

**PERBANDINGAN *DISPLACEMENT* ANTARA SISTEM
STRUKTUR *RIGID FRAME* DENGAN SISTEM STRUKTUR
DUAL SYSTEM PADA BANGUNAN APARTEMEN 30 LANTAI**

SKRIPSI PENELITIAN
TUGAS AKHIR – 478D5136
PERIODE II

OLEH:
ANDI ARNITA DWI DESTINA
D5 11 14 030



**DEPARTEMEN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PERBANDINGAN DISPLACEMENT ANTARA SISTEM STRUKTUR RIGID FRAME
DENGAN SISTEM STRUKTUR DUAL SYSTEM PADA BANGUNAN APARTEMEN
30 LANTAI**

Disusun dan diajukan oleh

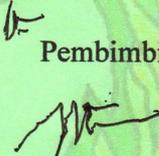
Andi Arnita Dwi Destrina
D511 14 030

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 1 September 2021

Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II

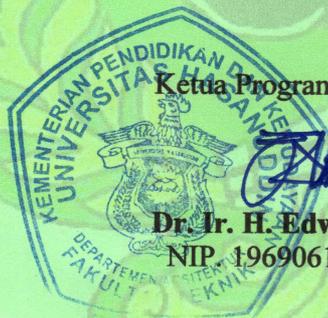

Prof. Dr. Ir. Victor Sampebulu', M.Eng
NIP. 19520529 198011 1 001


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

Mengetahui

Ketua Program Studi Arsitektur


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



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andi Arnita Dwi Destrina

NIM : D5 11 14 030

Program Studi : S1 Teknik Arsitektur

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau tidak dapat dibuktikan sebagai atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 17 September 2021

Yang menyatakan,



Handwritten signature of Andi Arnita Dwi Destrina.

Andi Arnita Dwi Destrina

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul:

PERBANDINGAN DISPLACEMENT ANTARA SISTEM STRUKTUR RIGID FRAME DENGAN SISTEM STRUKTUR DUAL SYSTEM PADA BANGUNAN APARTEMEN 30 LANTAI

dapat diselesaikan dengan baik. Segala upaya telah saya lakukan dalam menyusun tugas akhir ini, namun keterbatasan tenaga, kemampuan dan waktu menjadi batasan saya sebagai manusia biasa. Adapun harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memenuhi persyaratan sebagai bahan perincian dalam tahap penelitian selanjutnya.

Tak lupa pula ucapan terima kasih saya sampaikan dengan penuh hormat kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini, antara lain kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Drs. Andi Ajir Mattahya dan Andi Rayu Kartika Sary yang selalu memberikan perhatian, dukungan, doa, dan motivasi yang tiada tara.
2. Prof. Dr. Ir. Victor Sampebulu, M.Eng dan Dr. Ir. Hartawan, MT selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, meluangkan waktu, perhatian dan membagi ilmunya selama penulisan tugas akhir ini.
3. Dr. Eng. Nasruddin, ST., MT selaku dosen penguji sekaligus dosen penasehat akademik penulis yang telah memberikan bimbingannya selama di bangku perkuliahan.
4. Ir. Muh. Taufik Ishak, MT selaku dosen penguji ujian akhir yang telah memberikan arahan dan masukan terkait penulisan tugas akhir ini.
5. Dr. H. Edward Syarif, ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh dosen dan staf lainnya, terima kasih atas ilmu-ilmunya yang berharga dan juga bantuannya selama ini.

6. Segenap keluarga besar sekaligus teman-teman ‘Arsiktetur Angkatan 2014’, yang telah banyak memberi bantuan, arahan, dan masukan selama di bangku perkuliahan.
7. Rekan seperjuangan saya tim pejuang S.Ars yaitu Agnes, Tsanny, Kak Yustin, Nanda, Apyliawan, Adzhani, Titi, Yusriadi, Icha, Dewi, Jihan dan Mutia yang telah menjadi saudara dan saudari, senantiasa mendukung, menemani, mengingatkan, dan memberi motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir.
8. Saudara saya yang berada di Luwu Utara, kampung halaman saya yaitu Andi Muh. Aslam, Andi Muh. Anugrah, dan Andi Muh. Batara yang memberi semangat serta doanya beserta Andi Annisa Eka Aprilda, S.Kg., selaku motivator dan kakak saya yang telah menemani saya selama di perantauan tinggal bersama dan memberikan dukungan selama menempuh pendidikan di bangku perkuliahan.
9. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata dengan segenap kerendahan hati, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam pembuatan tugas akhir ini. Oleh karena itu, saya memohon maaf atas kekeliruan yang tanpa sengaja terbuat. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa lainnya dan dipergunakan dengan sebagaimana mestinya.

Gowa, September 2021

PENULIS

ANDI ARNITA DWI DESTINA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Penelitian	1
B. Rumusan Penelitian	2
C. Manfaat dan Tujuan Penelitian	2
D. Lingkup Penelitian	3
E. Batasan Penelitian	4
F. Sistematika Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Tinjauan Umum tentang Apartemen.....	6
B. Karakteristik Perancangan Model Bangunan Apartemen.....	7
C. Tinjauan Umum tentang Sistem Struktur Bangunan Tinggi.....	8
D. Tinjauan Umum tentang Sistem Struktur <i>Dual System</i>	
(Kombinasi Sistem Struktur <i>Rigid Frame</i> dan <i>Shear Wall</i>)	14
E. Tinjauan Umum tentang Material Struktur Bangunan.....	19
F. Tinjauan Umum tentang Prinsip Tumpuan Struktur Bangunan	22
G. Tinjauan Umum tentang Pembebanan Struktur Bangunan.....	24

BAB 3 METODE PENELITIAN.....	32
A. Jenis Metode Penelitian	32
B. Jenis Data Penelitian	32
C. Variabel Penelitian.....	36
D. Alat Bantu Penelitian	38
E. Tahapan Penelitian.....	40
F. Kerangka Penelitian	41
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	43
A. Kriteria Desain	43
B. Perhitungan Awal Desain (<i>Preliminary Design</i>) Dimensi Elemen Struktur .	45
C. Pemodelan Bangunan Apartemen 30 Lantai dengan <i>SAP 2000</i>	52
D. Penerapan Kasus Pembebanan pada Model Struktur dengan <i>SAP 2000</i>	55
E. Hasil Analisa Perbandingan <i>Displacement</i> dari 2 Model Stuktur yang.....	99
F. Analisis Perbandingan Luas Penopang Vertikal (Kolom dan <i>Shearwall</i>)	
pada 2 Model Bangunan Apartemen.....	101
BAB 5 PENUTUP.....	103
A. Kesimpulan	103
B. Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	xiii

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Jenis Sistem Struktur Bangunan Tinggi menurut <i>Schueller</i> 1977.....	10
Tabel 2	Mutu Baja Tulangan (Beban Tetap)	21
Tabel 3	Kelas dan Mutu Beton (Beban Tetap)	21
Tabel 4	Prinsip Tingkat Derajat Kebebasan Tiap Jenis Tumpuan	24
Tabel 5	Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	26
Tabel 6	Beban Hidup pada Lantai Struktur	28
Tabel 7	Kombinasi Pembebanan	31
Tabel 8	Pembagian Fungsi Lantai Bangunan Apartemen	34
Tabel 9	Daftar Dimensi Kolom Berdasarkan Pembebanan Per Lantai (cm).....	51
Tabel 10	Berat Struktur dan Beban Mati Tambahan Pada Apartemen	55
Tabel 11	Tabel Pergeseran <i>Joint Displacement</i> Pada Beban Mati.....	56
Tabel 12	Tabel Pergeseran <i>Joint Displacement</i> Pada Beban Hidup	62
Tabel 13	Tabel Pergeseran <i>Joint Displacement</i> Pada Beban Angin Arah X.....	69
Tabel 14	Tabel Pergeseran <i>Joint Displacement</i> Pada Beban Angin Arah Y.....	74
Tabel 15	Tabel Pergeseran <i>Joint Displacement</i> Untuk Beban Kombinasi 1.....	80
Tabel 16	Tabel Pergeseran <i>Joint Displacement</i> Untuk Beban Kombinasi 2.....	85
Tabel 17	Tabel Pergeseran <i>Joint Displacement</i> Untuk Beban Kombinasi 3.....	90
Tabel 18	Tabel Pergeseran <i>Joint Displacement</i> Untuk Beban Kombinasi 4.....	95
Tabel 19	Perbandingan Keunggulan 2 Model Bangunan Berdasarkan	
	Besaran <i>Joint Displacement</i> dari <i>SAP2000</i>	100
Tabel 20	Perbandingan Luas Penopang Vertikal (Kolom dan Shearwall) pada ...	
	2 Model Bangunan yang Diuji	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	<i>Respons</i> Lenturan Balok dan Kolom	15
Gambar 2	Simpangan pada Struktur Rangka Kaku (<i>Rigid Frame</i>)	15
Gambar 3	(a) <i>Bearing Walls</i> (b) <i>Frame Walls</i> (c) <i>Core Walls</i>	16
Gambar 4	Perilaku Penggabungan Elemen <i>Rigid Frame</i> dan <i>Shear Wall</i>	18
Gambar 5	Jenis Tumpuan Sendi	22
Gambar 6	Jenis Tumpuan Rol.....	23
Gambar 7	Jenis Tumpuan Jepit.....	23
Gambar 8	Skema Pembebanan Struktur Bangunan	25
Gambar 9	Variabel Bebas dan Terikat (Arah Pembebanan) pada 2 Model..... Bangunan Apartemen yang Diuji.....	37
Gambar 10	<i>Interface</i> Program <i>AutoCAD</i> 2016.....	38
Gambar 11	<i>Interface</i> Program <i>SAP</i> 2000 versi 15.....	39
Gambar 12	Input Spesifikasi Material Beton dan Baja Tulangan	44
Gambar 13	Model Struktur Bangunan 1 (<i>Rigid Frame</i>).....	53
Gambar 14	Model Struktur Bangunan 2 (<i>Dual System</i>)	54
Gambar 15	Input Beban Mati Tambahan pada Bangunan.....	55
Gambar 16	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Mati pada Bangunan Model 1	57
Gambar 17	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Mati pada Bangunan Model 2	58
Gambar 18	Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> 2 Model untuk Beban Mati.....	59
Gambar 19	Input Beban Hidup pada Bangunan	61
Gambar 20	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Hidup pada Bangunan Model 1 ...	63
Gambar 21	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Hidup pada Bangunan Model 2...	64
Gambar 22	Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> 2 Model untuk Beban Hidup	65
Gambar 23	Peta Prakiraan Arah Angin di Indonesia.....	67
Gambar 24	Input Beban Angin pada Kolom Pinggir Bangunan	68
Gambar 25	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Angin Arah X pada..... Bangunan Model 1	70
Gambar 26	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Angin Arah X pada..... Bangunan Model 2	71

Gambar 27	Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> 2 Model untuk Beban	
	Angin Arah X.....	72
Gambar 28	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Angin Arah Y pada.....	
	Bangunan Model 1	75
Gambar 29	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Angin Arah Y pada.....	
	Bangunan Model 2	76
Gambar 30	Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> 2 Model untuk Beban	
	Angin Arah Y	77
Gambar 31	Input Beban Kombinasi pada Bangunan	79
Gambar 32	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Kombinasi 1 pada Bangunan 1 ...	81
Gambar 33	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Kombinasi 1 pada Bangunan 2 ...	82
Gambar 34	Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> 2 Model Bangunan untuk.....	
	Beban Kombinasi 1	83
Gambar 35	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Kombinasi 2 pada Bangunan 1 ...	86
Gambar 36	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Kombinasi 2 pada Bangunan 2 ...	87
Gambar 37	Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> 2 Model Bangunan untuk.....	
	Beban Kombinasi 2	88
Gambar 38	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Kombinasi 3 pada Bangunan 1 ...	91
Gambar 39	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Kombinasi 3 pada Bangunan 2 ...	92
Gambar 40	Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> 2 Model Bangunan untuk.....	
	Beban Kombinasi 3	93
Gambar 41	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Kombinasi 4 pada Bangunan 1 ...	96
Gambar 42	Grafik <i>Joint Displacement</i> Beban Kombinasi 4 pada Bangunan 2 ...	97
Gambar 43	Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> 2 Model Bangunan untuk.....	
	Beban Kombinasi 4	98

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Lift	106
Lampiran 2	Perhitungan Kebutuhan Air Bersih.....	108
Lampiran 3	Gambar Arsitektural Bangunan Apartemen 30 Lantai	110

ABSTRAK

Pembangunan Apartemen yang menggunakan metode rancang bangun secara vertikal dengan jumlah lantai yang banyak atau disebut *high rise building*. Sistem struktur untuk bangunan vertikal (*high rise building*) terdapat beberapa kategori diantaranya sistem struktur *Rigid Frame* (rangka kaku) dan sistem struktur *Dual System* (rangka-dinding geser). Kedua sistem struktur ini akan diaplikasikan pada Apartemen 30 Lantai sesuai dengan karakteristik arsitektural yang telah didesain oleh penulis. Dari pengaplikasian dua sistem struktur tersebut akan dianalisis menggunakan aplikasi *SAP 2000* versi 15 dan didapatkan hasil dari pergeseran titik struktur (*Joint Displacement*) yang ditinjau pada tiap lantai berdasarkan nilai pembebanan yang dimasukkan pada bangunan tersebut. Jenis pembebanan yang dimasukkan ialah beban mati, beban hidup, beban angin dan beban kombinasi. Dari hasil penelitian ini didapatkan besaran perbandingan dari nilai *joint displacement* pada kedua model bangunan dengan sistem struktur yang diuji. Nilai displacement pada kedua model bangunan dengan sistem struktur yang berbeda memiliki perbedaan besaran tergantung dari nilai beban yang diterapkan. Dari beberapa jenis pembebanan untuk mengetahui sistem struktur manakah yang lebih unggul diterapkan beban kombinasi. Dan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem struktur *Dual System* lebih unggul dalam menahan kombinasi beban-beban yang bekerja pada bangunan Apartemen 30 Lantai daripada sistem struktur *Rigid Frame*.

Kata Kunci: *High Rise Building, Displacement, Rigid Frame, Dual System.*

ABSTRACT

The Construction of Apartment that used the vertical design method with a large number of floors or called high rise building. There are several categories of structural systems for vertical building (high rise building), including Rigid Frame structural system and Dual System structural system (Rigid-Shear Wall). These two of structural systems will be applied to the 30th floors of Apartment building in accordance with the architectural characteristics that have been designed by the author. From the application of two structural systems, it will be analyzed using SAP 2000 version 15 and the results obtained from the structural point shift (Joint Displacement) which are viewed on each floor based on the load values that entered to the building. The types of loads included are dead load, live load, wind load and combinations load. From the result of this research it was found comparison of the joint displacement values in the two building models with the structural system tested. From the kind of loads to find out which structural system is superior, a combined load is applied. And the results of this study indicate that the Dual System structural system is superior in resisting the combination of loads that work on a 30-floor apartment building than the Rigid Frame structural system.

Keywords: *High Rise Building, Displacement, Rigid Frame, Dual System.*

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Penelitian

Laju pembangunan infrastruktur di era globalisasi masa kini kian meningkat setiap tahunnya. Infrastruktur suatu Negara, termasuk di Indonesia yang merupakan Negara berkembang menjadi permasalahan yang esensial. Hal tersebut dikarenakan infrastruktur menjadi tolak ukur utama kemajuan suatu negara atau bangsa.

Kota-kota besar di Indonesia termasuk Kota Makassar mulai mengalami keterbatasan lahan untuk keperluan pembangunan. Oleh karena itu metode rancang bangun secara vertikal menjadi pilihan tepat yang dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan lahan yang efisien. Sebagai contoh perancangan bangunan seperti apartemen, hotel, dan perkantoran umumnya telah menggunakan metode rancang bangun secara vertikal dengan jumlah lantai yang banyak atau juga sering disebut *high rise building*.

Sistem struktur *high rise building* memerlukan kriteria perancangan yang baik dan matang agar sesuai umur perencanaan bangunan. Hal ini disebabkan bangunan harus bertahan terhadap perubahan beban yang berasal dari lingkungan sekitarnya. Seperti mampu memikul beban angin dan guncangan akibat gempa bumi. Olehnya itu untuk pencapaian stabilitas dan daktilitas yang optimum terhadap pembebanan tersebut dalam proses perencanaan bangunan apartemen yang sesuai dengan karakteristik desain arsitektural yang telah dibuat oleh penulis, maka penulis mencoba mengaplikasikan sistem struktur gabungan atau disebut *Dual System*. Sistem struktur *Dual System* merupakan kombinasi dari sistem struktur *Rigid Frame* (sistem rangka pemikul momen) dan sistem struktur *Shear Wall* (dinding geser).

Latar belakang dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar peran pangaruh sistem struktur *Dual System* yang diaplikasikan pada bangunan apartemen 30 lantai dengan membandingkan besaran *displacement* (nilai

pergeseran struktur yang terjadi) antara penggunaan sistem struktur *Rigid Frame* saja tanpa *Shear Wall* dan penggunaan sistem struktur gabungan (*Dual System*).

Dalam penyajian tugas akhir ini, penulis akan mengaplikasikan sistem struktur pada bangunan apartemen yang terdiri dari 30 lantai berlokasi di Makassar dengan menggunakan bantuan program *SAP 2000* versi 15. Dengan adanya penelitian ini diharapkan penentuan dimensi struktur bangunan yang didesain oleh penulis berdasarkan pada kaidah dan standar pelayanan SNI (Standar Nasional Indonesia) sehingga menjamin kestabilan dan keamanan bangunan secara struktural. Adapun untuk penyajian gambar secara arsitektural menggunakan bantuan program *AutoCAD 2016*.

B. Rumusan Penelitian

Rumusan penelitian dari tugas akhir ini adalah:

1. Seberapa besar perbandingan *Displacement* antara sistem struktur *Rigid Frame* dan sistem struktur *Dual System* pada bangunan apartemen 30 lantai dengan spesifikasi desain bangunan berbentuk L berlokasi di Makassar?
2. Dari perbandingan tersebut apakah sistem struktur *Dual System* atau sistem struktur *Rigid Frame* yang lebih unggul dalam menahan beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan apartemen 30 lantai?

C. Manfaat dan Tujuan Penelitian

1. Manfaat Penelitian, yaitu:
 - a. Bagi bidang ilmu Arsitektur yaitu memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu Arsitektur khususnya terkait struktur bangunan tinggi di masa yang akan datang.
 - b. Bagi masyarakat dan pemerintah yaitu referensi yang memberikan informasi baru tentang sistem struktur bangunan tinggi yaitu *Dual System* (gabungan *Rigid Frame* dan *Shear Wall*), khususnya bangunan hunian apartemen yang mampu menjamin kestabilan dan keamanan bangunan secara struktural.

2. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu: **Mengungkapkan perbandingan *Displacement* dari penerapan sistem struktur *Rigid Frame* dengan sistem struktur *Dual System* (gabungan *Rigid Frame* dan *Shear Wall*) pada bangunan Apartemen 30 lantai berbentuk L di Makassar.** Sehingga dari perbandingan tersebut dapat diketahui sistem struktur manakah yang lebih unggul dalam menahan beban-beban yg bekerja pada bangunan.

D. Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan arsitektural awal bangunan 30 lantai berbentuk L dengan fungsi sebagai Apartemen menggunakan program *AutoCAD* 2016.
2. Analisis perancangan sistem struktur dengan penentuan elemen struktur yang dihitung menggunakan *SAP 2000* versi 15, yaitu struktur atas: Balok, Kolom Struktur, dan Pelat Lantai, dan struktur tambahan: *Shear Wall*/dinding geser.
3. Analisis *Joint Displacement* dari perilaku bangunan model 1 (*Rigid Frame*) sebelum penambahan *Shear Wall* (*Dual System*).
4. Analisis *Joint Displacement* dari perilaku bangunan model 2 setelah penambahan *Shear Wall* (*Dual System*).
5. Jenis beban yang dihitung menggunakan *SAP 2000* versi 15, antara lain yaitu:
 - a. Beban vertikal (beban gravitasi) meliputi beban mati dan beban hidup
 - b. Beban horisontal (beban lateral) meliputi beban angin
6. Perencanaan struktur bangunan apartemen ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu sebagai berikut:
 - a. Peraturan Pembebanan yang digunakan adalah Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) 1987.
 - b. Peraturan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung adalah Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 dan SNI 2847-2013, 2002.
 - c. Kombinasi Pembebanan berdasarkan pada SNI 03-1726, 2002.

E. Batasan Penelitian

Masalah yang diteliti pada tugas akhir ini dibatasi pada beberapa hal yaitu:

1. Perancangan bangunan 30 lantai dengan fungsi sebagai Apartemen berlokasi di Kota Makassar dengan perancangan arsitektural awal sesuai dengan karakteristik desain yang terlampir.
2. Material struktur bangunan yang digunakan ialah struktur beton bertulang.
3. Perencanaan elemen struktur awal dari bangunan apartemen 30 lantai ini meliputi:
 - a. Perencanaan dimensi kolom,
 - b. Perencanaan dimensi balok induk dan balok anak,
 - c. Perencanaan dimensi pelat lantai.
4. Perhitungan pembebanan gravitasi dan lateral (beban hidup, beban mati, beban angin, dan beban kombinasi) yang bekerja pada bangunan.
5. Perhitungan beban angin dilihat dari 2 arah yaitu sumbu X negatif (berlawanan arah) dan Y positif pada bagian fasad bangunan (lantai tower).
6. Tidak menghitung analisis pembebanan gempa pada bangunan.
7. Pengujian simulasi bangunan apartemen menerapkan 2 macam model struktur yaitu model 1 dengan *Rigid Frame* dan model 2 dengan *Dual System (Rigid Frame dengan penambahan Shear Wall)*.
8. Pemodelan struktur *Rigid Frame* sebagai rangka utama tidak termasuk *Core*.
9. Perencanaan struktur penambahan *Shear Wall (Dual System)* dimulai pada lantai basement hingga lantai tipikal tower.
10. Kondisi tanah diabaikan dan struktur pondasi bangunan terjepit kaku di tanah.
11. Tidak mendesain pondasi bangunan.
12. Fokus penelitian pada struktur atas bangunan.

F. Sistematika Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini disusun dalam 5 bab yang secara garis besar mencakup hal-hal sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang judul, rumusan masalah, manfaat dan tujuan, lingkup penelitian, batasan penelitian serta sistematika penelitian tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisi acuan yang menjadi dasar dalam desain dan perancangan struktur serta teori-teori yang melatarbelakanginya.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode penelitian yang akan digunakan untuk perancangan dan analisis struktur bangunan apartemen.

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini membahas uraian data hasil penelitian serta pembahasannya.

BAB 5 PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang dibutuhkan dalam penelitian tugas akhir.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum tentang Apartemen

1. Pengertian Apartemen

Berikut ialah beberapa definisi dari istilah ‘Apartemen’ antara lain yaitu:

- a. Tempat tinggal suatu bangunan bertingkat yang lengkap dengan ruang duduk, kamar tidur, dapur, ruang makan, jamban, dan kamar mandi yang terletak pada satu lantai, bangunan bertingkat yang terbagi atas beberapa tempat tinggal. (*Kamus Umum Bahasa Indonesia, 1994*)
- b. Bangunan hunian yang dipisahkan secara horisontal dan vertikal agar tersedia hunian yang berdiri sendiri dan mencakup bangunan bertingkat rendah atau bangunan tinggi, dilengkapi berbagai fasilitas yang sesuai dengan standar yang ditentukan. (*Ernest Neufert, 1980*).

2. Fungsi Apartemen

Berikut ialah fungsi-fungsi bangunan apartemen antara lain yaitu:

- a. Fungsi Utama, yaitu fungsi dominan dalam sebuah apartemen ialah pemukiman. Apartemen mempunyai ruang-ruang yang memwadahi aktifitas-aktifitas penghuni yang berlangsung secara rutin. Jenis aktifitas tersebut seperti: tidur, makan, menerima tamu, berinteraksi sosial, melakukan hobi, bekerja, dan lain-lain.
- b. Fungsi Pendukung, yaitu fungsi-fungsi sekunder yang ditambahkan pada sebuah apartemen untuk mendukung dan menambah kenyamanan berlangsungnya fungsi utama, antara lain seperti:
 - Layanan olahraga: *fitness centre, aerobic*, kolam renang
 - Layanan kesehatan: poliklinik dan apotik
 - Layanan komersial: minimarket, restoran, dan salon
 - Layanan anak: tempat penitipan anak dan area bermain.
- c. Fungsi Pelengkap, yaitu misalnya ruang administrasi, ruang *cleaning service* dan ruang keamanan/satpam.

3. Karakteristik Apartemen

Berikut ialah karakteristik apartemen yang dirangkum dari beberapa sumber, antara lain yaitu:

- a. Memiliki lebih dari dua lantai dan biasanya bangunan berbentuk vertikal
- b. Dalam satu lantai terdiri dari unit-unit hunian
- c. Fleksibel dalam mencapai pemanfaatan ruang secara maksimal
- d. Efisien, efektif, dan ekonomis
- e. Memiliki fasilitas bersama yang belum tentu dimiliki perumahan dengan akses yang mudah dan cepat untuk menjangkau fasilitas yang ada.
- f. Pada umumnya terdapat area komersil pada bangunan atau lingkungan apartemen
- g. Sirkulasi vertikal berupa tangga atau *lift* dan sirkulasi horisontal berupa koridor
- h. Keamanan, ketenangan, dan privasi lebih terjamin
- i. Struktur dan bahan bangunan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama.

B. Karakteristik Perancangan Model Bangunan Apartemen

Sebelum melakukan perancangan sistem struktur pada bangunan maka perlu ditentukan terlebih dahulu karakteristik arsitekturalnya. Olehnya itu, berdasarkan tinjauan pustaka tentang bangunan Apartemen diatas, maka dapat disimpulkan bahwa karakteristik arsitektural bangunan yang akan dianalisis terkait perancangan strukturalnya ialah sebuah Apartemen dengan jumlah lantai 30 (belum termasuk *basement*) dengan konsep bentuk denah simetris menyerupai huruf L.

Adapun detail klasifikasi jenis bangunan yang akan di analisis yaitu *High-rise* Apartemen yang direncanakan memiliki unit-unit hunian. Dimana tiap unit terdapat ruang yang dapat menampung aktifitas sehari-hari, sesuai dengan fungsi bangunan yang diperuntukkan secara umum (dari semua golongan masyarakat). Jenis unit hunian terdiri atas 3 tipe yaitu tipe *studio* dengan satu kamar tidur (108 m²), tipe keluarga dengan dua kamar tidur (120 m²), serta tipe *penthouse* dengan tiga kamar tidur(156 m²).

C. Tinjauan Umum tentang Sistem Struktur Bangunan Tinggi

1. Pengertian Sistem Struktur Bangunan Tinggi

Secara umum dalam kajian analisis, sistem struktur dibedakan pada dua kategori dasar sistem, yaitu Struktur Kerangka (*Portal*) dan Struktur Kontinum. Sistem Struktur Kerangka merupakan rakitan beberapa elemen struktur, yang terdiri dari elemen balok, kolom, atau dinding geser membentuk kerangka yang disebut *Portal*. Sambungan antara elemen pembentuk portal ini biasanya kaku atau monolit, serta ukuran penampang elemen (lebar atau tinggi) kecil dibandingkan dengan bentang elemen. Sedangkan sistem struktur yang tidak dapat dibedakan unsur elemennya, seperti pelat, cangkang, atau tangki dinamakan Sistem Struktur Kontinum.

Bangunan tinggi biasanya juga disebut dengan bangunan bertingkat/berlantai banyak. Pada suatu bangunan gedung bertingkat banyak, kecil kemungkinannya semua lantai tingkat akan dibebani secara penuh oleh beban hidup. Untuk bangunan tinggi termasuk Apartemen 30 lantai yang direncanakan ini digolongkan ke dalam *Sistem Struktur Kerangka (Portal)* yang terdiri dari elemen struktur berupa pelat lantai, balok, dinding pemikul, dan kolom yang tersusun beraturan, saling tegak lurus, serta beban/gaya vertikal dan horizontal disalurkan melalui tiang/kolom untuk disalurkan menuju pondasi.

Sistem struktur bangunan tinggi selain memiliki sistem struktur utama juga sistem struktur *advanced* (lanjutan). Dimana komponen dan dimensinya bersifat non-konvensional, seperti aspek utilitas yang menghubungkan antar lantai. Pada umumnya tiap jenis utilitas diletakkan pada core bangunan gedung dengan transportasi vertikal berupa *lift* dan tangga.

Secara umum, terdapat 3 unsur dasar dari sistem struktur bangunan tinggi yang membentuk struktur tulang bangunan, antara lain yaitu:

- a. Unsur Linier: kolom dan balok yang menahan gaya aksial dan rotasi
- b. Unsur Permukaan: dinding berlubang/berangka dan plat padat/beruas
- c. Unsur Spasial: Pembungkus fasad (*inti/core*) yang mengikat bangunan

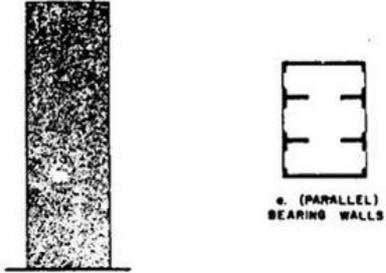
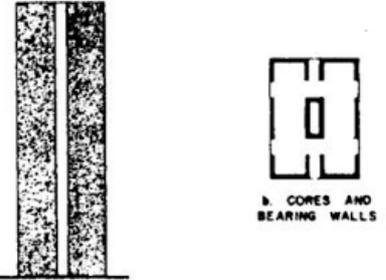
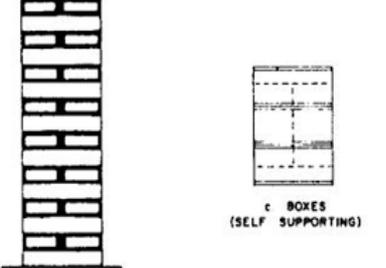
Selain itu, dalam mendesain suatu bangunan tinggi harus memenuhi kriteria-kriteria sesuai sistem fungsional gedung dan masalah-masalah seperti berikut:

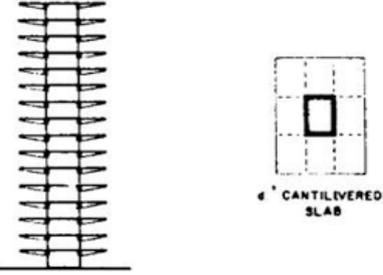
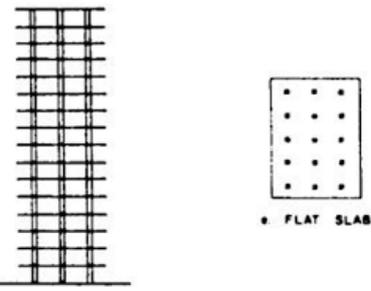
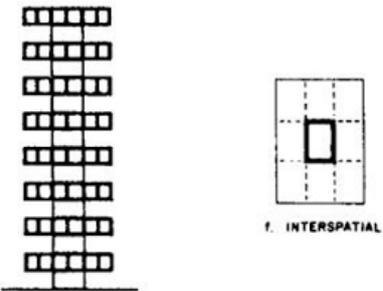
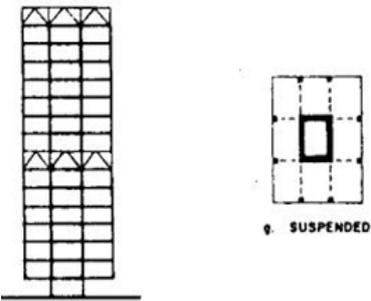
- a. Arsitektural, Estetika, dan Fungsi Bangunan. Aspek ini dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan dari jiwa manusia akan sesuatu hal yang terlihat indah. Bentuk-bentuk struktur yang direncanakan sudah semestinya mengacu pada pemenuhan kebutuhan yang dimaksud.
- b. Aspek Fungsional. Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi daripada bangunan tersebut. Dalam kaitannya dengan penggunaan ruang, aspek ini sangat mempengaruhi besarnya dimensi bangunan yang direncanakan.
- c. Kekuatan dan Kestabilan. Struktur harus cukup kuat dan stabil dalam mendukung beban rencana yang bekerja dan penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya-gaya yang bekerja. Pelaksanaan dan pembangunan di lapangan harus menggunakan skala dan presisi dalam pengerjaannya.
- d. Kemampuan Layan. Komponen struktur harus memenuhi kemampuan layanan terhadap tingkat beban kerja dan kemampuan layan bagi keamanan serta kenyamanan pengguna bangunan tersebut. Hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu lendutan, retak, korosi tulangan, rusaknya permukaan balok atau pelat beton bertulang.
- e. Faktor Ekonomis dan kemudahan pelaksanaan, serta dampak terhadap lingkungan sekitar wilayah proyek, baik dampak di masa pelaksanaan maupun dampak yang akan terjadi setelah masa pelaksanaan berakhir.

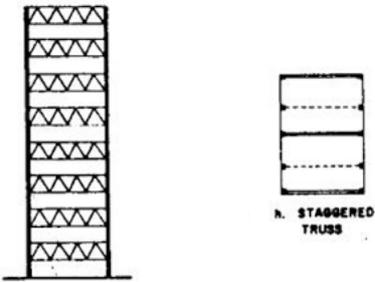
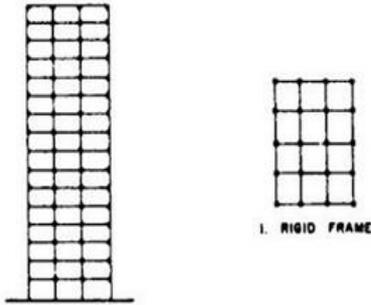
2. Jenis-Jenis Sistem Struktur Bangunan Tinggi

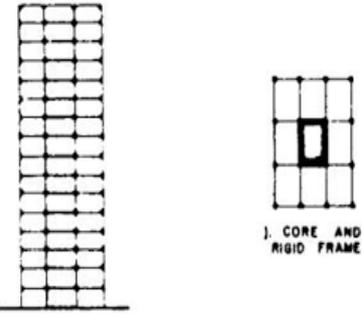
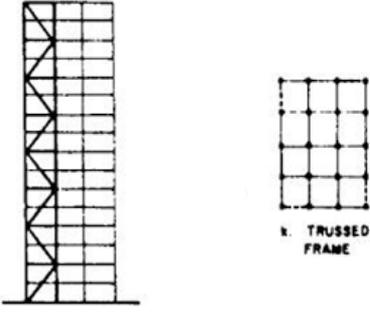
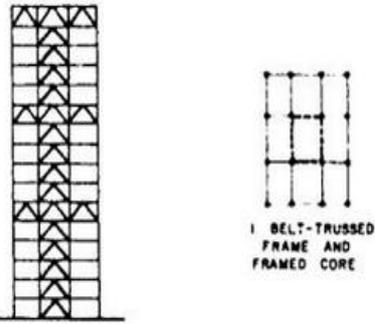
Berikut ialah 14 jenis dari sistem struktur bangunan tinggi berdasarkan menurut *W.Schueller* dalam bukunya *High Rise Building* 1997, antara lain disajikan dalam tabel berikut:

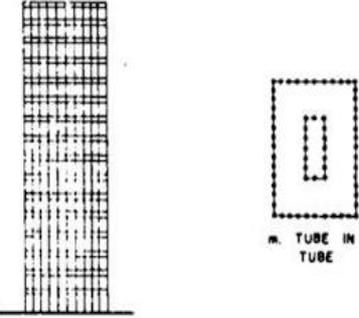
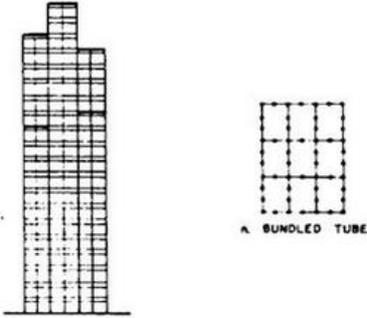
Tabel 1 | Jenis Sistem Struktur Bangunan Tinggi menurut Schueller 1977

No.	Penjelasan	Gambar
1	<p style="text-align: center;">Dinding Pendukung Sejajar <i>(Parallel Bearing Walls)</i></p> <p>Sistem ini terdiri dari unsur bidang vetikal yang di perkuat dengan berat dinding itu sendiri, sehingga mampu menahan gaya aksial lateral secara efisien. Sistem struktur dinding sejajar ini digunakan pada bangunan-bangunan apartemen yang tidak membutuhkan ruang bebas yang luas dan sistem-sistem mekanisnya tidak memerlukan struktur inti.</p>	 <p style="text-align: right;">e. (PARALLEL) BEARING WALLS</p>
2	<p style="text-align: center;">Inti Dinding Pendukung Fasad <i>(Core Facade Bearing Walls)</i></p> <p>Sistem ini terdiri dari unsur bidang vetikal yang di perkuat dengan berat dinding itu sendiri, sehingga mampu menahan gaya aksial lateral secara efisien. Sistem struktur dinding sejajar ini digunakan pada bangunan-bangunan apartemen yang tidak membutuhkan ruang bebas yang luas dan sistem-sistem mekanisnya tidak memerlukan struktur inti.</p>	 <p style="text-align: right;">b. CORES AND BEARING WALLS</p>
3	<p style="text-align: center;">Boks Berdiri Sendiri (Self Supporting Boxes)</p> <p>Sistem ini merupakan unit tiga dimensi prefabrikasi yang menyerupai bangunan dinding pendukung yang diletakan di suatu tempat dan di gabung dengan unit lainnya. Sebagai contoh boks-boks ini di tumpuk seperti bata dengan pola 'English Bond' sehingga tersusun seperti balok dinding berselang-seling.</p>	 <p style="text-align: right;">c. BOXES (SELF SUPPORTING)</p>

4	<p style="text-align: center;">Plat Kantilever (<i>Cantilevered Slab</i>)</p> <p>Pemikulan plat lantai dari sebuah inti pusat akan memungkinkan ruang bebas kolom yang batas kekuatan platnya adalah batas besar ukuran bangunan. Sistem ini memerlukan banyak besi, terutama apabila proyeksi pelat sangat besar. Kekakuan plat dapat di tingkatkan dengan menggunakan teknik-teknik pratekan.</p>	
5	<p style="text-align: center;">Plat Rata (<i>Flat Slab</i>)</p> <p>Sistem ini terdiri dari bidang horizontal yang umumnya adalah plat lantai beton tebal dan rata yang bertumpu pada kolom. Apabila tidak terdapat penebalan plat pada bagian atas kolom, maka sistem ini di katakan sistem plat rata. Pada kedua sistem ini tidak terdapat balok yang dalam (<i>deep beam</i>) sehingga tinggi lantai bisa minimum.</p>	
6	<p style="text-align: center;"><i>Interspial</i></p> <p>Sistem struktur rangka tinggi selantai yang terkantilever diterapkan pada setiap lantai antara untuk memungkinkan ruang fleksibel di dalam dan di atas rangka. Ruangan yang berada di dalam lantai rangka di atasnya dapat di gunakan sebagai wadah untuk kegiatan aktivitas lainnya.</p>	
7	<p style="text-align: center;">Gantung (<i>Suspension</i>)</p> <p>Sistem ini dapat memungkinkan penggunaan beban secara efisien dengan menggunakan penggantungan sebagai pengganti kolom untuk memikul beban lantai. Kekuatan unsur tekan pada sistem ini harus dikurangi sebab adanya bahaya</p>	

	<p>tekuk, berbeda dengan unsur tarik yang dapat mendaya gunakan kemampuan secara maksimal. Kabel-kabel ini dapat meneruskan beban gravitasi ke rangka di bagian atas yang terkantilever dari inti pusat.</p>	
8	<p style="text-align: center;">Rangka Selang-Seling (<i>Staggered Truss</i>)</p> <p>Rangka tinggi yang selantai disusun sedemikian rupa sehingga pada setiap lantai bangunan dapat menumpangkan beban di bagian atas suatu rangka begitupun di bagian bawah rangka di atasnya. Selain memikul beban vertikal, susunan rangka ini akan mengurangi tuntutan kebutuhan ikatan angin dengan cara mengarahkan beban angin ke dasar bangunan melalui struktur balok dan plat lantai.</p>	
9	<p style="text-align: center;">Rangka Kaku (<i>Rigid Frame</i>)</p> <p>Sistem struktur ini terdiri dari kolom dan balok yang bekerja saling mengikat satu dengan yang lainnya. Kolom sebagai unsur vertikal yang bertugas menerima beban dan gaya, sedangkan balok sebagai unsur horizontal media pembagi beban dan gaya. Sistem ini biasanya berbentuk pola grid persegi, organisasi grid serupa juga di gunakan untuk bidang horizontal yang terdiri atas balok dan gelagar. Dengan keterpaduan rangka spasial yang bergantung pada kekuatan kolom dan balok, maka tinggi lantai ke lantai dan jarak antara kolom menjadi penentu pertimbangan rancangan.</p>	

10	<p>Rangka Kaku dan Inti (<i>Rigid Frame and Core</i>)</p> <p>Rangka kaku akan bereaksi terhadap beban lateral. Terutama melalui lentur balok dan kolom. Perilaku demikian berakibat ayunan (<i>drift</i>) 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.</p>	
11	<p><i>Trussed Frame</i></p> <p>Sistem ini terdiri dari gabungan rangka kaku atau bersendi dengan rangka geser vertikal yang mampu memberikan peningkatan kekuatan dan kekakuan struktur. Rancangan sistem struktur dapat berdasarkan pada penggunaan rangka untuk menahan beban gravitasi dan rangka vertikal untuk beban angin yang serupa dengan rangka kaku dan inti.</p>	
12	<p>Rangka Belt-Trussed dan Inti (<i>Belt Trussed and Core</i>)</p> <p>Sistem struktur belt-trussed bekerja mengikat kolom fasade ke inti bangunan sehingga meniadakan aksi terpisah rangka dan inti pengakuan ini dinamai “<i>cap trussing</i>” apabila berada pada bagian atas bangunan, dan dinamai “<i>belt-trussed</i>” apabila berada di bagian bawahnya.</p>	

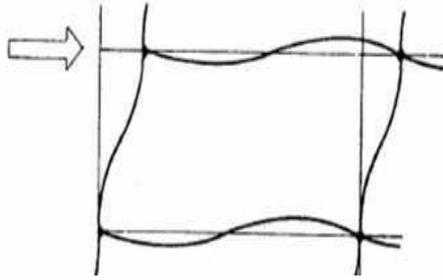
13	<p style="text-align: center;">Tabung dalam Tabung (<i>Tube in Tube</i>)</p> <p>Dalam struktur ini, kolom dan balok eksterior di tempatkan sedemikian rapat sehingga fasade menyerupai dinding yang diberi pelubangan (untuk jendela). Seluruh bangunan berlaku sebagai tabung kosong yang terkantilever dari tanah. Inti interior (tabung) dapat meningkatkan kekakuan bangunan dengan cara ikut memikul beban bersama kolom-kolom fasade tersebut.</p>	 <p style="text-align: right;">M. TUBE IN TUBE</p>
14	<p style="text-align: center;">Kumpulan Tabung (<i>Bundled Tube</i>)</p> <p>Sistem struktur ini dapat di gambarkan sebagai suatu kumpulan tabung-tabung terpisah yang membantuk tabung <i>multi-use</i>. Pada sistem ini kekakuan akan bertambah. Sistem ini dapat memungkinkan bangunan mencapai bentuk yang paling tinggi dan daerah lantai yang sangat luas.</p>	 <p style="text-align: right;">A. BUNDLED TUBE</p>

Sumber: *High Rise Building, 1977*

D. Tinjauan Umum tentang Sistem Struktur *Dual System* (Kombinasi Sistem Struktur *Rigid Frame* dan *Shear Wall*)

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

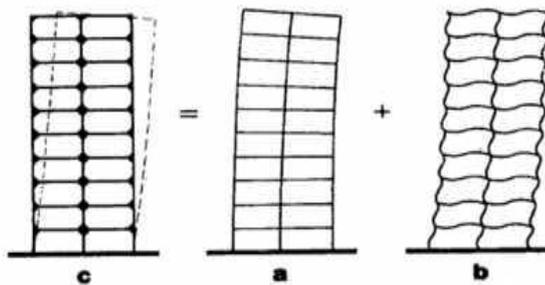
Sistem rangka kaku atau *rigid frame* biasanya berbentuk rangka segi empat teratur yang terdiri dari balok horizontal dan kolom vertikal yang terhubung pada suatu bidang secara kaku (*rigid*), sehingga pertemuan antara kolom dan balok dapat menahan momen. Karena sifat hubungan yang kontinuitas antara kolom dan balok, maka mekanisme rangka kaku dalam menahan beban lateral merupakan suatu respons bersama dari balok dan kolom, terutama respons melalui lentur dari kedua jenis elemen tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1 | Respons Lenturan Balok dan Kolom
(Sumber: Schueller, 1989)

Dari gambar tersebut menjelaskan bahwa lendutan lateral yang terjadi pada balok dan kolom struktur rangka disebabkan oleh dua hal, yaitu:

- a. Lendutan disebabkan oleh lentur kantilever. Lenturan ini dikenal sebagai *chord drift*, yaitu dimana saat menahan momen guling (*overturning moment*) akibat beban lateral, struktur rangka beraksi sebagai suatu balok kantilever vertikal yang melentur dalam bentuk deformasi aksial dari kolom-kolom penyusunnya. Lentur kantilever ini kira-kira menyumbangkan 20% dari total simpangan struktur.
- b. Deflasi (penurunan) disebabkan oleh lentur balok dan kolom. Perilaku struktur akibat lentur balok dan kolom dikenal sebagai *shear lag* atau *frame wracking*. Adanya gaya geser yang terjadi pada kolom dan balok akan menimbulkan momen lentur pada kedua elemen tersebut. Lenturan pada kolom dan balok menyebabkan terjadi distorsi secara keseluruhan pada rangka gedung. Tipe deformasi ini menyebabkan $\pm 80\%$ dari total simpangan struktur yang terdiri dari 65% akibat lenturan balok dan 15% akibat lenturan kolom.



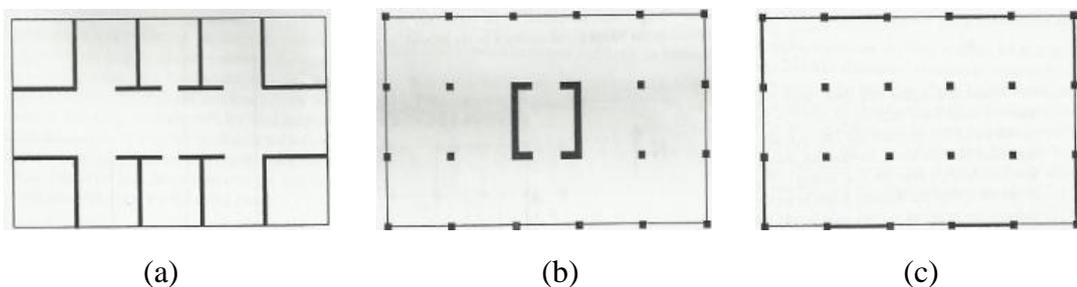
Gambar 2 | Simpangan pada Struktur Rangka Kaku (*Rigid Frame*)
(Sumber: Schueller, 1989)

Dari gambar tersebut menjelaskan bahwa kombinasi simpangan yang diakibatkan oleh lentur kantilever sebesar 20% dari total keseluruhan simpangan, dan lentur balok dan kolom sebesar 80% dari total keseluruhan simpangan merupakan suatu struktur rangka kaku yang menerima gaya lateral akan mengalami simpangan ke arah beban yang bekerja (*Schueller, 1989*).

2. Perilaku Sistem Struktur Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser atau *shear wall* adalah struktur vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Dinding geser merupakan elemen struktur yang berbentuk dinding beton bertulang, dengan fungsi utama dari dinding geser adalah untuk menahan gaya geser, beban lateral akibat gempa bumi atau gaya lainnya pada gedung bertingkat dan bangunan tinggi seperti beban angin. Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geserdapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu:

- a. *Bearing Wall* adalah jenis dinding geser yang mempunyai fungsi lain sebagai penahan beban gravitasi. Dinding ini biasanya digunakan untuk dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
- b. *Frame Wall* adalah dinding geser yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral, geser dan pengaku pada sisi luar bangunan. Dinding ini terletak di antara dua kolom struktur.
- c. *Core Wall* adalah jenis dinding geser yang terletak di pusat-pusat massa bangunan yang berfungsi sebagai pengaku bangunan gedung. Biasanya *core wall* diletakkan pada lubang *lift* yang berfungsi sebagai dinding *lift* sekaligus.



Gambar 3 | (a) *Bearing Walls* (b) *Frame Walls* (c) *Core Walls*

(Sumber: *Schueller, 1989*)

Dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, karena apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Oleh karena itu, dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa, dimana berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.3.1, tebal minimum dinding geser (td) tidak boleh kurang dari 100 mm.**

Dinding geser merupakan suatu subsistem gedung yang memiliki fungsi utama untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa. Keruntuhan pada dinding geser disebabkan oleh momen lentur karena terjadinya sendi plastis pada kaki dinding. Semakin tinggi suatu gedung, simpangan horisontal yang terjadi akibat lateral akan semakin besar, olehnya itu sering digunakan dinding geser pada struktur bangunan tinggi untuk memperkaku struktur sehingga simpangan yang terjadi dapat berkurang. Dinding geser juga berfungsi untuk mereduksi momen yang diterima struktur rangka sehingga dimensi struktur rangka dapat dibuat seefisien mungkin pada struktur bangunan tinggi akibat gaya lateral.

Gaya lateral yang terjadi pada suatu gedung, baik diakibatkan oleh beban gempa maupun angin akan disebar melalui struktur lantai yang berfungsi sebagai diafragma horizontal yang kemudian akan ditahan oleh dinding geser karena memiliki kekakuan yang besar untuk menahan gaya lateral (*Schueller, 1989*). Dinding geser dapat dianggap sebagai balok yang tebal karena kekakuannya dan berinteraksi terhadap gaya lateral serta lentur terhadap momen guling (*Overtuning Momen*). Kemampuan dinding geser dalam menahan gaya lateral, torsi, dan momen guling tergantung dari konfigurasi geometri, orientasi, dan lokasi dinding geser pada suatu bangunan.

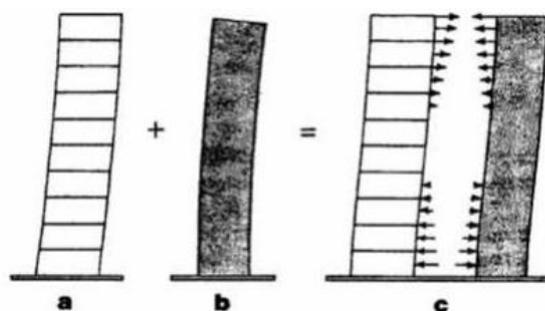
3. Perilaku Sistem Struktur Rangka – Dinding Geser (*Dual System*)

Dalam pelaksanaannya dinding geser selalu dihubungkan dengan sistem rangka pemikul momen. Dinding struktural yang biasa digunakan pada bangunan tinggi adalah dinding geser kantilever, dinding geser berangkai, dan sistem

rangka-dinding geser (*Dual System*). Kerja sama antara sistem rangka penahan momen dan dinding geser merupakan suatu keadaan khusus, dimana dua struktur yang berbeda sifat dan perilakunya digabungkan sehingga diperoleh struktur yang lebih ekonomis.

Semakin tinggi suatu gedung, penggunaan struktur rangka saja untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa menjadi kurang ekonomis karena akan menyebabkan dimensi struktur balok dan kolom yang dibutuhkan akan semakin besar untuk menahan gaya lateral. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur terhadap gaya lateral dapat digunakan kombinasi antara sistem rangka kaku dengan dinding geser (*Dual System*).

Pada struktur kombinasi ini, dinding geser dan kolom-kolom struktur akan dihubungkan secara kaku (*rigid*) oleh balok-balok pada setiap lantai bangunan. Dengan adanya hubungan yang *rigid* antara kolom, balok, dan dinding geser akan memungkinkan terjadinya interaksi antara struktur rangka dan dinding geser secara menyeluruh pada bangunan, dimana struktur rangka dan dinding geser akan bekerja bersama-sama dalam menahan beban yang bekerja baik itu beban gravitasi maupun beban lateral. Selain itu, dengan menggunakan sistem ganda ini, maka simpangan lateral akan jauh berkurang seiring dengan peningkatan jumlah lantai struktur. Semakin tinggi suatu struktur gedung, semakin kecil simpangan yang terjadi. Besarnya simpangan keseluruhan yang terjadi pada sistem rangka kaku-dinding geser diperoleh dengan cara menggabungkan perilaku kedua elemen tersebut seperti yang terdapat pada gambar berikut:



Gambar 4 | Perilaku Penggabungan Elemen *Rigid Frame* dan *Shear Wall*
(Sumber: Schueller, 1989)

Keterangan gambar 8:

- a. Deformasi mode geser untuk rangka kaku. Pada struktur rangka kaku, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada dasar struktur dimana terjadi geser maksimum.
- b. Deformasi mode lentur untuk dinding geser. Pada struktur dinding geser, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada bagian atas bangunan sehingga sistem dinding geser memberikan kekakuan paling kecil pada bagian atas bangunan.
- c. Interaksi antara rangka kaku dan dinding geser. Perbedaan sifat defleksi antara dinding geser dan rangka kaku menyebabkan dinding geser menahan simpangan rangka kaku pada bagian bawah, sedangkan rangka kaku akan menahan simpangan dinding geser pada bagian atas. Dengan demikian, geser akibat gaya lateral akan dipikul oleh rangka pada bagian atas bangunan dan dipikul oleh dinding geser dibagian bawah bangunan.

Berikut ialah fungsi utama dari penggunaan dinding geser (*shear wall*), yaitu:

- a. Kekuatan. Dinding geser harus memberikan kekuatan lateral yang diperlukan untuk melawan kekuatan gempa horisontal. Ketika dinding geser cukup kuat, mereka akan mentransfer gaya horisontal ini ke elemen berikutnya dalam jalur beban di bawah mereka, seperti dinding geser lainnya, lantai, pondasi dinding, lembaran atau footings.
- b. Kekakuan. Dinding geser juga memberikan kekakuan lateral untuk mencegah atap atau lantai di atas dari sisi goyangan yang berlebihan. Ketika dinding geser cukup kaku, mereka akan mencegah membingkai lantai dan atap anggota dari bergerak dari mendukung mereka. Juga, bangunan yang cukup kaku biasanya akan menderita kerusakan kurang nonstruktural.

E. Tinjauan Umum tentang Material Struktur Bangunan

Secara umum, material struktur bangunan dibagi menjadi 3 jenis, antara lain sebagai berikut:

1. Material Baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat tepat digunakan pada bangunan bertingkat tinggi karena material baja mempunyai kekuatan dan tingkat daktilitas yang tinggi bila dibandingkan dengan material-material struktur lainnya. Struktur baja memiliki sifat-sifat mekanis antara lain yaitu tegangan leleh (f_y), tegangan patah/*ultimate* (f_u), dan tegangan dasar (σ). Dimana penggunaan struktur baja harus disesuaikan dengan persyaratan minimum yang telah ditentukan (*SNI 03-1729-2002*).

2. Material Komposit(*Composite Structure*)

Struktur komposit merupakan gabungan antara dua jenis material atau lebih. Pada umumnya yang sering digunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Struktur komposit ini digunakan untuk bangunan tingkat menengah sampai dengan bangunan tingkat tinggi.

3. Material Beton (*Concrete Structure*)

Struktur beton ini biasanya digunakan pada bangunan tingkat menengah sampai dengan bangunan tingkat tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan bila dibandingkan dengan struktur lainnya karena struktur ini lebih monolit dan mempunyai umur rencana yang cukup panjang, serta mempunyai ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan struktur yang terbuat dari pasangan dinding bata.

Dalam pelaksanaan konstruksi, material beton paling sering dikombinasikan dengan material baja tulangan. Hal ini untuk mendapatkan kekakuan dan kekuatan struktur itu sendiri mengingat sifat baja yang tahan terhadap lendutan dan sifat daktilitasnya yang tinggi. Kombinasi material ini menghasilkan material beton bertulang (*Reinforced Concrete*). Penggunaan material ini sebelumnya perlu disesuaikan dengan mutu beton dan mutu baja tulangan terkait penggunaan material yang dapat mempengaruhi umur bangunan. Kelas atau mutu beton bertulang harus disesuaikan dengan persyaratan yang berlaku (*Peraturan Beton Indonesia, 1971* dan *SNI 03-2847-1992*).

Berikut ialah beberapa persyaratan terkait mutu beton dan baja tulangan yang akan digunakan dalam penginputan data struktural bangunan Apartemen berikut:

Tabel 2 | Mutu Baja Tulangan (Beban Tetap)

Mutu	Sebutan	Tegangan Tarik/Tekan yang diijinkan $\bar{\sigma}_a(\text{kg/cm}^2)$	Tegangan Leleh Karakteristik yang memberikan regangan tetap 0,2% $\sigma_{au}(\text{kg/cm}^2)$
U - 22	Baja Lunak	1250	2200
U - 24	Baja Lunak	1400	2400
U - 32	Baja Sedang	1850	3200
U - 39	Baja Keras	2250	3900
U - 48	Baja Keras	2750	4800
U - umum	-	$0.58 \times \sigma_{au}$	-

Sumber: PBI,1971

Tabel 3 | Kelas dan Mutu Beton (Beban Tetap)

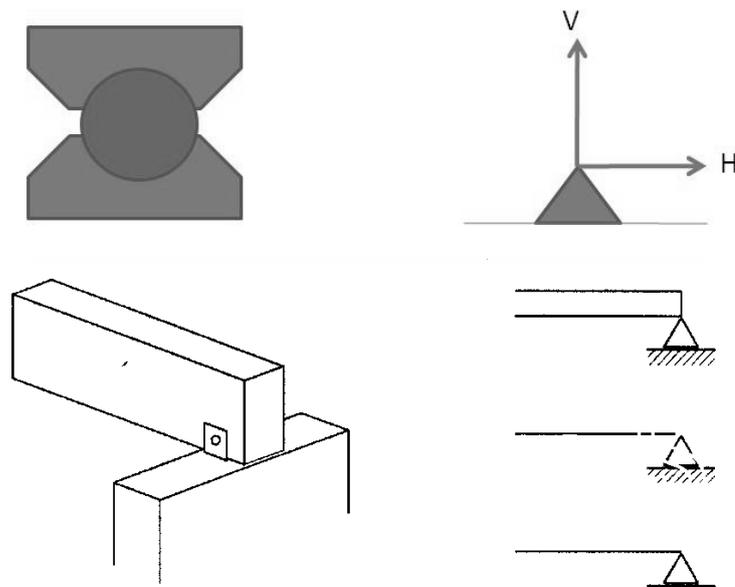
Kelas	Mutu	Tegangan Tekan Hancur Karakteristik $\sigma'_{bk}(\text{kg/cm}^2)$	Konversi ke f'c (MPa = N/mm²)
I	B ₀	-	-
II	B ₁	-	-
	K - 125	125	10
	K - 175	175	15
	K - 225	225	19
III	K - 300	300	25
	K - >300	-	$0,083 \times \sigma'_{bk}$

Sumber: PBI,1971

F. Tinjauan Umum tentang Prinsip Tumpuan Struktur Bangunan

Dalam struktur bangunan, tumpuan/landasan adalah tempat bersandarnya konstruksi dan tempat bekerjanya reaksi. Jenis tumpuan berpengaruh terhadap jenis konstruksi karena setiap tumpuan memiliki karakteristik dan prinsip sendiri. Berikut ialah secara umum jenis tumpuan yang sering dijumpai dalam bangunan beserta prinsipnya, sebagai berikut:

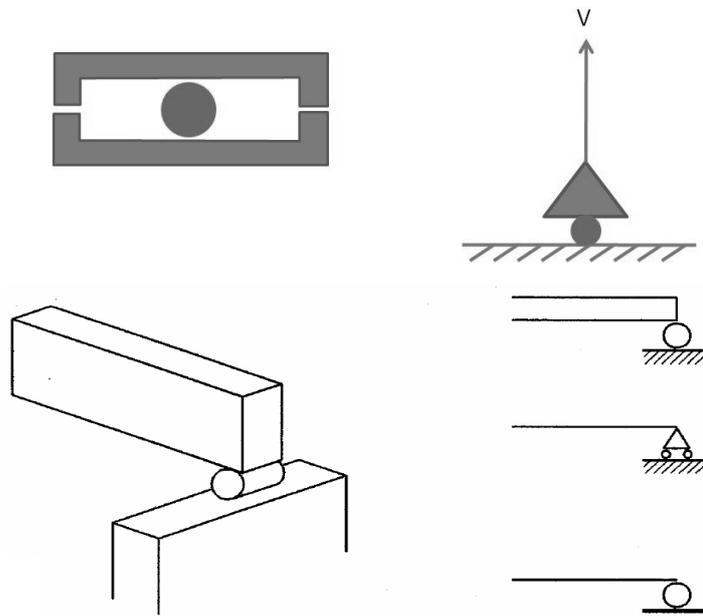
1. Tumpuan Sendi/Engsel, memiliki prinsip yaitu:
 - a. Untuk menahan gaya tekan, tarik dengan arah sembarang, melalui pusat sendi.
 - b. Tidak dapat menahan momen atau meneruskan momen.
 - c. Diproyeksikan atas reaksi vertikal dan horisontal.



Gambar 5 | Jenis Tumpuan Sendi

(Sumber: Schierle, 2006)

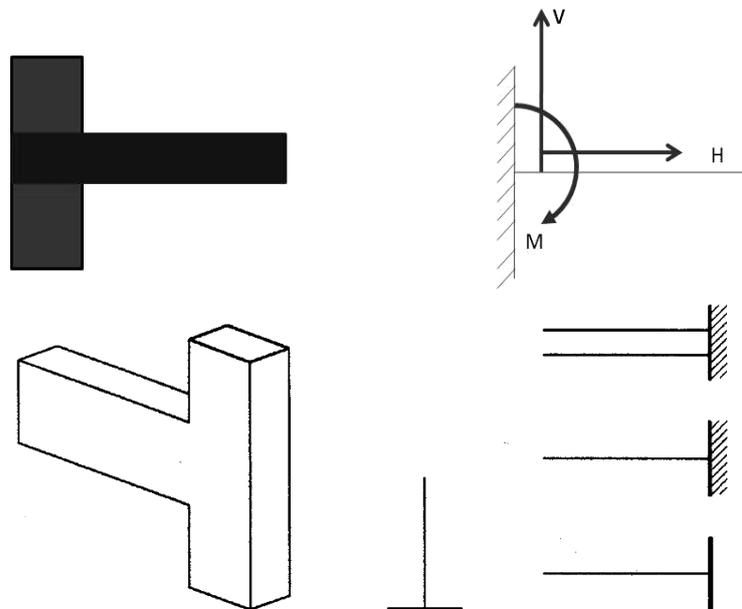
2. Tumpuan Rol, memiliki prinsip yaitu:
 - a. Untuk menahan gaya tarik dan tekan sembarang arah, hanya arah vertikal.
 - b. Diproyeksikan atas reaksi vertikal.



Gambar 6 | Jenis Tumpuan Rol

(Sumber: Schierle, 2006)

3. Tumpuan Jepit, memiliki prinsip yaitu:
 - a. Dapat menahan gaya tarik dan tekan sembarang arah.
 - b. Dapat meneruskan momen.
 - c. Diproyeksikan atas reaksi vertikal, horisontal dan momen.



Gambar 7 | Jenis Tumpuan Jepit

(Sumber: Schierle, 2006)

Tabel 4 | Prinsip Tingkat Derajat Kebebasan Tiap Jenis Tumpuan

Tipe Tumpuan	Tingkat Derajat Kebebasan		
	Gerak Horisontal	Gerak Vertikal	Rotasi
Sendi/Engsel	Tetap	Tetap	Bebas
Rol	Bebas	Tetap	Bebas
Jepit	Tetap	Tetap	Tetap

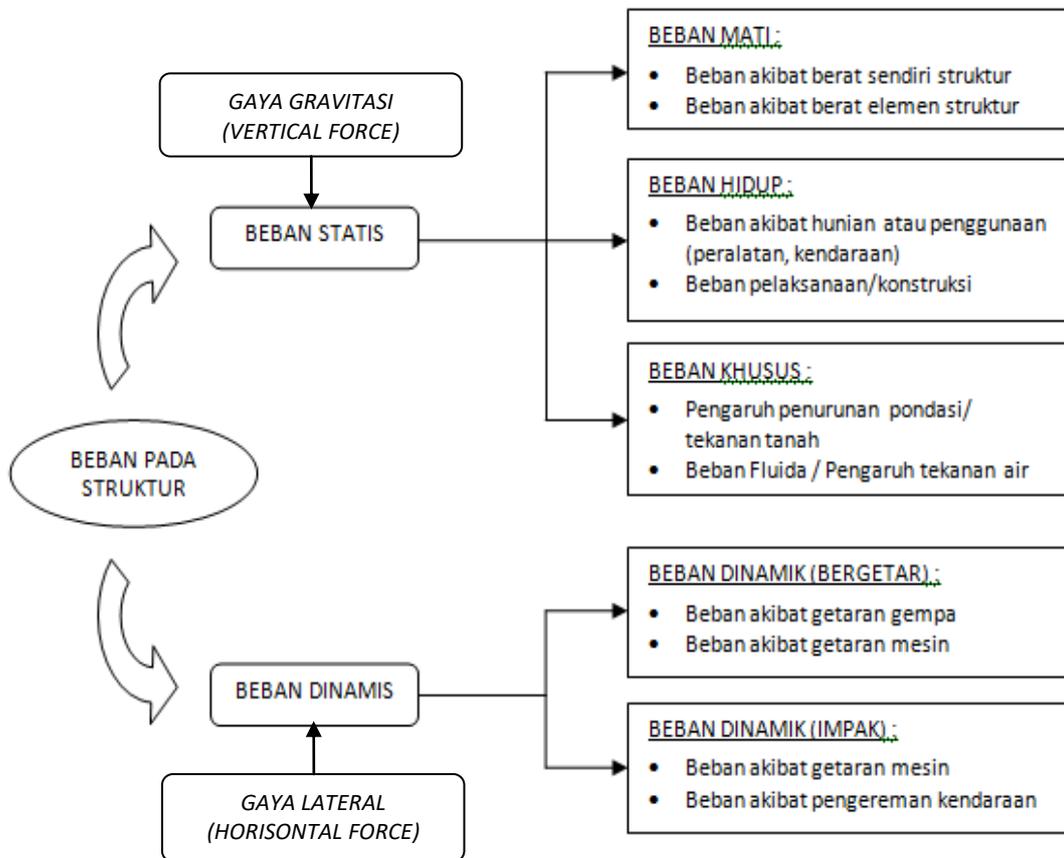
Sumber: Schierle, 2006

Jenis tumpuan mempengaruhi cara analisis dan kemampuan daya dukung suatu konstruksi. Utamanya pada elemen struktur balok. Balok-balok pada sistem struktur rangka (*rigid frame*) umumnya merupakan tumpuan sendi dengan arah dan besarnya reaksi tidak diketahui. Tumpuan ini sifatnya dapat menahan gerak translasi benda yang ditumpunya dalam segala arah, tetapi tidak dapat menahan gerak rotasi benda dalam arah sumbu-sumbu tertentu dari benda yang ditumpunya. Sehingga digolongkan ke dalam konstruksi statis tak tentu dan tidak dapat dianalisis dengan tiga persamaan statis ($\sum H=0$, $\sum V=0$, $\sum M=0$).

Sedangkan untuk balok-balok pada bagian pondasi bangunan tinggi memungkinkan bekerja tumpuan jepit dikarenakan pondasi bersifat *fixed*. Dimana tumpuan jepit memiliki arah, besar gaya reaksinya tidak diketahui, serta dapat menahan momen atau kopel dalam segala arah. Tumpuan ini sifatnya kokoh, sehingga dapat menahan gaya translasi dan rotasi dalam segala arah dari benda yang ditumpunya.

G. Tinjauan Umum tentang Pembebanan Struktur Bangunan

Dalam melakukan analisis struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis. Secara umum, beban statis dikategorikan sebagai gaya gravitasi (*Vertical Force*) sedangkan beban dinamis dikategorikan sebagai gaya lateral (*Horisontal Force*). Berikut ialah skema jenis pembebanan struktur bangunan:



Gambar 8 | Skema Pembebanan Struktur Bangunan

(Sumber: Penulis, 2021)

1. Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada suatu struktur. Beban statis dipengaruhi oleh gaya gravitasi atau gaya vertikal (*vertical force*). Pada struktur rangka kaku (*rigid frame*), struktur balok dan kolom akan memikul beban-beban vertikal dan selanjutnya diteruskan ke tanah. Dimana, balok terletak bebas di atas kolom. Sehingga pada saat beban menyebabkan momen pada balok, ujung-ujung balok berotasi di ujung atas kolom. Sudut yang dibentuk antara ujung balok dan ujung atas kolom berubah. Tetapi pada struktur rangka kaku, rotasi bebas yang terjadi pada ujung kolom mencegah rotasi bebas balok. Hal ini dikarenakan ujung atas kolom dan balok berhubungan secara kaku.

Akibat dari hubungan kaku tersebut adalah kolom menerima momen lentur serta gaya aksial akibat ujung kolom cenderung memberikan tahanan

rotasionalnya. Ini berarti desain kolom menjadi relatif lebih rumit. Titik hubung kaku berfungsi sebagai satu kesatuan. Besar rotasi titik hubung tergantung pada kekakuan relatif antara balok dan kolom. Bila kolom semakin relatif kaku terhadap balok, maka kolom lebih mendekati sifat jepit terhadap ujung balok, sehingga rotasi titik hubung semakin kecil. Berikut ialah jenis dari beban statis, antara lain yaitu:

a. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan dipengaruhi oleh karakteristik bangunan. Sifat beban mati permanen dan termasuk material konstruksi dan komponen bangunan gedung seperti dinding, pemisah, kolom, lantai, atap, *finishing*, dan mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung (*PPURG, 1987*). Beban mati dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIG) 1983 atau Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987. Berikut ialah berat satuan beberapa material yang menjadi acuan dalam perhitungan berdasarkan peraturan yang berlaku, yaitu:

Tabel 5 | Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

BAHAN BANGUNAN	
Baja	7850 kg/m ³
Batu Alam	2600 kg/m ³
Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m ³
Batu Karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu Pecah	1450 kg/m ³
Besi Tuang	7250 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Kayu (kelas 1)	1000 kg/m ³
Kerikil, koral	1650 kg/m ³
Pasangan Bata Merah	1700 kg/m ³
Pasangan Batu Belah, Batu Belat, Batu Gunung	2200 kg/m ³
Pasangan Batu Cetak	2200 kg/m ³

Pasangan Batu Karang	1450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m ³
Pasir, kerikil, koral (kering udara – lembab)	1850 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (kering udara – lembab)	1700 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (basah)	2000 kg/m ³
Tanah Hitam (timbel)	11400 kg/m ³
KOMPONEN GEDUNG	
Adukan, per cm tebal:	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding Pasangan Bata Merah:	
- Satu Bata	450 kg/m ²
- Setengah Bata	250 kg/m ²
Dinding Pasangan Batako Berlubang:	
- Tebal dinding 20 cm	200 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm	120 kg/m ²
Dinding Pasangan Batako Tanpa Lubang:	
- Tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Dinding Pasangan Hebel	200 kg/m ²
Langit-Langit:	
- Serat semen, tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- Kaca, tebal 3-4 mm	10 kg/m ²
Plafon dan Penggantung	18 kg/m ²
Penutup Atap:	
- Genteng/Kaso/Reng per m ² luas atap	50 kg/m ²
- Sirap/Kaso/Reng per m ² luas atap	24 kg/m ²
- Serat Semen Gelombang (tebal maksimum 5 mm)	10 kg/m ²
- Alumunium Gelombang	5 kg/m ²
Penutup Lantai:	
- Terasso, Keramik & Beton	24 kg/m ²
- Granit	95 kg/m ²
Mekanikal dan Elektrikal	50 kg/m ²

Sumber: PPURG, 1987

b. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan/*occupancy load* suatu gedung termasuk didalamnya beban lantai, beban pada atap selain beban angin serta beban alat atau konstruksi yang sifatnya dapat berpindah atau bergerak yang mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai atau atap (PPURG,1987). Beban ini bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat juga berarah horisontal. Beban hidup untuk bangunan gedung yang menjadi acuan dalam perhitungan berdasarkan peraturan yang berlaku, yaitu:

Tabel 6 | Beban Hidup pada Lantai Struktur

BEBAN HIDUP PADA LANTAI STRUKTUR	
Lantai pada rumah tinggal	200 kg/m ²
Lantai dan rumah tinggal sederhana	125 kg/m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²
Lantai ruang olahraga	400 kg/m ²
Lantai ruang dansa	500 kg/m ²
Lantai dan balkon ruang pertemuan, bioskop, ibadah	400 kg/m ²
Panggung penonton dengan penonton berdiri	500 kg/m ²
Tangga, bordes tangga dan gang bangunan umum	300 kg/m ²
Tangga, bordes tangga dan gang gedung pertemuan	500 kg/m ²
Lantai ruang perlengkapan gedung pertemuan	250 kg/m ²
Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang mesin	400 kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat:	
- untuk lantai bawah	800 kg/m ²
- untuk lantai tingkat lainnya	400 kg/m ²
Balkon yang menjorok bebas keluar	300 kg/m ²

Sumber: PPURG, 1987

2. Beban Dinamis

Beban Dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Dimana bersifat dinamis atau tidak tetap (*Unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Beban ini dipengaruhi oleh gaya lateral atau gaya horisontal (*horisontal force*) seperti angin dan gempa.

Pada struktur rangka kaku (*rigid frame*), perilaku struktur kolom dan balok terhadap beban horisontal sangat berbeda. Struktur kolom dan balok dapat dikatakan hampir tidak mempunyai kemampuan sama sekali untuk memikul beban horisontal. Gaya lateral atau beban horisontal mengakibatkan munculnya momen lentur, gaya geser dan gaya aksial pada tiap elemen balok dan kolom. Dan seringkali momen tersebut mencapai maksimum pada penampang dekat titik hubung. Sehingga, ukuran elemen struktur kolom dan balok di bagian yang dekat dengan titik hubung pada umumnya dibuat besar atau diperkuat bila gaya lateralnya cukup besar.

Begitu pula pada bangunan tinggi, dimana semakin tinggi bangunan, maka akan semakin besar pula momen dan gaya-gaya pada setiap elemen struktur. Kolom terbawah umumnya memikul gaya aksial dan momen lentur terbesar. Bila beban lateral itu sudah sangat besar, maka diperlukan kontribusi elemen struktur lainnya untuk memikul, misalnya dengan menggunakan pengekang (*bracing*) atau dinding geser (*shear wall*). Berikut ialah jenis dari beban dinamis, yaitu:

a. Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada bangunan, atau bagian bangunan, yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan tersebut dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang telah ditentukan dan koefisien angin (*PPURG, 1987*).

Tekanan tiup yang harus diambil minimum 25 kg/m². Namun, bila terdapat kemungkinan kecepatan angin akan mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar, maka tekanan tiup harus dihitung menurut rumus berikut:

$$p = \frac{v^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: v adalah kecepatan angin dalam m/detik

p adalah tekanan tiup yang ditimbulkan

b. Beban Gempa (*Earth Quake Load*)

Beban Gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari getaran tanah akibat gempa tersebut. Ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka yang diartikan beban gempa ialah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh getaran tanah akibat gempa tersebut (*Jimmy S.Juwana, 2005*). Berdasarkan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002) tentang peraturan gempa yang berlaku di Indonesia, standar tersebut perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur gedung yang ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun. Olehnya itu, bangunan yang direncanakan perlu dikategorikan jenis struktur apakah beraturan atau tidak beraturan sesuai SNI tersebut.

3. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan buku Rancangan Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung 2013, disebutkan bahwa kombinasi pembebanan yang harus diperhitungkan pada perancangan struktur bangunan gedung adalah:

Tabel 7 | Kombinasi Pembebanan

Nama Kombinasi	Kombinasi Pembebanan	Jenis Kombinasi
Kombinasi 1 Kombinasi 2	1,4 <i>DL</i> 1,2 <i>DL</i> + 1,6 <i>LL</i>	Kombinasi Pembebanan Tetap (akibat beban mati dan hidup)
Kombinasi 3 Kombinasi 4 Kombinasi 5 Kombinasi 6 Kombinasi 7	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1 <i>EQ_x</i> 1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> - 1 <i>EQ_x</i> 1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1 <i>EQ_y</i> 1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> - 1 <i>EQ_y</i> 1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1,3 <i>W</i>	Kombinasi Pembebanan Sementara (akibat beban mati, hidup, angin dan gempa statik)
Kombinasi 8 Kombinasi 9 Kombinasi 10	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1 <i>RSP_x</i> + 0,3 <i>RSP_y</i> 1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 0,3 <i>RSP_x</i> + 1 <i>RSP_y</i> 1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> - 1 <i>RSP_x</i> + 0,3 <i>RSP_y</i>	Kombinasi Pembebanan Sementara (akibat beban mati, hidup, angin dan gempa dinamik respons spektrum)
Kombinasi 11 Kombinasi 12	1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> + 1 <i>EQ_x</i> 1,2 <i>DL</i> + 0,5 <i>LL</i> - 1 <i>EQ_x</i>	Kombinasi Pembebanan Sementara (akibat beban mati, hidup, angin dan gempa dinamik time history)

Sumber: SNI 03-1726,2002

Dimana: *DL* = beban mati (*Dead Load*)

LL = beban hidup (*Live Load*)

E_x = beban gempa arah *x*

E_y = beban gempa arah *y*

I = faktor keutamaan struktur

R = faktor reduksi gempa