun sifat dari tumpuan sendi adalah sebagai berikut:

- a. Untuk menahan gaya tekan, tarik dengan arah sembarang, melalui pusat sendi.
- b. Tidak dapat menahan momen atau meneruskan momen.
- c. Diproyeksikan atas reaksi vertikal & horisontal.



Gambar 2.15 Tumpuan Sendi (Ishak, 2014)

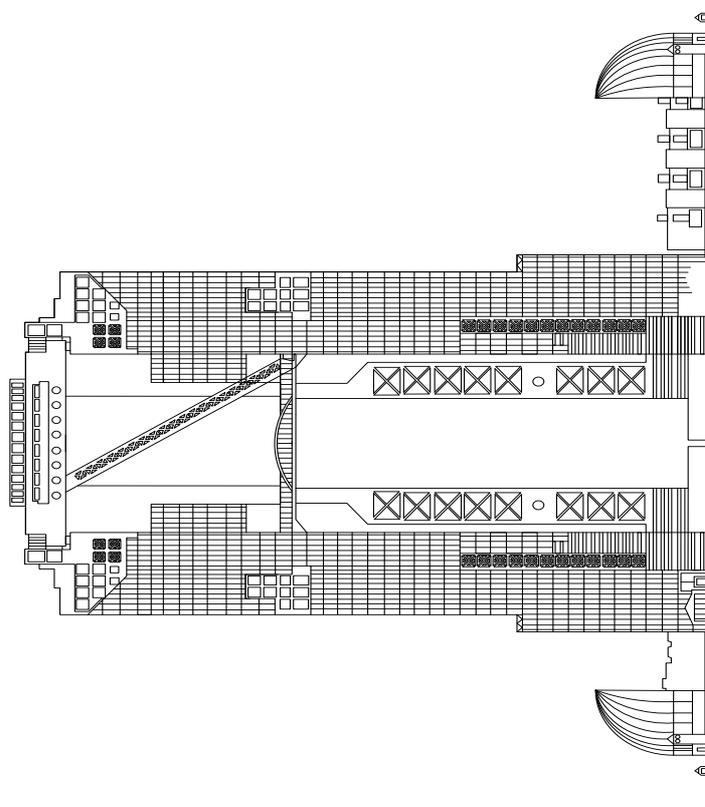
*Island Tower Sky Club* di Kota Fukuoka, Jepang adalah bangunan apartemen tiga menara berlantai 42 (Wikipedia 2010). Menara bangunan memiliki simetri rotasi tiga kali lipat. Menara-menara ini terhubung di lantai 15, 26 dan 37 oleh truss. Bagian bawah bangunan dirancang sebagai satu elemen struktural dengan fondasi kontinu. Masing-masing dari tiga menara memiliki dinding inti di tengah denah dengan kolom perimeter dan balok penghubung. Gulungan terhubung ke menara oleh peredam kontrol getaran yang mengurangi respons terhadap gaya lateral.



Gambar 2.16 *Island Tower Sky Club* (Wikipedia 2010)

*Skybridge* dibangun dari pelat beton yang didukung oleh rangka baja. Setiap menara dimodelkan sebagai model massa yang disatukan dengan pegas geser dan bengkok dalam dua arah horizontal. Skybridges dimodelkan untuk mengevaluasi efek peredam pada bangunan (Nishimura 2011).

*Umeda Sky Building* di Osaka, Jepang terdiri dari dua menara bertingkat 40 yang terhubung di lantai paling atas oleh platform atrium dengan lubang besar di tengahnya yang berfungsi sebagai dek observasi. Pembangunan menara diselesaikan terlebih dahulu, dan kemudian dek yang dirakit secara terpisah, diangkat ke tempatnya di bagian atas bangunan (WikiArquitectura 2010). Karena bentang yang panjang, perilaku skybridge lebih dekat ke sendi daripada kaku.



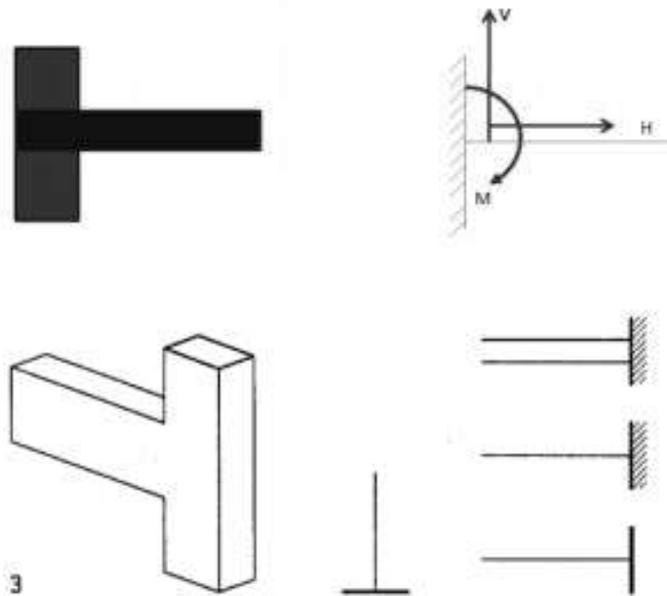
Gambar 2.17 *Umeda Sky Building* (WikiArquitectura (2010))

### 3. *Rigid-Connected Skybridge*

Struktur dari skybridge pada tipe ini menyatu dengan struktur gedung secara utuh. Sistem struktur skybridge secara keseluruhan menyatu dengan gedung. Karena struktur skybridge menyatu maka

skybridge mengikuti simpangan dari gedung ketika bergoyang atau berputar. Adapun sifat dari tumpuan kaku adalah sebagai berikut:

- a. Dapat menahan gaya tekan & tarik sembarang arah.
- b. Dapat meneruskan momen.
- c. Diproyeksikan atas reaksi vertikal, horisontal dan momen.



\Gambar 2.18 Tumpuan kaku (Ishak, 2014)

Skybridge dengan tipe ini dapat mengurangi simpangan dari gedung tetapi dalam perencanaannya memerlukan metode khusus, baik dalam merencanakan struktur skybridge maupun struktur gedung yang dihubungkan.

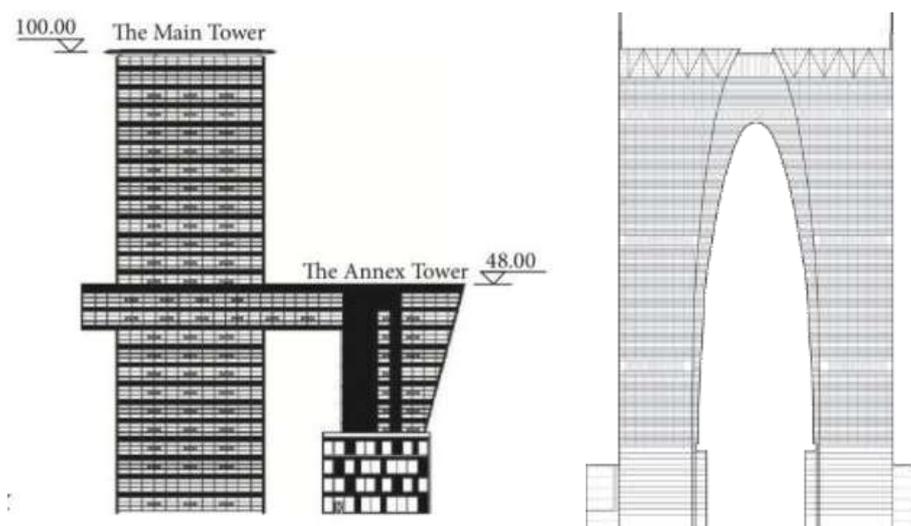
*The Shanghai World Financial Center (SWFC)* di Shanghai, Cina, dan *Kingdom Centere* di Riyadh, Arab Saudi. Keduanya merupakan gedung pencakar langit tunggal tetapi dengan skybridges di lantai paling atas. Skybridge ini sebenarnya tidak menghubungkan menara yang terpisah, melainkan dua bagian dari gedung yang sama dalam koneksi

yang kaku. Kedua bangunan memiliki dua jalan setapak tertinggi di dunia (Emporis 2008).



Gambar 2.19 *The Shanghai World Financial Center (SWFC)* dan *Kingdom Center*.

*The Shanghai International Design Center* di Shanghai, Cina, adalah bangunan yang terhubung dengan dua menara. Kedua menara ini memiliki ketinggian yang berbeda dan dihubungkan oleh skybridge truss yang dalam yang menghubungkan kedua bangunan menjadi satu di beberapa lantai. Skybridge truss yang dalam memaksa bangunan untuk bertindak serempak di bawah beban lateral (Lu 2009).



Gambar 2.20 *The Shanghai International Design Center* (Lu 2009) dan  
*The Gate of the Orient* (SkyscraperCity 2013)

*The Gate of the Orient* di Suzhou, Cina, menggabungkan lengkungan yang menghubungkan delapan lantai teratas dari dua menara, yang menyediakan transportasi untuk hotel dan apartemen pada cerita-cerita tersebut (Luong dan Kwok 2012).

*The China Central Television Headquarters* (CCTV) di Beijing, Cina, adalah contoh lain dari gedung-gedung tinggi yang terhubung tetapi "jembatan" penghubungnya dirancang jauh berbeda dari jembatan biasa. Ini menggabungkan sistem gabungan dari cantilevering overhang yang menghubungkan dua menara dengan sistem tabung diagrid kontinu eksternal, di mana kawat diagonal secara visual mengekspresikan pola gaya dalam struktur (Luong dan Kwok 2012).



Gambar 2.21 *The China Central Television Headquarters* (Luong and  
Kwok 2012)

*The Arch*, salah satu dari beberapa bangunan yang membentuk proyek komersial dan perumahan Union Square di Hong Kong, adalah gedung pencakar langit perumahan setinggi 81 lantai. Itu terdiri dari empat menara terpisah yang disebut menara Star, Sky, Sun dan Moon. Menara Matahari dan Bulan adalah terhubung pada lantai ke-69 dan di atasnya, yang membentuk lengkungan di bawah ini (Wikipedia 2013).



Gambar 2.22 *The Arch* (Wikipedia 2013)

#### G. Pembebanan Struktur

Beban yang bekerja dan diperhitungkan adalah beban vertikal dan beban horisontal. Beban horisontal dapat berupa beban angin dan beban gempa. Struktur portal direncanakan terhadap beban horisontal akibat beban gempa saja karena perencanaan struktur beton bertulang beban gempa lebih dominan dibandingkan beban angin. Beban vertikal meliputi beban mati dan beban hidup. Dari Analisa pembebanan inilah akan direncanakan untuk dapat menahan beban, sehingga konstruksi dapat digunakan dengan aman.

Beban merupakan gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur merupakan estimasi dan penentuan distribusi beban yang bekerja memerlukan asumsi dan pendekatan. Jika seluruh beban yang bekerja pada suatu struktur telah di estimasikan, maka selanjutnya yang harus dilakukan adalah menentukan kombinasi beban yang paling dominan bekerja pada struktur tersebut.

Skybridge merupakan salah satu struktur yang berfungsi koridor dari gedung, maka dari itu pembebanan di gunakan pembebanan gedung. Penentuan pembebanan pada proses perencanaan disesuaikan dengan peraturan SNI 1727-2013 mengenai Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Skybridge yang dibangun harus mampu menahan gaya-gaya beban luar yang bekerja. Pembebanan pada skybridge dibagi menjadi tiga, yakni beban mati, beban hidup dan beban angin.

#### 1. Beban Mati

Beban mati adalah beban yang tetap atau posisinya tidak berubah selama usia penggunaan bangunan. Biasanya beban mati merupakan berat sendiri dari suatu bangunan, sehingga dapat dihitung secara akurat berdasarkan ukuran, bentuk, dan berat jenis materialnya. Jadi, berat dinding, lantai, balok-balok, langit-langit, dan sebagainya dianggap sebagai beban mati.

Beban mati skybridge terdiri atas berat struktur rangka, berat sambungan mur- baut, dan berat sambungan pelat. Beban ini didasarkan berdasar berat jenis bahan, yakni bahan baja dengan berat jenis 7850

kg/m<sup>3</sup>. Berikutnya adalah plat jembatan yang direncanakan menggunakan beton dengan berat jenis 2320 kg/m<sup>3</sup>.

## 2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang disebabkan oleh aktivitas diatas bangunan. Aktivitas yang timbul diatas bangunan sebenarnya tak menentu, hal ini disebabkan oleh fungsi dari bangunan itu sendiri. Dalam bukunya Scheller (1989) menjelaskan beban yang disebabkan oleh isi benda-benda di dalam atau di atas suatu bangunan disebut bahan penghunian (occupancy load). Beban hidup rencana terdiri atas beban koridor perkantoran di atas lantai pertama sebesar 3.83 kn/m<sup>2</sup> atau setara dengan 400 kg/m<sup>2</sup>.

## 3. Beban Angin

Berdasarkan PPIUG 1983, Bab I pasal 1 ayat 3, beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

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

### a. Kecepatan Angin Dasar (V)

Berdasarkan pasal 26.5.1 pada SNI 1727-2013 mengenai kecepatan angin dasar, kecepatan angin dasar adalah kecepatan

tiupan angin dalam tiga detik pada ketinggian 33 ft(10m) di atas tanah. Kecepatan angin dasar yang digunakan dalam menentukan beban angin desain di bangunan gedung dan struktur lain harus ditentukan dari instansi yang berwenang, sesuai dengan kategori risiko bangunan gedung dan struktur. Data Badan Pusat Statistik Sulawesi Selatan (2014) mengenai rata-rata tekanan udara, kecepatan angin, dan penyinaran matahari di Kota Makassar ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Rata-Rata Kecepatan Angin di Kota Makassar pada Tahun 2013 (BPSSS, 2014)

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

b. Faktor Arah Angin (Kd)

Berdasarkan pasal 26.6 pada SNI 1727-2013 mengenai arah angin, faktor arah angin ditentukan berdasarkan Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin (Kd)
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0.85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0.85
Atap Lengkung	0.85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	0.90
Segiempat	0.95
Segienam	0.95
Bundar	
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0.85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0.85
Rangka batang Menara	
Segitiga, segiempat, persegi Panjang	0.85
Penampang lainnya	0.95

c. Kategori Eksposur

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

1) Kategori B

Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran dari tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar.

2) Kategori C

Dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.

3) Kategori D

Area datar, area tidak terhalang dan permukaan air. Kategori ini berisi lumpur halus, padang garam, dan es tak terputus.

d. Faktor Topografi (Kzt)

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

- 1) Bukit, bukit memanjang, atau tebing curam yang terisolasi dan tidak terhalang angin arah vertikal ke atas oleh pengaruh topografi serupa dari ketinggian yang setara untuk 100 kali tinggi fitur topografi (100H) atau 2 mil (3,22 km), dipilih yang

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

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

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

e. Faktor Efek Tiupan Angin (G)

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

f. Koefisien Tekanan Internal (Cpi)

Berdasarkan pasal 26.11 pada SNI 1727-2013 mengenai koefisien tekanan internal, koefisien tekanan internal ditentukan berdasarkan Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2.5. Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi Ketertutupan	Cpi
Bangunan gedung terbuka	0.00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0.55 - 0.55
Bangunan gedung tertutup	+ 0.18

Klasifikasi Ketertutupan	Cpi
	- 0.18

Catatan:

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

g. Koefisien Tekanan eksternal (Cpf)

Berdasarkan pasal 27.4.1 pada SNI 1727-2013 mengenai bangunan gedung kaku tertutup dan tertutup sebagian, koefisien tekanan eksternal ditentukan berdasarkan Tabel 2.6 berikut ini:

Tabel 2.6 Koefisien Tekanan Dinding, Cpf

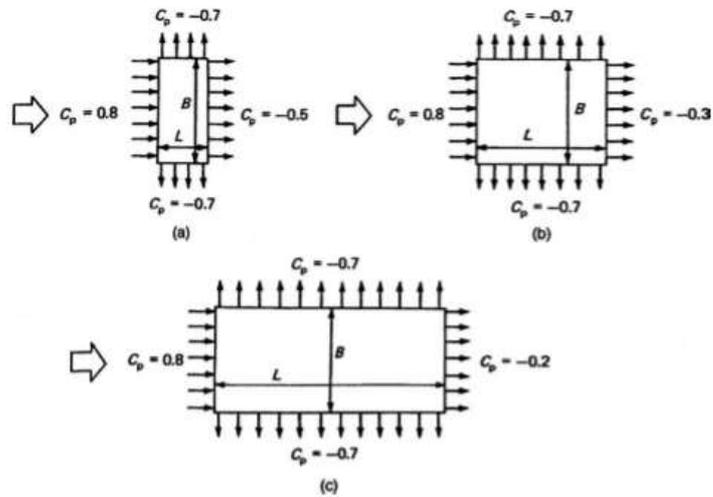
Permukaan	L/B	Cpf
Dinding di sisi angin datang	Seluruh Nilai	0.8
Dinding di sisi angin pergi	0-1	- 0.5
	2	- 0.3
	$\geq 4$	- 0.2
Dinding Tepi	Seluruh Nilai	- 0.7

Catatan:

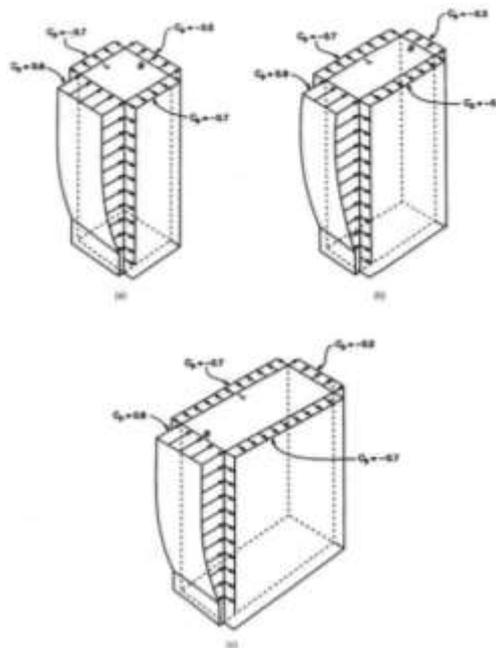
- 1) Tanda positif dan negatif menandakan tekanan yang bekerja menuju dan menjauhi permukaan.
- 2) Diperkenankan interpolasi linier untuk nilai L/B. Interpolasi hanya boleh dilakukan di antara nilai-nilai dengan tanda yang sama. Apabila nilai tidak memiliki tanda yang sama, asumsikan 0,0 untuk interpolasi.
- 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.



Gambar 2.23 Koefisien  $C_p$  dengan rasio  $L/B$  (a)  $0 < L/B < 1$  (b)  
 $L/B = 2$  (c)  $L/B > 4$  (Taranath, 2004)



Gambar 2.24 Koefisien  $C_p$  dengan rasio  $L/B$  (a)  $0 < L/B < 1$  (b)  
 $L/B = 2$  (c)  $L/B > 4$  (Taranath, 2004)

h. Koefisien Eksposur (Kz)

Berdasarkan pasal 27.3 pada SNI 1727-2013 mengenai tekanan velositas, koefisien eksposur harus ditentukan berdasarkan Tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.7. Koefisien Eksposur

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

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
ft	(m)	B	C	D
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

Catatan:

Interpolasi linear untuk nilai menengan tinggi z yang sesuai

#### 4. Beban Gempa

Dalam SNI 1726-2012 telah dijabarkan secara detail tahapan analisa gempa untuk bangunan gedung. Tahapan inilah yang akan menentukan aman atau tidaknya struktur tersebut ketika menerima beban gempa ditinjau dari simpangan horizontal yang dihasilkan dibandingkan dengan simpangan horizontal yang diijinkan. Analisa gempa pada bangunan gedung juga berfungsi untuk mengetahui apakah sistem struktur yang digunakan pada gedung tersebut mampu menahan beban lateral akibat gempa.

##### a. Faktor Keutamaan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didisain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.8. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya  
untuk Beban Gempa

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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bioskop</li> <li>2. Gedung pertemuan</li> <li>3. Stadion</li> <li>4. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>5. Fasilitas penitipan anak</li> <li>6. Penjara</li> <li>7. Bangunan untuk orang jompo</li> </ol> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>2. Fasilitas penanganan air</li> <li>3. Fasilitas penanganan limbah</li> <li>4. Pusat telekomunikasi</li> </ol> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan,</p>	

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bangunan-bangunan monumental</li> <li>2. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>3. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>4. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat</li> <li>5. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>6. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> </ol>	IV

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

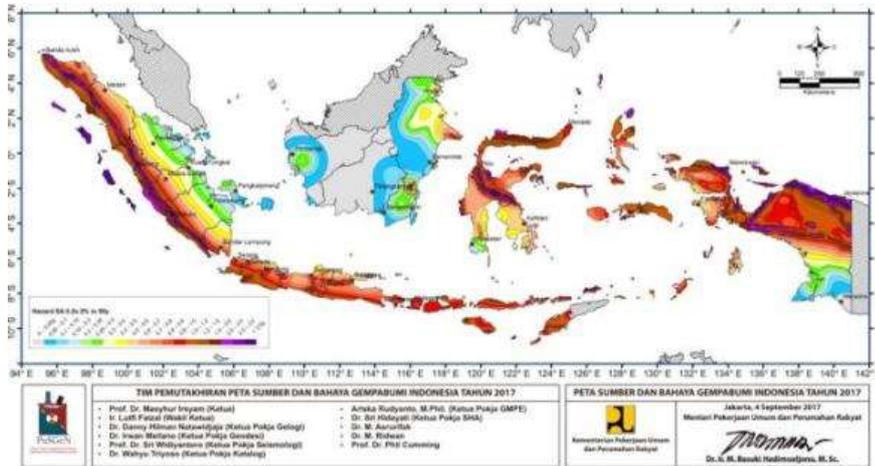
Tabel 2.9. Faktor Keutamaan Gempa

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

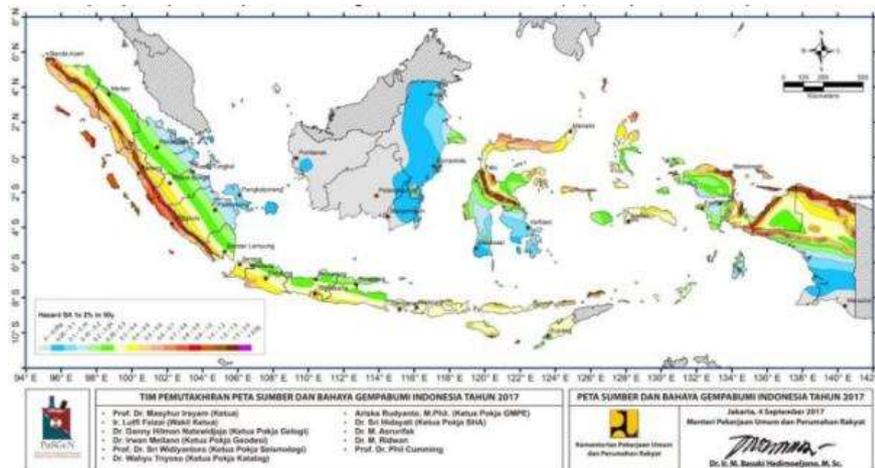
b. Nilai Spektral percepatan

Berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang disusun oleh Pusat Studi Gempa Nasional dan Pusat

Litbang Perumahan dan Permukiman, nilai spectral percepatan pada 0,2 detik ( $S_s$ ) dapat ditentukan berdasarkan gambar 2.1 dan spektral percepatan pada 1 detik ( $S_1$ ) pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.25  $S_s$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Paramater Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 0,2 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB.



Gambar 2.26  $S_1$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Paramater Gerak Tanah, untuk Percepatan Respons Spektral 1 detik, dalam g, (5 persen redaman kritis), Kelas Situs SB

c. Klasifikasi Situs

Berdasarkan pasal 5.3 pada SNI-1726-2012 mengenai prosedur klasifikasi situs untuk desan seismik, klasifikasi suatu situs dibagi menjadi 6 kelas situs seperti Tabel 2.10 dibawah ini:

Tabel 2.10 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$v$ (m/detik)	$N$	$s$
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	$\varnothing$ 50	$\geq$ 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15-50	50-100
SE (Tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas , $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40$ % dan 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (Tanah keras yang membutuhkan investigasi geoteknik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:		

Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti pasal 6.9.1)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah</li> <li>2. Lempung sangat organic dan atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3\text{m}</math>)</li> <li>3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5\text{ m}</math>) dengan indeks plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>4. Lapisan lempung lunak/ medium kaku dengan ketebalan <math>H &gt; 35\text{ m}</math> dengan <math>s_u &lt; 50\text{ kPa}</math></li> </ol>
--	--

d. Koefisien Situs

Berdasarkan pasal 6.2 pada SNI-1726-2012 mengenai koefisien-koefisien dan parameter-parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ), nilai koefisien situs ( $F_a$ ) dan koefisien situs ( $F_v$ ) dapat dilihat berdasarkan Tabel 2.11 dan Tabel 2.12 dibawah ini:

Tabel 2.11. Koefisien situs ( $F_a$ )

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$			
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8

SB	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.2	1.2	1.1	1.0
SD	1.6	1.4	1.2	1.1
SE	2.5	1.7	1.2	0.9

Keterangan: Untuk nilai-nilai antara S<sub>s</sub> dilakukan interpolasi linier

Tabel 2.12. koefisien situs (F<sub>v</sub>)

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE <sub>R</sub> terpetakan pada Periode 1 detik, S <sub>1</sub>				
	S <sub>1</sub> ≤ 0.1	S <sub>1</sub> = 0.2	S <sub>1</sub> = 0.3	S <sub>1</sub> = 0.4	S <sub>1</sub> ≥ 0.5
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	8.0
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

Keterangan: Untuk nilai-nilai antara S<sub>1</sub> dilakukan interpolasi linier

e. Parameter percepatan spektral desain

Berdasarkan pasal 6.3 pada SNI-1726-2012 mengenai parameter percepatan spectral desain, nilai S<sub>DS</sub> dan S<sub>DI</sub> ditentukan berdasarkan rumus berikut ini:

$$S_{MS} = S_s \times F_a$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

f. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan pasal 6.5 pada SNI-1726-2012 mengenai kategori desain seismik, struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori seismik yang mengikuti Tabel 2.13 dan Tabel 2.14 berikut ini:

Tabel 2.13. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Tabel 2.14. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

g. Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah Yang Berbeda

Berdasarkan pasal 7.2.2. pada SNI-1726-2012 mengenai kombinasi sistem perangkai dalam arah yang berbeda, system penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan,

untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila system yang berbeda digunakan, masing-masing nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_o$  harus dikenakan pada setiap system, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam lampiran.

Faktor Modifikasi Respons ( $R$ ) atau faktor reduksi beban gempa adalah suatu nilai yang mereduksi jumlah beban gempa berdasarkan tipe struktur yang direncanakan serta komponen struktur pendukung lainnya. Faktor kuat lebih ( $\Omega_o$ ) 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.

h. Koefisien Batas Atas Periode ( $C_u$ )

Berdasarkan pasal 7.8.2.1 pada SNI-1726-2012 mengenai Periode Fundamental Pendekatan, koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung ditentukan berdasarkan Tabel 2.15 berikut ini:

Tabel 2.15. Koefisien Batas Atas Periode ( $C_u$ )

Parameter respon percepatan 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

i. Nilai Parameter Periode Pendekatan

Berdasarkan pasal 7.8.2.1 pada SNI-1726-2012 mengenai Periode Fundamental Pendekatan, nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$  ditentukan berdasarkan Tabel 2.16 berikut ini:

Tabel 2.16. Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

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

## 5. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan pasal 4.2 pada SNI-1726-2012 mengenai kombinasi beban terfaktor dan beban layan, struktur bangunan gedung dan struktur lainnya harus dirancang menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan Kombinasi Beban untuk Metoda Ultimit atau Kombinasi Beban untuk Metoda Tegangan Ijin.

### a. Kombinasi Beban untuk Metoda Ultimit

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

- 1)  $1,4D$
- 2)  $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- 3)  $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- 4)  $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- 5)  $1,2D + 1,0E + L$
- 6)  $0,9D + 1,0W$
- 7)  $0,9D + 1,0E$

### b. Kombinasi Beban untuk Metoda Tegangan Ijin

Beban-beban di bawah ini harus ditinjau dengan kombinasi-kombinasi berikut untuk perencanaan struktur, komponen- elemen struktur dan elemen-elemen fondasi berdasarkan metoda tegangan ijin:

- 1)  $D$

- 2)  $D + L$
- 3)  $D + (L_r \text{ atau } R)$
- 4)  $D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
- 5)  $D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
- 6)  $D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$   
 $0,6D + 0,6W$
- 7)  $0,6D + 0,7E$

#### H. Analisis Dinamik Gempa

Analisis dinamik gempa untuk perancangan struktur bangunan tingkat tinggi tahan gempa dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis terdapat dua metode, yakni analisis ragam riwayat waktu (*time history modal analysis*) dan analisis ragam spektrum respon (*respons spectrum modal analysis*). Analisis ragam riwayat waktu memakai data rekaman percepatan gempa, sedangkan Analisis ragam spektrum respon menggunakan data spektrum respon rencana (*design spectra*) untuk mendapatkan respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi. Analisis dinamis elastis digunakan untuk mendapatkan respon struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*direct integration method*) (Booth 2014).

Analisis dinamik bertujuan 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 adalah

untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen. (Purnomo et al, 2014)

1. Analisis Ragam Spektrum Respon (*Respon Spectrum Modal Analysis*)

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

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

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

- 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:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan:

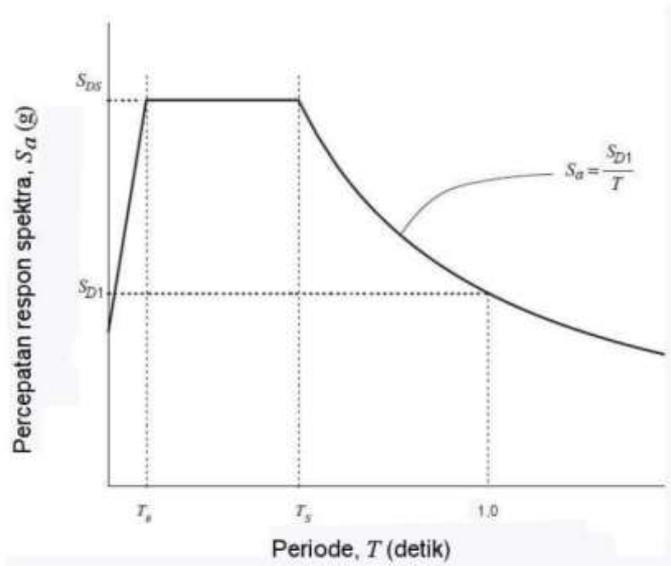
$S_{DS}$  = Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

$T$  = Periode Fundamental Struktur (s)

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

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



Gambar 2.27 Spektrum Respons Desain (SNI-1726-2012)

Berdasarkan pasal 12.6.3.3 pada SNI-1726-2012 mengenai prosedur spektrum respons, analisis spektrum respons harus dilakukan dengan menggunakan suatu nilai redaman ragam untuk ragam fundamental di arah yang ditinjau tidak lebih besar dari nilai yang terkecil dari redaman efektif sistem isolasi atau 30 persen redaman kritis. Nilai redaman ragam untuk ragam-ragam yang lebih tinggi harus dipilih konsisten dengan redaman yang sesuai untuk analisis spektrum respons struktur di atas sistem isolasi yang diasumsikan terjepir di dasarnya.

Analisis spektrum respons yang digunakan untuk menentukan perpindahan rencana total dan perpindahan maksimum total harus menyertakan model yang digetarkan bersamaan (simultan) oleh 100 persen gerak tanah di arah kritis dan 30 persen gerak tanah di arah tegak lurusnya, di arah horisontal. Perpindahan maksimum sistem isolasi harus dihitung sebagai penjumlahan vektor perpindahan ortogonal dari dua arah tersebut.

Gaya geser rencana di setiap tingkat tidak boleh kurang dari gaya geser tingkat yang dihitung dengan menggunakan suatu nilai  $V$ , yang sama dengan gaya geser dasar yang diperoleh dari analisis spektrum respons di arah yang ditinjau.

2. Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*)

Berdasarkan pasal 11.1.3.2 pada SNI-1726-2012 mengenai analisis tiga dimensi, apabila analisis tiga dimensi dilakukan maka gerak tanah harus terdiri dari sepasang komponen percepatan tanah horisontal yang sesuai, yang harus diseleksi dan diskalakan dari rekaman peristiwa gempa individual. Gerak tanah yang sesuai harus diseleksi dari peristiwa-peristiwa gempa yang memiliki magnitudo, jarak patahan, dan mekanisme sumber gempa yang konsisten dengan hal-hal yang mengontrol ketentuan gempa maksimum yang dipertimbangkan. Apabila jumlah pasangan rekaman gerak tanah yang disesuaikan tidak mencukupi maka harus digunakan pasangan gerak tanah buatan untuk menggenapi jumlah total yang dibutuhkan. Untuk setiap pasang komponen gerak tanah horisontal, suatu spektrum SRSS harus dibuat dengan mengambil nilai SRSS dari spektrum respons dengan 5 persen faktor redaman untuk komponen-komponen gerak tanah yang telah diskalakan (di mana faktor skala yang sama harus digunakan untuk setiap komponen dari suatu pasangan gerak tanah). Setiap pasang gerak-gerak tanah tersebut, harus diskalakan sedemikian rupa sehingga pada rentang periode dari  $0.2T$  hingga  $1.5T$ , nilai rata-rata spektrum SRSS dari semua pasang komponen

horizontal tidak boleh kurang dari nilai ordinat terkait pada spektrum respon yang digunakan dalam desain.

Berdasarkan pasal 12.3.2 pada SNI-1726-2012 mengenai riwayat gerak tanah, jika prosedur riwayat gempa digunakan, rekaman gerak tanah harus terdiri dari pasangan komponen-komponen percepatan gerak tanah horizontal yang sesuai.

Berdasarkan pasal 12.6.3.2 pada SNI-1726-2012 mengenai data gempa, gerak tanah gempa rencana harus digunakan untuk menghitung perpindahan rencana total sistem isolasi, dan gaya-gaya lateral serta perpindahan-perpindahan pada struktur dengan isolasi. Gempa maksimum yang dipertimbangkan harus digunakan untuk menghitung perpindahan maksimum total dari sistem isolasi.

Berdasarkan pasal 12.6.3.4 pada SNI-1726-2012 mengenai prosedur riwayat respons, jika prosedur riwayat respons dilakukan, tidak kurang dari 3 pasang gerak tanah yang sesuai harus digunakan dalam analisis, dan pasangan gerak tanah harus di pilih dan di skala sesuai dengan 12.3.2.

Setiap pasang komponen gerak tanah harus diterapkan secara bersamaan (simultan) pada model dengan mempertimbangkan lokasi massa dengan eksentrisitas yang paling tidak menguntungkan. Perpindahan maksimum sistem isolasi harus dihitung dari penjumlahan vektor perpindahan-perpindahan ortogonal dari dua arah pada setiap tahapan waktu.

Parameter-parameter terkait harus dihitung untuk setiap gerak tanah yang digunakan untuk analisis riwayat respons. Jika 7 pasang gerak tanah atau lebih digunakan untuk analisis riwayat respons, nilai rata-rata respons parameter yang terkait boleh digunakan untuk desain. Jika gerak tanah yang digunakan untuk analisis kurang dari 7 pasang. Maka nilai maksimum dari parameter respons yang terkait harus digunakan untuk desain.

#### I. Simpangan Antar Lantai

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

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

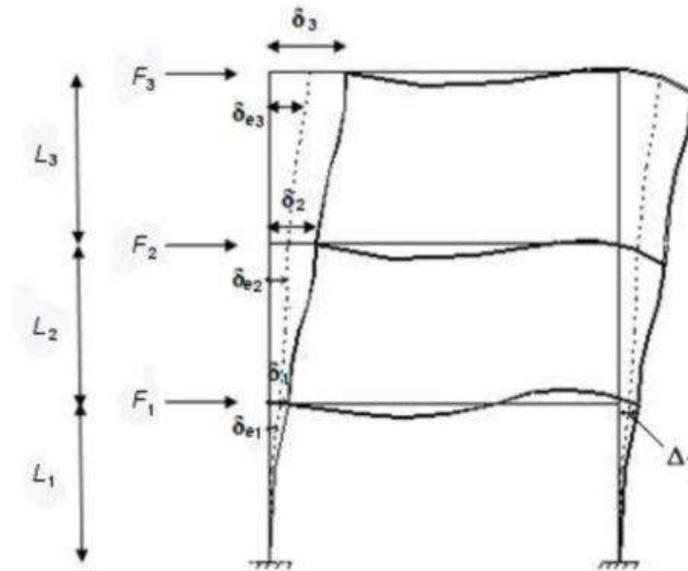
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan:

$C_d$  = Faktor Amplifikasi Defleksi

$\delta_{xe}$  = Defleksi Pada Lokasi Yang Disyaratkan

$I_e$  = Faktor Keutamaan Gempa



Gambar 2.28 Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI-1726-2012)

Tingkat 1

$F_1$  = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e1}$  = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_1$  =  $C_d \delta_{xe} / I_e$  = Perpindahan yang diperbesar

$\Delta_1$  =  $\delta_{e1} \leq \Delta_a$

$\delta_3$  = Perpindahan total

Tingkat 2

$F_2$  = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e2}$  = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_2$  =  $C_d \delta_{e2} / I_e$  = Perpindahan yang diperbesar

$\Delta_2$  =  $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$

Tingkat 3

$F_3$  = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

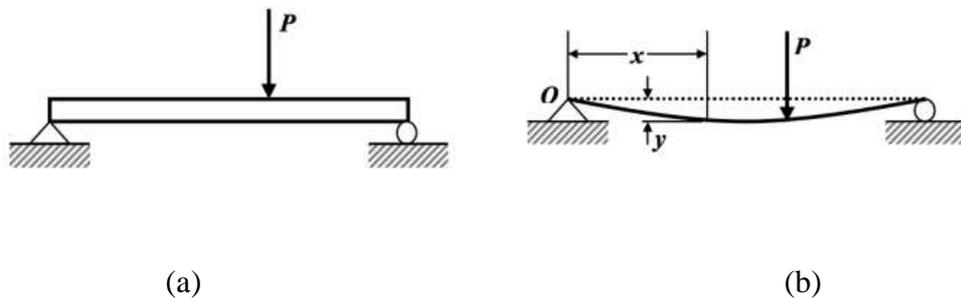
$\delta_{e3}$  = Perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_3$  =  $C_d \delta_{e3} / I_e$  = Perpindahan yang diperbesar

$\Delta_3$  =  $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_a$

#### J. Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. Gambar 2.29 (a) memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan Gambar 2.29 (b) adalah balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 2.29 (a) Balok sebelum terjadi deformasi (b) Balok dalam konfigurasi terdeformasi

(<http://bambangpurwantana.staff.ugm.ac.id/KekuatanBahan>)

Jarak perpindahan  $y$  didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai  $x$  disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (atau kurva elastis) dari balok. Sistem struktur yang di letakkan horizontal dan yang terutama di peruntukkan memikul beban lateral, yaitu beban yang bekerja tegak lurus sumbu aksial batang (Binsar Hariandja 1996). Beban semacam ini khususnya muncul sebagai beban gravitasi, seperti misalnya bobot sendiri, beban hidup vertikal, beban crane dan lain-lain. contoh sistem balok dapat di kemukakan antara lain, balok lantai gedung, gelagar jembatan, balok penyangga keran, dan sebagainya. Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan transversal baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi.

Unsur-unsur dari mesin haruslah cukup tegar untuk mencegah ketidakbarisan dan mempertahankan ketelitian terhadap pengaruh beban dalam gedung-gedung, balok lantai tidak dapat melentur secara berlebihan untuk meniadakan pengaruh psikologis yang tidak diinginkan para penghuni dan untuk memperkecil atau mencegah dengan bahan-bahan jadi yang rapuh. Begitu pun kekuatan mengenai karakteristik deformasi dari bangunan struktur

adalah paling penting untuk mempelajari getaran mesin seperti juga bangunan-bangunan stasioner dan penerbangan. dalam menjalankan fungsinya, balok meneruskan pengaruh beban gravitasi keperletakan terutama dengan mengandalakan aksi lentur, yang berkaitan dengan gaya berupa momen lentur dan geser. Kalaupun timbul aksi normal, itu terutama di timbulkan oleh beban luar yang relatif kecil, misalnya akibat gaya gesek rem kendaraan pada gelagar jembatan atau misalnya akibat perletakan yang di buat miring. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu:

a. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil

b. Besarnya kecil gaya yang diberikan

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin kecil

c. Jenis tumpuan yang diberikan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

d. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja (Binsar Hariandja 1996).

K. Keaslian Penelitian

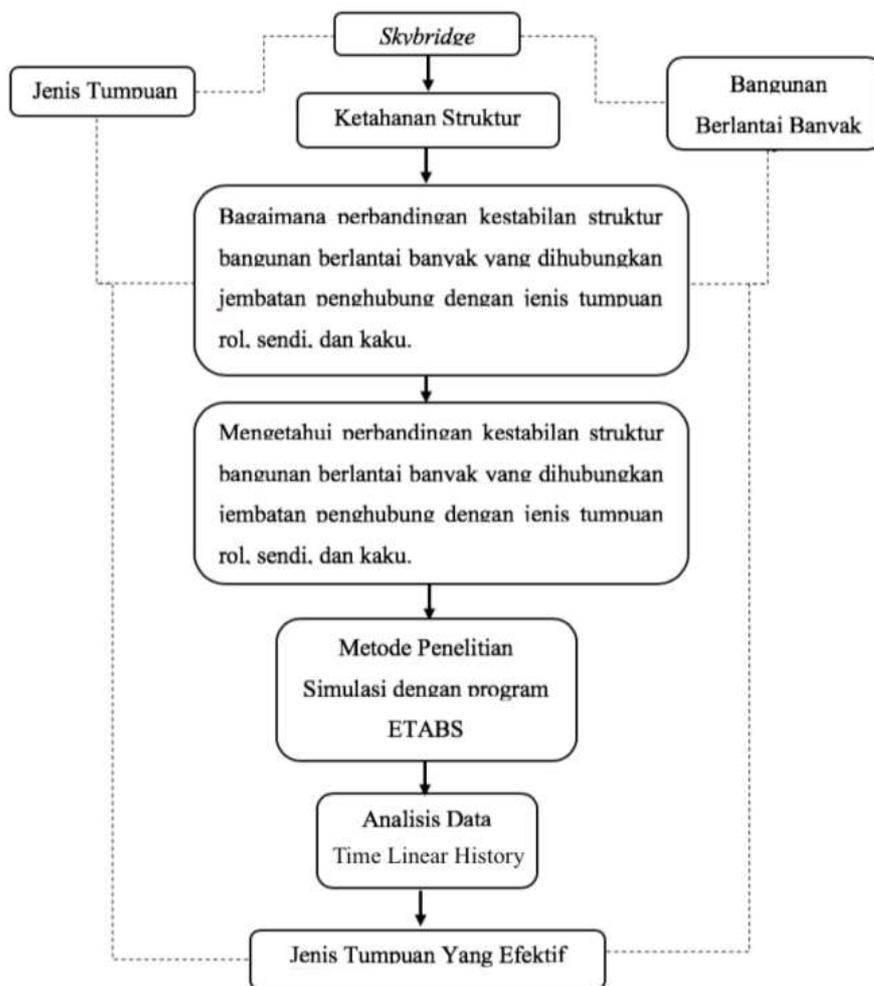
Tabel 2.17. Keaslian Penelitian

Peneliti	Judul	Tahun	Hasil
Amy Jean Taylor McCall	Structural Analysis and Optimization of Skyscrapers Connected with Skybridges and Atria	2013	Perbedaan volume total optimal antara sistem roller skybridge dan sistem engsel skybridge kurang dari 1 persen
Imad Shakir Abbood, Mahir Mahmod, Ammar N. Hanoon, Mohd Saleh Jaafar, dan Mohamed H. Mussa	Seismic Response Analysis of Linked Twin Tall Buildings with Structural Coupling	2018	Studi ini menunjukkan bahwa tautan itu lebih efektif dalam memperkuat sistem dan mengurangi respons ketika dipasang di dua lantai teratas terakhir

L. Kerangka Fikir

Maulana Nur Ikhsan	Pengaruh Jenis Tumpuan Jembatan Penghubung (Skybridge) Terhadap Kestabilan Struktur Bangunan Berlantai Banyak	2020	Jensi tumpuan paling efektif dalam mengurangi <i>displacement</i> bangunan terdapat pada jenis tumpuan Kaku-Sendi, Sendi-Kaku.
-----------------------	--	------	--

Gambar 2.30 berikut merupakan kerangka fikir dari penelitian ini:



Gambar 2.30 Kerangka Fikir

### BAB III

### METODOLOGI