

**ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PENELITIAN
30 LANTAI DENGAN PENDEKATAN MONOLITIK & DIALEKTIK**

SKRIPSI RISET
TUGAS AKHIR
PERIODE I

OLEH:
GIOVANNI CLARESTA TATO
D51113317



DEPARTEMEN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2020

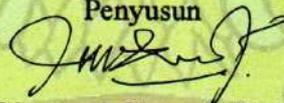


HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PENELITIAN
30 LANTAI DENGAN PENDEKATAN MONOLITIK & DIELEKTIK**

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

Penyusun

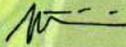


Giovanni Claresta Tato
D511 13 317

Gowa, 18 Agustus 2020

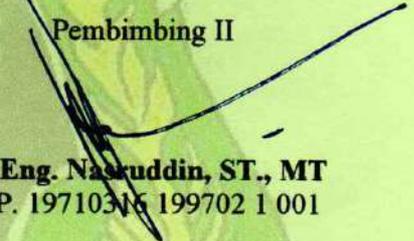
Menyetujui

Pembimbing I



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

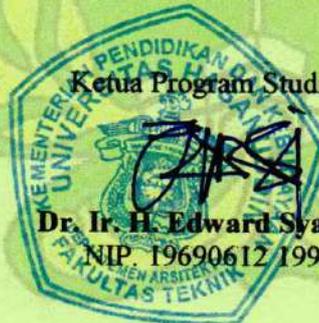
Pembimbing II



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

Mengetahui

Ketua Program Studi Arsitektur



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



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Giovanni

NIM : D511 13 317

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, Agustus 2020

Yang menyatakan,



GIOVANNI CLARESTA TATO



ABSTRAK

Tato, Giovanni Claresta. *Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian Energi Terbarukan 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Victor Sampebulu, M.Eng dan Dr. Eng. Nasruddin, ST, MT)

Struktur merupakan entitas fisik yang menyalurkan beban bangunan sehingga bangunan dapat berdiri dan menjalankan fungsinya. Perkembangan teknologi dan struktur yang semakin maju mempengaruhi model bentuk bangunan menjadi semakin tidak monoton. Struktur semakin beragam agar dapat mengakomodasi bentuk bangunan tetapi tetap mengindahkan efisiensi dan efektifitas struktur yang digunakan. Selanjutnya menjadi pertanyaan bagaimanakah hubungan aspek arsitektur dengan struktur, bagaimanakah mewujudkan struktur yang ekspresif serta bagaimana efektifitas struktur tersebut.

Penelitian ini mengkaji hubungan bentuk bangunan dengan sistem struktur yang dipilih berdasarkan teori hubungan bentuk dan struktur dalam arsitektur kemudian mengkaji perbandingan efektifitas kinerja kedua sistem struktur tersebut pada bangunan *free-form* yang dirancang dari segi kekakuan dan kekuatannya dengan menggunakan program analisa struktur ETABS 2016. Data hasil penelitian berupa data kuantitatif. Teori dan data-data yang digunakan mengacu pada Standar Nasional Indonesia dan pedoman-pedoman resmi dalam merencanakan struktur dan pembebanan suatu bangunan. Hasil penelitian menghasilkan analisa simpangan antar lantai maksimum, kekakuan lantai, momen inersia massa serta analisa kinerja batas struktur bangunan baik itu kinerja batas layan, kinerja batas ultimit dan kinerja struktur bangunan menurut ATC-40.



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke Hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala kasih-Nya dan kebaikan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi untuk menyelesaikan studi S1 pada Jurusan Arsitektur Universitas Hasanuddin, meskipun melalui berbagai kendala. Adapun judul dari skripsi tugas akhir ini adalah:

ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PENELITIAN ENERGI TERBARUKAN 26 LANTAI DENGAN PENDEKATAN MONOLITIK DAN DIALEKTIK

Terkait dengan selesainya penulisan skripsi tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- 1) Bapak **Prof. Dr. Ir. Victor Sampebulu, M. Eng.** dan **Dr. Eng. Nasruddin, ST., MT.** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan perhatiannya untuk membimbing dan membagi ilmunya.
- 2) Bapak **Dr. H. Edward Syarif, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- 3) Bapak **Dr. Eng. Nasruddin, ST., MT.** selaku Kepala Laboratorium Struktur, Konstruksi dan Material Bangunan atas arahan yang telah diberikan.
- 4) Ibu **Pratiwi Mushar, ST., MT.** selaku dosen Lab. Struktur yang selalu semangat memberi bimbingan, dukungan dan arahan mulai dari awal penelitian hingga skripsi ini ditulis.
- 5) Bapak **Dr. Mohammad Mochsen Sir, ST., MT.** selaku dosen penasihat akademik (PA) penulis.
- 6) Seluruh dosen dan staff **Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin** atas ilmu-ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama ini.

Untuk orang tua saya, Bapak **Peters Tato** dan Ibu **Nurhayati Manggasa**, serta kakak dan adik saya, **Maxy Kurnia B., S.T., Phedra B.T, Amd.Tek** dan **Utha** yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa tanpa henti.

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | ii



- 8) Saudara **Leonardo Mallangi, S.T.** selaku mentor dalam menggunakan software ETABS 2016.
- 9) Sahabat-sahabat saya, **WS'ers** (mamake **Annisa Vigilanty P., S.Ked**, madam **Siti Nurul Azizah M, S. Hut**, mamak **dr. Annisa Rahmah, S.Ked**, ibook **Aisyah Ade N, S.T.**, mamud **A. Nurhana Andipa, S.Hum** dan **almh. dr. Putri Aprilla, S.Ked**), **Bocah-Bocah** (**Milzam Haidi S, S.Ked, Muh. Irsyad, S. H, Wisnu, S.T** dan **Anastasya Shilla**), **dr. Trivana Renmaur, S.Ked, Lucky Amping, S.T., Khairul Ihsan Hajir** dan **Haslinda Magfirah** yang tidak henti-hentinya memberi semangat dan menemani penulis dalam suka dan duka.
- 10) Partner lab **Tri Adipati Putra, S.T.** dan **Yudistira Dandan, S.T, IAI** yang memberi bimbingan dalam menggunakan software Revit 2020.
- 11) Saudara **Bisma Anggara Rahman** yang membantu dalam pemodelan struktur diagrid menggunakan software Rhino6.
- 12) Saudari **Nurul Lathifah** yang dengan tulus ikhlas membantu 24x7 jam dalam pengurusan berkas-berkas ujian serta **Rumpi'ers** yang selalu setia hadir dalam seminar dan berbagi informasi penting
- 13) Teman-teman **Jurusan Arsitektur 2013** dan teman-teman di Laboratorium Struktur, Konstruksi, dan Material Bangunan.
- 14) Semua pihak lainnya yang telah membantu penulisan skripsi tugas akhir ini.

Penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritikan yang konstruktif senantiasa diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan karya ini ke depan. Demikian skripsi ini disusun, semoga dapat bermanfaat. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Gowa, 2020

Penulis

Giovanni Claresta Tato



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan dan Sasaran Pembahasan	4
D. Ruang Lingkup Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Estetika Bangunan	5
B. Fasad Bangunan	7
C. Struktur Bangunan	8
D. Penggunaan Material-material Struktural	9
E. Ekspos Struktur dalam Desain Arsitektur	10
F. Hubungan Bentuk dan Struktur Dalam Arsitektur	12
1. Heinz Frick: Hubungan Antara Tugas, Bentuk, Konstruksi, dan Bahan Bangunan	13
Angus J. McDonald: Hubungan Antara Struktur dan Arsitektur	14
Andrew W. Charleson: Hubungan Antara Bentuk Arsitektural dan Bentuk Struktural	18



G.	Tinjauan Desain Struktur	23
H.	Balok	26
I.	Kolom	29
J.	Pelat Lantai	29
K.	<i>Diagrid</i>	30
L.	<i>Shear Wall</i>	33
M.	Keamanan Struktur	35
N.	Beton Bertulang	37
	1. Pengertian Beton dan Beton Bertulang	37
	2. Material Baja Tulangan	40
O.	Bangunan Tinggi Sebagai Integrasi Multi Sistim	42
P.	Bangunan Tinggi Sebagai Metafora Monolitik	43
Q.	Beban Struktur	46
	1. Beban Hidup	46
	2. Beban Mati	47
	3. Beban Angin	48
	4. Beban Gempa	48
R.	Aplikasi ETABS v16.2.1	54
	1. Model Struktur	54
	2. Sistem Koordinat	55
	3. Metode Analisis Gempa Respon Spektrum di ETABS v16.2.1	55
S.	Penelitian Terdahulu.....	57
T.	Kerangka Konsep	60
 BAB III METODE PENELITIAN		
A.	Teknik Analisis Data	61
B.	Metode Pengumpulan Data	61
C.	Metode Analisis Data	62
	Perhitungan	63
	Forum Penelitian	63
	Autodesk Revit 2020	63



2.	CSI ETABS v16.2.1	64
F.	Penyajian Laporan dan Teknik Penggambaran	65
G.	Data Non Teknis	66

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A.	Tinjauan Umum	67
B.	Kriteria Desain dan Struktur	67
1.	Struktur Model Bangunan	67
2.	Material <i>Properties</i>	68
3.	<i>Section Properties</i>	71
C.	Model Bangunan dengan Revit 2020 dan ETABS v.16.2	77
D.	Pembebanan Terhadap Model Struktur	80
1.	Beban Mati	80
2.	Beban Hidup dan Beban Air Hujan	83
3.	Beban Angin	85
4.	Beban Gempa pada Analisis Dinamik Respon Spektrum	85
5.	Beban Kombinasi	87
E.	Analisis Hubungan Bentuk Bangunan dengan Sistem Struktur yang Dipilih Berdasarkan Teori Hubungan Bentuk dan Struktur dalam Arsitektur	88
1.	Hubungan Bentuk Dasar dengan Pengembangan Bentuk Struktural	90
2.	Hubungan Fasad Bangunan dengan Pengembangan Bentuk Struktural	92
3.	Hubungan Artikulasi Bangunan dengan Pengembangan Bentuk Struktural	98
4.	Hubungan Bentuk Dasar dengan Persyaratan Struktur	101
5.	Hubungan Fasad dengan Persyaratan Struktur	102
6.	Hubungan Artikulasi Bangunan dengan Persyaratan Struktur	107
	Hubungan Bentuk Dasar dengan Penyaluran Beban	108
	Hubungan Fasad dengan Penyaluran Beban	109



9. Hubungan Artikulasi Bangunan dengan Penyaluran Beban.....	113
10. Matriks Hubungan Bentuk Bangunan dengan Rancangan Struktur Diagrid	115
11. Matriks Hubungan Bentuk Bangunan dengan Rancangan Struktur Inclined Column-Belt Wall	117
F. Perbandingan Efektifitas Kinerja Sistem Struktur pada Bangunan <i>Free-form</i>	118
1. Analisa <i>Story Responses</i>	119
2. Kinerja Batas Struktur Bangunan	162
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	179
B. Saran	183
DAFTAR PUSTAKA	xii



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Hubungan Struktur	14
Tabel 2	Nilai Tegangan Ijin Berdasarkan Mutu Beton	38
Tabel 3	Nilai Tegangan Ijin Tulangan Baja Berdasarkan Mutu U	40
Tabel 4	Mutu Mekanis Baja Tulangan Beton	41
Tabel 5	Nilai Beban Mati Berdasarkan Fungsi Bangunan	45
Tabel 6	Beberapa Berat Beban Mati Komponen Bangunan	46
Tabel 7	Percepatan Puncak pada Batuan Dasar dan Muka Tanah untuk Tiap-tiap Zona Gempa di Indonesia	49
Tabel 8	Kategori Resiko Gempa pada Bangunan	51
Tabel 9	Faktor Keutamaan Gempa	52
Tabel 10	Nilai Reduksi Gempa	52
Tabel 11	Simpangan antar Lantai Ijin, $\Delta_a^{a,b}$	109
Tabel 12	Simpangan antar Lantai Ijin Maksimum tiap Lantai, $\Delta_a^{a,b}$	109
Tabel 13	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk Beban Angin	111
Tabel 14	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk <i>RSPx</i>	113
Tabel 15	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk <i>RSPy</i>	115
Tabel 16	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk <i>Roof Live</i>	118
Tabel 17	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk 1,4 <i>D</i> + 1,4 <i>SW</i>	120
Tabel 18	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk 1,2 <i>D</i> + 1,2 <i>SW</i> + 1,6 <i>L</i>	123
Tabel 19	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk 1,2 <i>D</i> + 1,2 <i>SW</i> + 0,5 <i>L</i> + 1 <i>RSPx</i>	125
Tabel 20	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk 1,2 <i>D</i> + 1,2 <i>SW</i> + 0,5 <i>L</i> - 1 <i>RSPx</i>	128
Tabel 21	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk 1,2 <i>D</i> + 1,2 <i>SW</i> + 0,5 <i>L</i> + 1 <i>RSPy</i>	130
	Perbandingan <i>Story Displacement</i> Untuk 1,2 <i>D</i> + 1,2 <i>SW</i> + 0,5 <i>L</i> - 1 <i>RSPy</i>	133
	Perbandingan <i>Shear</i> Untuk Beban Angin	136



Tabel 24	Perbandingan <i>Stiffness</i> Untuk Beban Angin	137
Tabel 25	Perbandingan <i>Shear</i> Untuk Beban <i>RSPx</i>	139
Tabel 26	Perbandingan <i>Stiffness</i> Untuk Beban <i>RSPx</i>	141
Tabel 27	Perbandingan <i>Shear</i> Untuk Beban <i>RSPy</i>	143
Tabel 28	Perbandingan <i>Stiffness</i> Untuk Beban <i>RSPy</i>	145
Tabel 29	Perbandingan MMI	148
Tabel 30	Perbandingan Massa Bangunan	149
Tabel 31	Data Beban Untuk <i>Wt</i>	151
Tabel 32	Data <i>Base Shear Diagrid</i>	151
Tabel 33	Data <i>Base Inclined Column-Belt Wall</i>	152
Tabel 34	Kinerja Layan Struktur <i>Diagrid</i> Beban <i>RSPx</i>	153
Tabel 35	Kinerja Batas Layan Struktur <i>Diagrid</i> Beban <i>RSPy</i>	154
Tabel 36	Kinerja Batas Layan Struktur <i>Inlined Col.-Belt</i> Beban <i>RSPx</i>	155
Tabel 37	Kinerja Batas Layan Struktur <i>Inlined Col.-Belt</i> Beban <i>RSPy</i>	157
Tabel 38	Kinerja Batas Ultimit Struktur <i>Diagrid</i> Beban <i>RSPx</i>	159
Tabel 39	Kinerja Batas Ultimit Struktur <i>Diagrid</i> Beban <i>RSPy</i>	161
Tabel 40	Kinerja Batas Ultimit Struktur <i>Inlined Col.-Belt</i> Beban <i>RSPx</i>	162
Tabel 41	Kinerja Batas Ultimit Struktur <i>Inlined Col.-Belt</i> Beban <i>RSPy</i>	164
Tabel 42	Kinerja Batas Ultimit Struktur <i>Inlined Col.-Belt</i> Beban <i>RSPy</i>	165



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Jewish Museum, oleh Daniel Libeskind	12
Gambar 2	Science Museum, oleh Santiago Calatrava	12
Gambar 3	Menara Eifel	12
Gambar 4	Patung Liberty	12
Gambar 5	Hubungan ke-1 (kiri) dan Hubungan ke-2 (kanan)	13
Gambar 6	Ornamentasi Struktur: Parthenon, Athena (kiri) dan Pallazo Valmarana, Vicenza (kanan)	14
Gambar 7	Struktur Sebagai Ornamen	15
Gambar 8	Struktur Sebagai Arsitektur Crystal Palace (kiri), Patara Building (tengah), dan John Hancock Building (kanan)	16
Gambar 9	Struktur Sebagai Penghasil Bentuk Villa Savoye (kiri) dan Chrysler Building (kanan)	17
Gambar 10	Struktur yang Diabaikan: Museum Guggenheim di Bilbao (kiri) dan Notre Dame du Haunt, Ronchamp (kanan)	17
Gambar 11	Dulles International Airport (kiri) dan Velasca Tower, Milan (kanan)	19
Gambar 12	Syarat-syarat Penulangan Balok	27
Gambar 13	Jenis-jenis Kolom	28
Gambar 14	Sistem Plat Lantai	29
Gambar 15	(a) Swiss Re (b) CCTV Headquarters (c) Mode Gakuen Spiral Tower (d) Capital Gate (e) Bow Project	30
Gambar 16	Koneksi pada Elemen <i>Diagrid</i>	31
Gambar 17	<i>Bearing walls, frame wall</i> dan <i>core wall</i>	34
Gambar 18	Sistim Tetrahedron dan Kemungkinan Kombinasi Sistim Bangunan	42
Gambar 19	BSIH Matrix: Hubungan Kombinasi Sistim dan Level Integrasi	42
Gambar 20	Gedung Tinggi Monolitik Bank of China, Hongkong	43
Gambar 21	Gedung Tinggi Modern Structural Art Skycraper, Sears Tower Chicago	43



Gambar 22 Gedung Tinggi Postmodern Contemporary Art Skycraper, Jin Mao Tower	43
Gambar 23 Peta Zonasi Gempa di Indonesia	48
Gambar 24 Grafik Spektrum Koef. Gempa Dasar (C) Tiap-tiap Zonasi	49
Gambar 25 Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia Untuk S1	50
Gambar 26 Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia Untuk SS	50
Gambar 27 Aplikasi Autodesk Revit 2020	59
Gambar 28 Aplikasi CSI ETABS v16.2.1	60
Gambar 29 Penginputan Spesifikasi Material Beton di Aplikasi ETABS	65
Gambar 30 Penginputan Spesifikasi Material Beton Ringan di Aplikasi ETABS	66
Gambar 31 Penginputan Spesifikasi Material Baja Tulangan di Aplikasi ETABS	67
Gambar 32 Penginputan Spesifikasi Balok di Aplikasi ETABS	69
Gambar 33 Penginputan Spesifikasi Kolom di Aplikasi ETABS	70
Gambar 34 Penginputan Spesifikasi <i>Diagrid</i> di Aplikasi ETABS	72
Gambar 35 Penginputan Spesifikasi <i>Shear Wall</i> di Aplikasi ETABS (2)	72
Gambar 36 Penginputan Spesifikasi <i>Shear Wall</i> di Aplikasi ETABS (3)	73
Gambar 37 Pemodelan Sistem <i>Diagrid</i> dengan Menggunakan Revit 2020 ...	74
Gambar 38 Pemodelan Sistem <i>Diagrid</i> dengan Menggunakan ETABS V16.2	74
Gambar 39 Pemodelan Sistem <i>Inclined Column-Belt Wall</i> dengan Menggunakan Revit 2020	75
Gambar 40 Pemodelan Sistem <i>Inclined Column-Belt Wall</i> dengan Menggunakan ETABS V16.2	75
Gambar 41 Penginputan Nilai Beban Mati Plat Lantai yang memiliki <i>Playfond</i> di ETABS V16.2	77
Gambar 42 Hasil Penginputan Nilai Beban Mati Plat Lantai yang memiliki <i>Playfond</i> di ETABS V16.2	77
Gambar 43 Penginputan Nilai Beban Mati Plat Lantai yang tidak memiliki <i>Playfond</i> di ETABS V16.2	78
Gambar 44 Penginputan Nilai Beban Mati Merata Pada Balok Lantai di ETABS V.16.2	78
Gambar 45 Hasil Penginputan Nilai Beban Mati Merata Pada Balok Lantai	



di ETABS V.16.2	78
Gambar 46 Penginputan Nilai Beban Mati Plat Atap di ETABS V.16.2	79
Gambar 47 Penginputan Nilai Beban Hidup Plat Lantai di ETABS V.16.2 ...	79
Gambar 48 Penginputan Nilai Beban Hidup Plat Basement di ETABS V.16.2	80
Gambar 49 Penginputan Nilai Beban Hidup Plat Basement Terbawah di ETABS V.16.2	80
Gambar 50 Penginputan Nilai Beban Hujan (<i>Roof Live</i>) pada Plat Atap di ETABS V.16.2	80
Gambar 51 Penginputan Nilai Beban Angin (<i>Wind</i>) pada <i>Frame</i> di ETABS V.16.2	81
Gambar 52 Grafik Respon Spektrum Tanah di Kota Makassar	82
Gambar 53 Hubungan ke-1	85
Gambar 54 Hubungan ke-1 pada Pendekatan Monolitik	87
Gambar 55 Hubungan ke-1 pada Pendekatan Dialektik	87
Gambar 56 Area Bersudut (kuning) digunakan Sebagai Zona Kantor dan Sirkulasi	88
Gambar 57 Bentuk Fasad dari 2 Garis Dinamis	88
Gambar 58 Gaya-gaya pada Bangunan	89
Gambar 59 Diagram Gaya Aksial pada Kombinasi Beban $1,4 D + 1,4 SW$...	90
Gambar 60 Sistem Struktur <i>Diagrid</i>	91
Gambar 61 Perbedaan Kerapatan Unit Triangulasi <i>Diagrid</i>	92
Gambar 62 Area Kurang Efektif pada Bangunan Miring	92
Gambar 63 Sistem Struktur <i>Inclened Column-Belt Wall</i>	93
Gambar 64 Diagram Rasio Interaksi P-M-M Kolom <i>Diagrid</i>	96
Gambar 65 Diagram Presentasi Rebar <i>Diagrid</i>	96
Gambar 66 Aksi Reaksi pada Tumpuan Kolom Miring	98
Gambar 67 Diagram Rasio Interaksi P-M-M <i>Incl. Column-Belt Wall</i>	99
Gambar 68 Pendekatan Poligonal <i>Diagrid</i> dalam Membentuk Lengkungan .	101
Gambar 69 Dimensi Batang <i>Diagrid</i> Beragam	101
Gambar 70 Empat Mekanisme dari Aksi Struktural Serta Contohnya	102
Gambar 71 Mekanisme dari Aksi Struktural <i>Diagrid</i>	102



Gambar 72 <i>Belt Wall</i> pada Sistem Struktur <i>Inclined Column</i>	105
Gambar 73 Modulasi pada Fasad (rapat-renggang)	106
Gambar 74 <i>Surface Structure</i> pada Struktur <i>Diagrid</i>	107
Gambar 75 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: Angin	112
Gambar 76 <i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: Angin	112
Gambar 77 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: <i>RSPx</i>	114
Gambar 78 <i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: <i>RSPx</i>	115
Gambar 79 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: <i>RSPy</i>	117
Gambar 80 <i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: <i>RSPy</i>	117
Gambar 81 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: <i>Roof Live</i>	119
Gambar 82 <i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: <i>Roof Live</i>	120
Gambar 83 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,4 D + 1,4 SW$	122
Gambar 84 <i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,4 D + 1,4 SW$	122
Gambar 85 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 1,6 L$	124
Gambar 86 <i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 1,6 L$	125
Gambar 87 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 RSPx$	127
Gambar 88 <i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 RSPx$	127
Gambar 89 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 RSPx$	129
Gambar 90 <i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 RSPx$	130
Gambar 91 <i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 RSPx$	130



	<i>Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 RSPy$	132
Gambar 92	<i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 RSPy$	132
Gambar 93	<i>Story Max Displacement</i> Arah X Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 RSPy$	134
Gambar 94	<i>Story Max Displacement</i> Arah Y Sistem <i>Diagrid</i> dan <i>Inclined Column-Belt Wall</i> , Beban: $1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 RSPy$	135
Gambar 95	Gaya Geser (<i>Shear</i>), kN, Beban: Angin	137
Gambar 96	<i>Story Stiffness</i> , kN/m, Beban: Angin	139
Gambar 97	Gaya Geser (<i>Shear</i>), kN, Beban: Gempa <i>RSPx</i>	141
Gambar 98	<i>Story Stiffness</i> , kN/m, Beban: Gempa <i>RSPx</i>	143
Gambar 99	Gaya Geser (<i>Shear</i>), kN/m, Beban: Gempa <i>RSPy</i>	145
Gambar 100	<i>Story Stiffness</i> , kN/m, Beban: Gempa <i>RSPy</i>	147
Gambar 101	Momen Inersia Massa, ton/m^2	149



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan dunia arsitektur hingga kini menghasilkan berbagai macam karya bangunan yang fenomenal atau dengan kata lain karya bangunan yang diluar kebiasaan. Bangunan-bangunan karya arsitek masa kini memiliki banyak sekali perbedaan dan kemajemukan yang berbeda dengan bangunan-bangunan di periode yang lalu, hal itu tidak lepas dari perkembangan teknologi yang selalu berubah dari waktu ke waktu dan sejalan dengan arsitektur kontemporer. Ketika dahulu bangunan bertingkat tinggi semuanya adalah kotak, atau seolah-olah denah yang di-*extrude* ke atas, maka kini bangunan bertingkat tinggi mulai mencoba melakukan inovasi bentuk yang membuat bangunan itu menjadi terlihat lebih dinamis.

Kelahiran bangunan-bangunan tinggi merupakan suatu revolusi arsitektur yang ditunjang dengan kemajuan teknologi dan tetap berpedoman kepada prinsip dasar arsitektur yaitu ruang bentuk dan fungsi sehingga memenuhi syarat untuk ditempati. Adanya teknologi struktur-konstruksi dan material yang baru akan menciptakan bentukan-bentukan baru. Sebaliknya, bentukan baru yang merupakan hasil kreasi arsitek akan menuntut perkembangan teknologi struktur-konstruksi serta materialnya.

Kelahiran bangunan-bangunan tinggi adalah akibat perkembangan kebutuhan akan ruang-ruang untuk beraktifitas yang terus meningkat sedangkan lahan yang tersedia adalah tetap serta memusatnya kegiatan ekonomi pada suatu kawasan (*Central Business District*) mengakibatkan pertumbuhan kota secara vertikal. Kebutuhan akan ruang-ruang ini juga semakin beragam termasuk kebutuhan akan gedung pendidikan dan penelitian terlebih lagi ditengah kesadaran masyarakat akan

nya pemanfaatan energi terbarukan.

gedung penelitian tentu merupakan salah satu kebutuhan di masyarakat

gedung penelitian merupakan bangunan atau sekelompok bangunan yang

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 1



masuk dalam kategori fasilitas atau sarana yang mewadahi kegiatan penelitian dan fasilitas penunjang kegiatan. Dalam bangunan ini terjadi proses interaksi antara subjek dan objek penelitian, proses *actor viewer*, dan proses *creative thinking*. Proses-proses tersebut menuntut konsentrasi, kecermatan serta persyaratan yang tinggi. Bangunan laboratorium terpadu merupakan satu unit terpadu dan berkelanjutan yang bukan hanya terdiri dari laboratorium saja tetapi juga semua ruang yang menunjang kegiatan penelitian.

Di lingkungan kota yang semakin majemuk, serta arus informasi yang mampu mengalir cepat dan luas, bangunan berusaha menampilkan dirinya sesuai dengan citra komunitas yang menggunakannya. Citra bangunan menjadi penting, karena itu seharusnya banyak cara yang dapat digunakan oleh para arsitek masa kini, juga dengan memaksimalkan penggunaan teknologi untuk membuat bangunannya memiliki nilai estetis yang tinggi, memiliki sentuhan khas arsiteknya, serta mengubah lingkungan sesuai dengan konsep yang diinginkannya. Bangunan-bangunan penelitian seyogyanya merupakan lambang semangat pembaharuan suatu negara dan cinta terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi maka citra bangunan ini haruslah mencerminkan semangat ini. Fasad bangunan menjadi gambaran tentang fungsi bangunan, kegiatan didalamnya, serta kondisi sosial masyarakat tempat bangunan tersebut berada oleh sebab itu gedung penelitian yang dirancang ini menggunakan fasad bangunan untuk menampilkan citranya.

Salah satu komponen bangunan yang harus diberi perhatian juga adalah struktur dan konstruksi bangunan. Struktur bangunan tidak mesti kaku dan dingin, melainkan dapat memiliki nilai estetika jika diolah dengan baik. Struktur dapat menjadi ornamen atau dekorasi utama pada bangunan untuk mencapai citra bangunan. Konsep ini termasuk dalam pendekatan monolitik sistem struktur dengan fasad bangunan. Sedangkan bangunan yang tidak memasukkan hasil integrasi sistem struktur dengan fasad dalam konsep bangunan dinamakan bangunan dialektik. Di Indonesia, terdapat banyak bangunan yang merupakan bangunan dengan konsep fasad yang hampir sama dan penggunaan teknologi yang terbatas dan cenderung sama.



Suatu hal menarik ketika kita mencoba membahas hubungan bentuk yang kompleks tersebut terhadap sistem struktural. Seperti yang dikatakan oleh Fazlur Khan (1981), bahwa dengan begitu banyaknya metode struktur yang dapat digunakan, sangat sulit untuk menemukan suatu sistem struktur yang tepat untuk bangunan tertentu. Ketika bentuk menjadi semakin ekspresif dan berani, maka sebagai seorang arsitek, sudah tentu harus dapat menemukan konsep struktur yang tepat, efisien, dan mampu mengakomodasi bentuk tersebut sehingga bentuk tersebut dapat direalisasikan dalam kehidupan nyata. Selanjutnya menjadi pertanyaan bagaimanakah hubungan aspek arsitektur dengan struktur, bagaimanakah mewujudkan struktur yang ekspresif serta bagaimana efektifitas struktur tersebut. Oleh sebab itu, melalui Tugas Akhir ini penulis berusaha merancang sebuah gedung pusat penelitian energi terbarukan berlantai 26 lantai dengan menggunakan dua pendekatan ekspresi arsitektural yaitu monolitik (hasil integrasi sistem struktur dengan fasad dan interior bangunan membentuk citra bangunan) dan dialektik (sistem struktur bukan merupakan bagian citra bangunan) lalu mengkaji hubungan yang terjadi serta membandingkan efektifitas kekuatan bangunan dengan dua jenis desain tersebut menggunakan ETABS 2016.

B. Rumusan Masalah

Bentuk, sistem struktur dan konstruksi dapat saling mempengaruhi bentukan akhir sebuah arsitektur baik itu melalui integrasi pendekatan monolitik maupun dialektik. Pada bangunan gedung pusat penelitian energi terbarukan 26 lantai yang dirancang dengan integrasi sistem struktur dengan fasad dan ruang dalam bangunan melalui dua pendekatan (monolitik dan dialektik), bagaimanakah:

1. Hubungan pengembangan bentuk struktural, persyaratan struktur dan penyaluran beban yang terbentuk antara bentuk bangunan yang meliputi bentuk dasar, bentuk fasad dan artikulasi bangunan dengan sistem struktur yang dipilih berdasarkan teori hubungan bentuk dan struktur dalam arsitektur?

bandingan efektivitas kinerja sistem struktur pada bangunan *free-form* atau dari simpangan antar lantai maksimum, kekakuan lantai, momen inersia dan kinerja batas bangunan?

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 3



C. Tujuan dan Sasaran Pembahasan

Maksud dan tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui hubungan pengembangan bentuk struktural, persyaratan struktur dan penyaluran beban yang terbentuk antara bentuk bangunan dengan sistem struktur kemudian mengetahui perbandingan efektivitas kinerja struktur bangunan yang dirancang dari segi kekakuan dan kekuatannya dengan membandingkan secara monolitik dan dialektik menggunakan program analisa struktur ETABS 2016 sehingga diperoleh pendekatan yang paling sesuai.

D. Ruang Lingkup Penelitian

Begitu kompleksnya permasalahan yang ada dalam tahap perancangan dan analisa ini maka dalam Tugas Akhir pembahasan dibatasi pada struktur, fasad dan interior gedung melalui dua pendekatan yaitu monolitik dan dialektik.

- 1) Bangunan diasumsikan untuk fungsi pusat penelitian energi terbarukan di Makassar (perkantoran dan laboratorium terpadu) dengan 26 lantai
- 2) Sistem struktur utama menggunakan sistem *diagrid* dan *rigid frame* yang dirancang menggunakan program Revit 2020.
- 3) Sistem struktur *core* menjadi tambahan terhadap struktur *diagrid* dan *rigid frame* pada desain bangunan seperti yang terlampir pada lampiran.
- 4) Objek analisis struktur meliputi struktur *diagrid*, kolom vertical serta *inclined*, balok dan *shear wall*.
- 5) Jenis-jenis pembebanan bangunan yang dipertimbangkan dalam analisis struktur meliputi beban hidup, beban mati, beban angin, dan beban gempa.
- 6) Beban gempa dianalisis hanya menggunakan metode dinamik yaitu respon spektrum (*spectral response*).
- 7) Analisis menggunakan metode *reinforcement to be designed* dengan menggunakan program ETABS 2016.
- 8) Perilaku yang dipelajari adalah simpangan antar lantai maksimum, kekakuan terhadap gaya lateral, momen inersia massa, dan kinerja batas bangunan.



- 9) Penginputan nilai beban dan mutu material struktur didasarkan pada PPURG 1987, Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, SNI 03-1726-2002, SNI 1726-2012 dan ACI 318-14.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Estetika Bangunan

Kata “estetika”, menurut Ensiklopedia Indonesia jilid 2, disebutkan berasal dari Bahasa Yunani yaitu *aesthesis* yang berarti tanggapan atau pengawasan. Sedangkan menurut Webster’s New School and Office Dictionary, estetika atau *aesthetics* yaitu:

“the study or theory of the beautiful, in taste or art, aesthetics, adjective: of or pertaining to beauty, artistic”.

Jadi estetika erat kaitannya dengan cita rasa khususnya keindahan. Tampilan estetika pada bangunan dapat dipersepsikan secara berbeda oleh tiap orang yang memandangnya. Estetika, termasuk estetika pada bangunan bernilai subjektif, yaitu sesuatu yang sulit untuk berlaku secara universal. Persepsi tersebut muncul pada tiap orang sesuai dengan pengalaman dari masing-masing orang dan dari latar belakang yang berbeda-beda. Sesuatu dapat dikatakan indah oleh seseorang namun orang lain yang melihatnya belum tentu memiliki pendapat yang sama. Begitu pula yang terjadi pada masyarakat. Missal salah satu komunitas atau masyarakat tertentu mengatakan salah satu bentuk indah jika memenuhi beberapa kriteria tertentu, namun kriteria tersebut belum tentu berlaku bagi komunitas atau masyarakat di tempat lain.

Walaupun demikian, bukan berarti estetika tidak dapat kita tampilkan pada sebuah sosok bentuk khususnya bangunan. Ada 3 (tiga) bagian yang dapat menjadi sumber penerapan estetika pada bangunan, yaitu :

1. Sosok Bangunan

Sosok bangunan yaitu bentuk dasar, bentuk garis luar, dan bentuk kerangka bangunan. Seringkali pandangan kita terhadap suatu bangunan menuju kepada yang membentuknya seperti bentuk dasar ataupun bentuk kerangka



bangunannya kadang secara tidak sadar membuat kita menyukai bangunan tersebut dan menyadari bahwa bangunan memancarkan nilai estetika.

Dalam proses perancangan, pemilihan bentuk dasar bangunan dan metode strukturnya merupakan hal yang esensial dan mempengaruhi banyak aspek perancangan lainnya. Penentuan bentuk bangunan juga harus melalui banyak penyesuaian atas ruang-ruang di dalamnya, strukturnya, denah, potongan, hingga kesesuaiannya terhadap lingkungan luar. Setelah melalui proses tersebut kita baru bisa menyimpulkan sosok bangunan yang paling dapat memenuhi seluruh kriteria.

2. Tampak Bangunan

Mengolah tampak bangunan, pada hakekatnya adalah mengolah wajah yang akan ditampilkan kepada pengunjung yang dapat dikatakan pemirsa atau penonton yang memandang bangunan tersebut. Walaupun tidak ada tolak ukur yang pasti, olahan tampak bangunan hendaklah memiliki kesinambungan antara fungsi dan estetikanya.

3. Lingkungan Sekitar Bangunan

Bangunan dan lingkungan, memang mempunyai hubungan timbal balik yang erat sekali, yang bahkan saling mempengaruhi. Citra estetika yang dimiliki bangunan akan kurang berarti jika saja tidak menunjukkan keserasian dengan citra lingkungan tempat bangunan tersebut berdiri. Sebaliknya, citra estetika lingkungan justru terbentuk oleh adanya akumulasi estetika yang dipancarkan oleh bangunan-bangunan lain dan kondisi alam yang membentuk citra lingkungan tersebut.

B. Fasad Bangunan

Kata “fasad” atau “*façade*” berasal dari Bahasa Latin yaitu “*facies*”, yang berarti wajah utama atau tampak dari bangunan yang dapat dilihat dari jalan atau

tempat lainnya. Elemen-elemen yang bersama-sama membentuk fasad dapat bermacam-macam bagian mulai dari permukaan dinding, struktur, pengaturan dan ornamentasi. Dapat juga dikatakan bahwa fasad merupakan bagian

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 7



eksterior dari sebuah bangunan, bagian depan, samping, ataupun belakang. Secara harfiah dari asal bahasanya “*façade*” berarti bagian depan atau muka.

Hingga saat ini fasad masih menjadi bagian paling penting dalam arsitektur untuk mengkomunikasikan fungsi dan nilai suatu bangunan. Tubuh bangunan yang sempurna adalah yang memprioritaskan penciptaan bagian khusus untuk dipamerkan. Karena posisinya yang menghadap ke jalan, maka fasad mempunyai peran sebagai berikut.

- Menyuarakan fungsi dan makna bangunan
- Mengungkapkan organisasi ruang di dalam bangunan
- Menyampaikan keadaan budaya saat bangunan itu dibangun
- Memberikan kemungkinan dan kreativitas dalam ornamentasi dan dekorasi
- Menceritakan mengenai penghuni suatu bangunan, memberikan identitas terhadap suatu/banyak komunitas.

Berartinya fasad sebagai elemen yang menunjukkan karakter, fungsi, dan makna bangunan dapat diwujudkan dengan berbagai cara. Arsitek menunjukkannya dengan caranya sendiri mulai dari pemberian bentuk, irama, komposisi, penampilan struktur, hingga ornament-ornamen khusus. Disini arsitek mengkombinasikan sebagian atau seluruhnya guna membentuk citra estetika untuk bangunan yang dirancangnya.

Fasad dapat diolah menggunakan berbagai macam cara diantaranya:

1. Menggunakan komposisi geometris. Penggunaan komposisi geometris untuk ditampilkan hendaknya harmonis atau tidak terpisah dengan konsep bangunan keseluruhan.
2. Memberikan zoning-zoning pada fasad. Tujuannya adalah untuk menjaga agar komposisi dapat dibuat dengan lebih detail dan teliti.
3. Menggunakan proporsi geometris. Setelah memiliki zoning, proporsi bentuk-bentuk geometris dapat diterapkan agar komposisi menjadi enak dilihat.
4. Membentuk fasad melalui bukaan-bukaan, hingga menampilkan efek tertentu.

elompokkan elemen-elemen bukaan untuk menciptakan efek tertentu.
dapat menjadi bagian yang bersifat *sculptural*.



7. Kombinasi antara elemen-elemen yang berbeda, pada bangunan dapat menjadi komposisi tiga dimensional yang ditampilkan pada fasad.

C. Struktur Bangunan

Keberadaan struktur merupakan akibat dari kebutuhan manusia akan wujud yang memberikan ketahanan, kekuatan, dan kestabilan dalam kondisi lingkungan tertentu. Perkembangan struktur tidak lepas dari perkembangan teknologi, dan pada saat ini juga sangat bergantung pada perkembangan teknologi komputer. Metode-metode pembentukan struktur selalu berkembang dan berubah seiring perkembangan zaman. Namun prinsip yang kita gunakan tetap sama seperti prinsip yang digunakan pada Candi Borobudur dan Piramid yang dibangun di zaman dahulu yaitu untuk melawan kekuatan-kekuatan alam yang dapat menyebabkan bangunan kita roboh. Pengertian dan kerja sama antara arsitek dan engineer menentukan keberhasilan suatu bangunan untuk dibangun mengikuti desain. “...*the best way for engineers and architects to get work done is to do a good job*”

Seperti dikatakan oleh Mario Salvadori dalam bukunya,

“...Kini, ribuan tahun berikutnya, kita masih terus membangun, dan meskipun kita menggunakan bahan baku buatan yang baru seperti baja, bata atau beton, kita masih menggunakan keahlian yang digunakan oleh pendahulu kita yaitu untuk melawan kekuatan alam yang sama dan untuk memastikan bahwa bangunan kita tidak akan roboh.”

Pendekatan yang cukup baik untuk memahami struktur walaupun telah lama digunakan, yaitu dengan mempelajari bentuk-bentuk struktur makhluk hidup. Sebagai salah satu contoh yaitu rangka manusia, yang telah lama dipelajari untuk dipergunakan dalam berbagai bidang ilmu, termasuk struktur. Dalam ilmu struktur, rangka manusia merupakan struktur yang paling kompleks dan sempurna karena dapat melawan gravitasi dan gaya-gaya lainnya dengan baik ditambah

annya untuk bergerak dan berputar tanpa kehilangan kekuatannya.

Instruksi bangunan dan arsitektur tidaklah menyatu dan bukan merupakan satu kesatuan yang sama. Sisi yang paling berarti dari struktur adalah perannya bagi bentuk

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 9



arsitektur. Sedangkan sisi yang terpenting dari arsitektur adalah pengaruh positifnya pada pola-pola tingkah laku manusia, bukan untuk menguasainya tetapi untuk memperkuat pilihan-pilihan.

Gaya-gaya yang diterima bangunan baik dari alam maupun beban-beban hidup dapat mengakibatkan deformasi pada struktur, kita anggap bila benda tidak bergerak, ia kaku, meskipun benda tersebut dapat mengalami deformasi. Prinsip keseimbangan adalah ketika benda berada dalam keadaan diam, tidak bergerak dan kaku, maka jumlah semua gaya yang bekerja padanya adalah nol, gaya-gaya yang mendorongnya ke kiri diimbangi dengan gaya-gaya yang mendorongnya ke kanan. Begitu pula gaya yang menariknya ke bawah jika diimbangi oleh gaya yang menahannya sehingga benda tersebut diam.

D. Penggunaan Material-material Struktural

Dalam mendesain struktur keputusan memilih material dan keputusan untuk memilih sistem struktur harus dilakukan secara bersamaan. Beberapa material hanya cocok untuk metode konstruksi tertentu. Struktur bangunan erat sekali kaitannya dengan penggunaan material. Beberapa struktur bangunan membutuhkan material khusus yang tidak bisa digantikan dengan material lain. Misal penggunaan *truss* baja untuk menopang konstruksi atap dengan bentang lebar tidak mungkin digantikan oleh beton karena beton memiliki ketahanan tarik yang kurang, selain itu untuk mencapai panjang bentangan tertentu dibutuhkan beton dengan volume jauh lebih besar daripada baja sehingga akan menambah beban mati pada bangunan yang akibatnya merugikan. Begitu pula jika baja diganti dengan material kayu yang penyambungannya perlu didesain berbeda agar tidak mengalami pembengkokan atau patah.

Meskipun kayu juga mampu membentuk *truss* untuk menopang bentang yang cukup besar, namun karakteristik kayu jauh berbeda dengan baja sehingga rencana

*truss*nya juga akan berbeda sehingga perencanaan yang baru harus dibuat. Karena itu dalam menentukan sistem struktur, pemikiran akan jenis material tidak bisa dikesampingkan terlebih dahulu melainkan harus berjalan

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 10



bersamaan. Pemilihan jenis material yang tepat untuk suatu sistem struktur akan memperoleh hasil yang optimal.

Penampilan struktur, terlebih jika akan diekspos juga sangat bergantung pada jenis material yang digunakan. Struktur bangunan yang diekspos memiliki persyaratan yang berbeda dengan struktur yang disembunyikan. Perbedaan itu dikarenakan struktur yang diekspos harus terlihat lebih menarik untuk dipandang. Karena itu pengerjaan finishing membutuhkan perhatian dan detail pengerjaan yang lebih baik. Selain itu karena posisinya yang terbuka dengan lingkungan luar, struktur yang diekspos juga mudah terkena pengaruh luar seperti cuaca atau polusi. Jadi struktur yang diekspos memerlukan perawatan yang lebih baik daripada struktur yang disembunyikan.

Keindahan bangunan juga perlu diperhatikan, penampilan kerangka bangunan tanpa penutup setidaknya tidak membuat bangunan terlihat seperti produk mesin yang tidak memerlukan citra estetik karena arsitektur sangat erat kaitannya dengan estetika. Jadi peran arsitek sangatlah penting dalam mengolah penampilan struktur tersebut. Bahkan kemungkinan desain struktur yang digunakan akan berbeda dengan bangunan lain yang tidak mengekspos strukturnya.

E. Ekspos Struktur dalam Desain Arsitektur

Sistem struktur bersifat esensial pada bangunan karena merupakan syarat utama bangunan tersebut dapat berdiri. Struktur dapat juga digunakan sebagai estetika eksterior maupun interior bangunan. Arsitek memiliki kebebasan untuk menentukan apakah struktur bangunannya akan diekspos atau ditutupi dengan komponen-komponen atau material lain. Penggunaan ekspos struktur juga dapat menjadi sebuah pendekatan dari segi biaya. Teknik penggunaan ekspos ini sudah digunakan pada bangunan kantor bertingkat tinggi, pada pabrik-pabrik, exhibition hall, atrium, atau stadion.

lakukan sistem struktur yang diekspos akan berbeda dengan struktur yang disembunyikan. Dikarenakan berfungsi mewakili penampilan bangunan, maka penampilan tekstur, dan karakteristik material menjadi sangat penting untuk

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 11



diperhatikan. Selain itu mengekspos struktur untuk dilihat juga berarti mengeksposnya kepada cuaca luar sehingga membutuhkan perhatian khusus terhadap segala perubahan cuaca yang mampu mempengaruhinya.

Pengeksposan dan pengekspresian struktur juga membutuhkan konsistensi perancang atau arsitek. Contohnya, jika sebuah balok penopang tersembunyi diatas langit-langit, ketidaksesuaian dalam ukuran elemen-elemen tidak menjadi masalah. Namun seorang arsitek yang menginginkan strukturnya diekspos harus berpikir lebih lanjut bagaimana agar balok tersebut enak untuk dilihat. Karena itu dibutuhkan derajat konsentrasi yang tinggi antara seorang arsitek, ahli struktur, kontraktor, tim pembuat di pabrik (*fabricator*) dan tim perancang (*erector*).

Pada The Panthenon dan Candi-candi lain yang dibangun antara tahun 500 dan 400 SM, para arsitek Yunani menyaring ide-ide dari kolom sebagai unsur-unsur struktur sekaligus arsitektur sedangkan arsitek-arsitek Roma sudah menggunakan kolom-kolom sebagai struktur yang diekspos dan sebagai dekorasi, yaitu mendekorasi dermaga-dermaga dengan bentuk-bentuk *arch*, *vault* dan bentuk *dome*. Ekspos kolom, *arch*, *vault* dan *dome* (kubah) terus menjadi terkenal sampai jaman Renaissance Italia dan Perancis, sampai masuk pada abad 19 dimana baja mulai berkembang dan diterapkan pada jembatan-jembatan, stasiun kereta, dan bangunan-bangunan industri.

Struktur mempunyai peranan yang sangat penting pada tampak bangunan. Ukuran dan jarak antar kolom mempengaruhi desain dari fasad, dan kolom itu sendiri seringkali merupakan faktor terpenting dari penampilan bangunan.

Seiring dengan metode sistem struktur yang selalu berkembang, teknologi yang digunakan pun semakin mutakhir, maka sistem-sistem struktur banyak yang memiliki bentuk yang unik dan menarik. Karena itu keberadaannya pada bangunan dapat menggantikan elemen dekorasi yang menjadi faktor penunjang estetika. Pengeksposan struktur pada fasad dapat mewakili representasi bangunan terhadap fungsi didalamnya serta dapat menunjukkan cara bangunan dapat berdiri tegak.

gambar dapat dilihat contoh bangunan yang menutup struktur pada fasadnya British Museum dan yang menampilkan struktur pada fasadnya yaitu Science





Gambar 1 Jewish Museum, oleh Daniel Libeskind

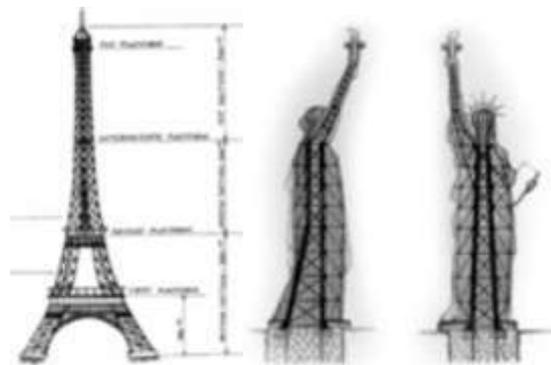


Gambar 2. Science Museum, oleh Santiago Calatrava

F. Hubungan Bentuk dan Struktur Dalam Arsitektur

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

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



Gambar 3. Menara Eiffel

Gambar 4. Patung Liberty



1. Heinz Frick : Hubungan Antara Tugas, Bentuk, Konstruksi dan Bahan Bangunan

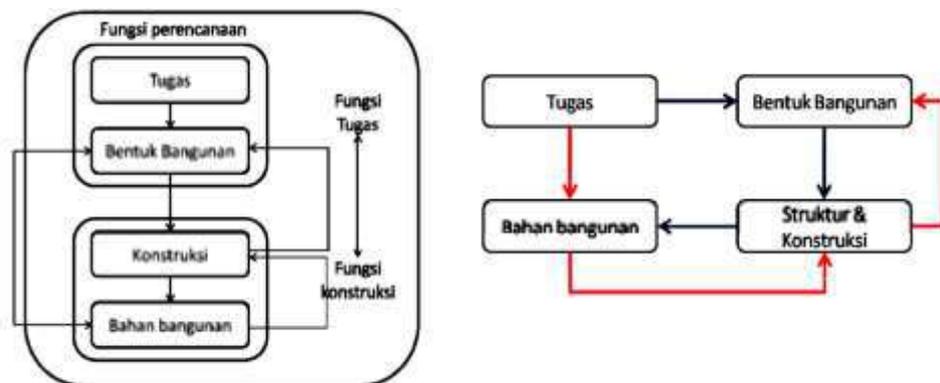
Hubungan antara tugas, bentuk, konstruksi dan bahan bangunan pada struktur bangunan dapat diartikan secara linear. Terdapat dua kemungkinan hubungan diantaranya, yaitu ;

a) Hubungan ke-1

Tugas menentukan bentuk bangunan. Bentuk bangunan menentukan struktur dan konstruksi. Struktur konstruksi menentukan material bangunan.

b) Hubungan ke-2

Tugas menentukan bahan bangunan. Bahan bangunan menentukan sistem struktur dan konstruksi. Sistem konstruksi ini yang menentukan bentuk bangunan. Bentuk bangunan sebagai akibat.



Gambar 5. Hubungan ke-1 (kiri) dan hubungan ke-2 (kanan)
Sumber : Sistem Bentuk Struktur Bangunan hal. 23

2. Angus J. McDonald : Hubungan Antara Struktur dan Arsitektur

Menurut Angus J. MacDonald dalam bukunya “*Structure and Architecture*”, hubungan struktur dan arsitektur digolongkan menjadi:

1. Struktur yang diekspos dan struktur yang disembunyikan dari tampilannya.
2. Struktur yang dihargai, dimana bentuk yang diambil dinilai baik berdasarkan kriteria teknis dan struktur yang tidak dapat dihargai, dimana bentuknya ditentukan dengan perhitungan persyaratan struktur yang kurang.



Tabel 1. Hubungan Struktur

STRUKTUR	Yang diekspos	Yang disembunyikan
Yang dihargai	Ornamentasi struktur	Struktur sebagai penghasil bentuk
	Struktur sebagai arsitektur	
Yang tdk dihargai	Struktur sebagai ornament	Struktur yang diabaikan

a. Ornamentasi Struktur

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

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



Gambar 6. Ornamentasi Struktur:

Parthenon, Athena (kiri) dan Pallazo Valmarana, Vicenza (kanan)



b. Struktur Sebagai Ornamen

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

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

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



Gambar 7. Struktur Sebagai Ornamen

Kanopi pada kantor pusat Llyods (kiri) dan Renault Headquarters, Swindon UK (kanan)

Struktur bangunan diekspos namun tidak sempurna walaupun terlihat menarik secara visual. Struktur digunakan untuk menyampaikan ide

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 16



teknis yang hebat (kebanyakan arsitektur teknologi tinggi masuk dalam kategori ini). Bentuk dan peranti visual yang dipakai bukan merupakan contoh teknologi yang sesuai dengan fungsinya.

c. Struktur Sebagai Arsitektur

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



Gambar 8. Struktur Sebagai Arsitektur

Crystal Palace (kiri), Patra Building (tengah) dan John Hancock Building (kanan)

d. Struktur Sebagai Penghasil Bentuk

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



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



Gambar 9. Struktur Sebagai Penghasil Bentuk
Villa Savoye (kiri) dan Chrysler Building (kanan)

Dalam jenis hubungan ini bentuk struktur yang diambil sangat pantas secara struktur, tetapi kepentingan arsitekturnya tidak berdekatan dengan fungsi strukturnya.

- e. Struktur yang Diabaikan dalam Proses Pembuatan Bentuk dan Bukan Bagian dari Pembentukan Estetika

Sejak pengembangan teknologi struktur dengan menggunakan baja dan beton bertulang, maka memungkinkan untuk merencanakan bangunan tanpa mempertimbangkan bagaimana struktur tersebut dapat didukung dan dibangun setidaknya pada proses tahap persiapan atau pendahuluan.

Komputer digunakan untuk membantu perencanaan bentuk yang kompleks untuk digambarkan dan mengontrol proses pemotongan dan pembuatan benda. Pengenalan komputer ini memberi arsitek kebebasan yang tak terbatas dalam menentukan bentuk bangunan.



Gambar 10. Struktur yang Diabaikan: Museum Guggenheim di Bilbao
(kiri) dan Notre Dame du Haut, Ronchamp (kanan)



Struktur dimaksudkan sebagai pendukung lapisan luar bangunan. Dalam arsitektur seperti ini, insinyur struktur bertindak sebagai fasilitator.

3. Andrew W. Charleson: Hubungan Antara Bentuk Arsitektural dan Bentuk Struktural

“Architectural form is an inclusive term that refers primarily to a building’s external outline or shape, and to a lesser degree references its internal organization and unifying principles “ (Andrew W. Charleson.

Structure as Architecture. Architectural Press: 2005. Hlm.19)

“Structural form as a building’s primary or most visually dominant structural system“ (Andrew W. Charleson. Structure as

Architecture. Architectural Press: 2005. Hlm.20)

Bentuk struktural dalam hubungannya dengan bentuk arsitektural dapat dikategorikan menjadi :

- *Structure as form-follower*
- *Structure as form-giver*

Menurut Andrew W. Charleson dalam bukunya yang berjudul *“Structure as Architecture”* membagi hubungan antara bentuk arsitektural dan bentuk struktural kedalam 3 kategori, yaitu :

1. Sintesis antara bentuk arsitektural dan bentuk struktural

Dalam hubungan ini, struktur mendefinisikan bentuk arsitektural, dan dapat juga mendefinisikan fungsi bangunan. Setidaknya, struktur sebagai fasad bangunan.

2. *Consonant form*

Bentuk arsitektural memiliki hubungan dengan bentuk struktur, namun tidak sekuat jenis hubungan yang sebelumnya. Beberapa sistem struktur yang berbeda dapat mengakomodasi bentuk arsitektur yang sama

3. *Contrast form*

Bentuk arsitektural berbeda dengan bentuk struktural.



Beberapa hal faktor yang dapat dijadikan dasar untuk menentukan hubungan antara bentuk arsitektural dan bentuk struktural, yaitu sebagai berikut:

- a. *Building Exterior*
- b. *Building Function*
- c. *Interior Structure*
- d. *Structural Detailing*
- e. *Structure and Light*

a. *Building Exterior*

Karakteristik eksterior sebuah bangunan ditentukan oleh hubungan antara fasad dan struktur bangunan. Arsitek umumnya mengeksplor dan mengeksploitasi relasi hubungan antara kedua elemen tersebut dengan tujuan mengekspresikan ide-ide arsitektural dan umumnya meningkatkan kualitas desain.

Hal-hal yang dapat meningkatkan kualitas estetika adalah :

- *Modulation*, menghasilkan pola-pola yang variatif, ritme dan hirarki serta meningkatkan ketertarikan visual pada umumnya.
- *Depth & Texture*. Struktur dapat membentuk modul pada fasad bangunan. *Structural depth* merupakan prasyarat dan berperan penting dalam pembentukan modul. Variasi dari *surface depth* membentuk kesederhanaan, dan hubungan antara pencahayaan alami dan buatan menghasilkan bayangan yang memperhidup sebuah fasad bangunan. *Structural texture* lebih terkait hubungannya dengan material.
- *Screening & Filtering*. Struktur diluar bangunan dapat dijadikan sebagai pelindung ataupun *filter*, memberikan kualitas estetik pada fasad bangunan.
- *Structural Scale*, Dimensi dari struktur utama yang terekspos dapat mempengaruhi estetika fasad.





Gambar 10. Dulles International Airport (kiri) dan Velasca Tower, Milan (kanan)

Sumber : Internet

b. Building Function

Integrasi antara struktur terhadap fungsi bangunan berkaitan satu sama lain. Pada level pragmatis tertentu terdapat konsep *critical functional dimensions* dimana seorang desainer memastikan perencanaan dimensi minimum struktur dari ruang yang dirancangnya. Struktur interior (susunannya dan detail konstruksi) berdampak terhadap *spatial character* dan fungsi bangunan.

- *Maximizing functional flexibility.*

Kebebasan dalam terbatasnya struktur bangunan menghasilkan perencanaan ruang dan fungsi bangunan yang maksimal. Sebuah ruang dapat disusun oleh elemen arsitektural seperti dinding partisi. Fleksibilitas ruang dalam secara arsitektural dapat dicapai melalui penempatan struktur utama di luar fasad bangunan.

- *Subdiving space*

Elemen struktur dapat juga berfungsi sebagai pembagi ruang. Beberapa bangunan memperhitungkan *layout* ruang dalam terhadap struktur utama bangunan sebagai pembagi ruang.

- *Articulation circulation*

Struktur memiliki tradisi yang panjang terhadap *articulating circulation*. *Arcades* dan *Collonades* menegaskan sebuah sirkulasi selama ribuan tahun. Dikarenakan kemampuannya untuk memberikan tatanan terhadap sebuah perencanaan, struktur sering dikaitkan sebagai tulang



panggung yang menjelaskan rute sirkulasi utama. Adanya elemen struktur dapat secara harafiah maupun sebenarnya membatasi pergerakan terhadap sebuah axis.

- *Disrupting function*

Terkadang, elemen struktur mengganggu beberapa aspek fungsi sebuah bangunan. Contohnya adanya kolom di dalam ruang serbaguna, konstruksi yang berlebihan terutama dalam hal detail arsitektural sehingga ruang dalam menjadi lebih sempit.

c. *Interior Structure*

Struktur berkontribusi terhadap kualitas dan karakter ruang dalamnya.

- *Surface structure*

Adanya struktur interior yang berhubungan terhadap struktur utama ataupun disesuaikan dengan fasad bangunan dipertimbangkan sebagai *surface structure*.

- *Spatial structure*

Struktur spasial seperti *free-standing column*, memiliki dampak yang riil terhadap ruang di sekitarnya. Pertimbangan seperti *free-plan column grids* yang meningkatkan dari segi konstruksi namun memiliki efek yang berbeda pada *interior architecture*.

- *Expressive structure*

Struktur berperan sebagai ekspersif baik dari permukaan bangunan maupun struktur spasial interior yang terekspresikan dari ide-ide yang dipikirkan.

d. *Structural Detailing*

Detail struktur yang diekspos dapat berkontribusi sebagai elemen arsitektural pada bangunan. Unsur estetika dan komunikasi melalui design dan konsep tercermin dalam detail tersebut misalnya detail pada bentuk maupun hubungan antara struktur utama dengan pendukungnya. *Structural detailing* sebagai proses desain terdiri dari potongan, elevasi bangunan serta hubungan antar struktur utama untuk mencapai syarat dari stabilitas, kekuatan



dan kekakuan. Kontras kualitas estetika hubungan konstruksi dikategorikan menjadi 4 bagian, yaitu:

- *Refined to utilitarian*

Refined structural details dijabarkan sebagai elegan dan murni. Segala penambahan komponen pada material tidak ditambahkan sebagaimana mengesankan bahwa detail tidak perlu adanya penambahan ornamen. Kebutuhan dari segi estetika dan teknis memecahkan sintesis dari keharusan terhadap struktur maupun sensibilitas artistiknya.

- *Simple to Complex*

Kualitas estetika tidak dimaksudkan untuk mengartikan keberadaan kesederhanaan dari struktur namun kenyataannya *simple to complex* memiliki maksud yang berbeda. Aspirasi terhadap bentuk arsitektur yang sederhana, transparan hanya menunjukkan kompleksitas dari struktur tersebut.

- *Lightness to Heaviness*

Perancang umumnya memaksimalkan pencahayaan alami dengan cara penggunaan dinding yang transparan. Kepekaan manusia juga menjadi salah satu motivasi dalam pembentukan *lightness detailing*.

- *Plain to decorative*

Structural detailing dengan dekoratif dapat meningkatkan bangunan secara arsitektural seperti bangunan pilotis sehingga kolom yang diekspose menjadi nilai dekoratif tersendiri.

e. *Structure and Light*

Struktur dan cahaya adalah elemen yang saling bergantung dan diperlukan dalam arsitektur. Keberadaan elemen struktur dapat mengontrol cahaya, lokasi masuknya cahaya ke suatu gedung serta kuantitas dan kualitasnya, kebutuhan untuk pencahayaan alami pasti menentukan bentuk elemen struktural dan detail hubungannya.



G. Tinjauan Desain Struktur

Dalam menganalisa dan mendesain suatu struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai ukuran maupun untuk menentukan apakah struktur tersebut dapat diterima untuk penggunaan yang diinginkan atau untuk maksud desain tertentu. Kriteria-kriteria yang perlu diperhatikan dalam analisis dan desain struktur diantaranya yaitu:

1. Kemampuan layan (*Serviceability*)

Struktur harus mampu memikul beban rancang serta aman tanpa kelebihan tegangan pada material dan mempunyai deformasi yang masih dalam daerah yang diizinkan. Dengan memilih ukuran serta bentuk elemen struktur dan bahan yang digunakan, taraf tegangan pada struktur dapat ditentukan pada taraf yang dipandang masih dapat diterima dan aman, hal ini merupakan kriteria kekuatan dan merupakan dasar yang sangat penting. Defleksi atau deformasi besar dapat diasosiasikan dengan struktur yang tidak aman, tetapi hal ini tidak selalu demikian. Deformasi dikontrol oleh kekakuan struktur dan kekakuan sangat bergantung pada jenis, berat dan distribusi bahan pada struktur.

2. Efisiensi

Kriteria ini mencakup tujuan desain struktur yang relatif lebih ekonomis. Ukuran yang sering digunakan adalah banyak material yang diperlukan untuk memikul beban yang diberikan dalam ruang pada kondisi dan kendala yang ditentukan.

3. Konstruksi

Tinjauan konstruksi sering juga mempengaruhi pilihan struktural dimana perakitan elemen-elemen struktural akan efisien apabila materialnya mudah dibuat dan dirakit.

Syarat-syarat dalam mendesain suatu struktur diantaranya yaitu:

a. Kekuatan

Struktur harus kuat terhadap gaya-gaya dan beban-beban yang bekerja padanya

beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa

uan



Dalam perencanaan suatu gedung perlu diperhitungkan kekakuannya agar didapat struktur yang kaku dan tidak mudah rusak saat terjadi gempa serta aman dari faktor tekuk.

c. Stabilitas

Dalam mendesain struktur perlu juga diperhatikan kestabilannya terhadap momen-momen yang bekerja padanya seperti momen guling, momen geser dan gaya uplift.

Desain konstruksi melibatkan pemakaian penilaian teknik untuk menghasilkan sebuah sistem konstruksi yang memadai akan memuaskan keperluan pemilik. Dalam tinjauan keamanan, untuk menyatakan suatu struktur sudah dirancang dengan cukup aman atau tidak dinyatakan dengan faktor keamanan. Faktor keamanan bergantung pada banyak hal seperti bahaya terhadap kehidupan dan barang-barang sebagai akibat *collapse* satu jenis elemen struktur, keyakinan dalam metode analisis struktur, prediksi beban, variasi sifat material, dan kerusakan yang mungkin terjadi selama masa hidup struktur, dll.

Untuk itu, perlu ditinjau hal-hal yang mempengaruhi dalam tinjauan desain suatu struktur seperti kondisi pembebanan serta desain struktur bangunannya. Berdasarkan standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung SNI 1726 gedung dapat dikategorikan menjadi dua yakni struktur gedung beraturan dan tidak beraturan. Suatu struktur gedung akan ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- b. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut
- c. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.

Struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama tonal denah struktur gedung secara keseluruhan

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 25



- e. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan kalaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
- f. Sistem struktur gedung tidak memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, di mana kekakuan lateralnya adalah kurang 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar tingkat.
- g. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau dibawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- h. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- i. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Kalaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya. Untuk struktur gedung beraturan, pengaruh gempa rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa static ekuivalen, sehingga menurut standar ini analisisnya dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen.

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan menurut kaidah-kaidah dapat ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan, Untuk struktur tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh



pembebanan gempa dinamik, sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik.

1. Baja

- a. Baja tulangan deform (BJTD) sebaiknya digunakan untuk tulangan utama.
- b. Baja tulangan polos (BJTP) sebaiknya digunakan untuk tulangan sengkang.

2. Modulus Elastisitas : $E_s = 200.000 \text{ MPa}$

3. Modulus Geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$

4. Nisbah Poisson's : $\mu = 0,3 \text{ MPa}$

5. Koefisien Pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

H. Balok

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar, apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur disepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur yaitu pada saat beban luarnya mencapai beban kapasitas elemen taraf pembebanan, demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur karena itulah perencanaan harus mendesain penampang elemen balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban bekerja dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan.

Pada desain ukuran penampangnya ditentukan terlebih dahulu untuk kemudian dianalisis untuk menentukan apa penampang tersebut dapat dengan aman memikul beban luar yang diperlukan atau tidak, untuk mendalami prinsip-prinsip mekanika dasar mengenai keseimbangan merupakan hal yang harus terpenuhi untuk setiap keadaan pembebanan.

Seperti pada plat, balok juga terdapat beberapa peraturan penggambaran tulangan yang lebih banyak berhubungan dengan praktek merencana yang baik daripada berdasarkan perhitungan.

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 27



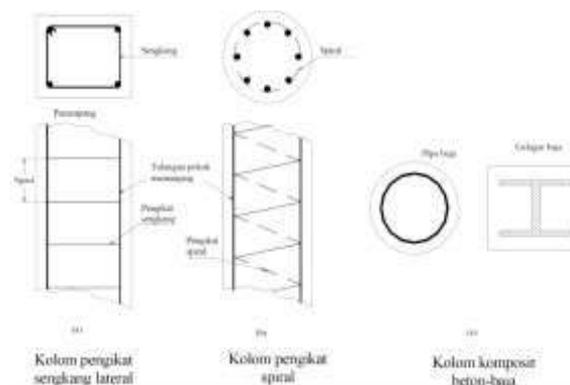
I. Kolom

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

Pada konstruksi rangka atau struktur menerus, pengaruh dari adanya beban yang tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar ataupun dalam harus diperhitungkan. Demikian pula pengaruh dari beban eksentris karena sebab lainnya juga harus diperhitungkan.

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak 3 kali dimensi lateral terkecil, bagian bagian dari suatu kerangka bangunan dengan fungsi dan peran seperti tersebut, kolom menempati posisi penting didalam sistem stuktur bangunan.

Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen stuktur lain yang berhubungan dengan, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan, secara garis besar ada 3 jenis kolom beton bertulang, seperti terlihat pada gambar 2.2. Pembahasan kolom ada 2 jenis yang pertama, yaitu kolom dengan menggunakan pengikat lateral sengkang dan spiral, untuk komponen stuktur tekan yang diperkuat dengan gelagar atau pipa baja disebut kolom komposit.



Gambar 12. Jenis-jenis kolom

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 29

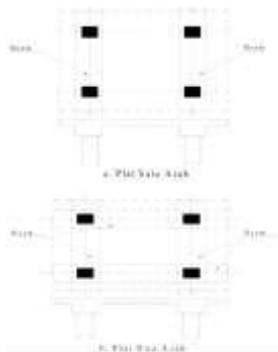
Tulangan pengikat lateral berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh ditempatnya dan memberikan tumpuan lateral sehingga masing-masing tulangan memanjang hanya dapat tertekuk pada tempat diantar dua pengikat. Dengan demikian tulangan pengikat lateral tidak dimaksudkan untuk memberikan sumbangan terhadap kuat lentur penampang tetapi memperkokoh kedudukan tulangan pokok kolom.

J. Pelat Lantai

Untuk merencanakan pelat beton bertulang yang perlu dipertimbangan tidak hanya pembebanan, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan pada tepi. Syarat-syarat tumpuan menentukan jenis perletakan dan jenis penghubung ditempat tumpuan. Bila pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan, maka pelat itu dikatakan "ditumpu bebas" karena pelat tertumpu oleh tembok bata. Bila tumpuan mencegah pelat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir, maka pelat itu "terjepit penuh" dimana pelat itu adalah monolit (menyatu) dengan balok yang tebal.

Stuktur bangunan gedung umumnya tersusun atas komponen pelat lantai, balok anak, balok induk, dan kolom yang umumnya dapat merupakan satu kesatuan monolit atau terangkai seperti halnya pada sistem pencetakan, pelat juga di pakai untuk atap, dinding, dan lantai tangga, jembatan, atau pelabuhan. Petak plat dibatasi oleh balok anak pada kedua sisi panjang dan terhadap sisi pendek yang saling tegak lurus, namun apabila perbandingan sisi panjang terhadap sisi pendek yang saling tegak lurus lebih dari 2, pelat dapat dianggap hanya berkerja sebagai pelat satu arah dapat didefinisikan sebagai pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sehingga lenturan timbul hanya dalam satu arah saja, yaitu pada arah yang tegak lurus terhadap arah dukungan tepi.





Gambar 13. Sistem Plat Lantai

Untuk menentukan tebal pelat lantai menurut Dr. Edward G. Nawy, P.E. (1998) tercantum pada table dibawah ini :

Perletakan sederhana	L/ 20
Satu ujung perletakan menerus	L/ 24
Kedua ujung menerus	L/ 28
Kantilever	L/ 10

K. Diagrid

Sistem struktur bangunan tinggi terus mengalami perkembangan dan kemajuan. Sistem struktur diagrid merupakan sistem struktur yang paling inovatif dan banyak diterapkan pada mayoritas bangunan tinggi di dunia abad ini. Gedung pencakar langit yang terkenal di dunia juga menggunakan sistem diagrid, seperti: Gedung Swiss Re di London, Gedung Hearst Tower di New York, Gedung CCTV Headquarters di Beijing, Gedung Mode Gakuen Spiral Tower di Aichi, Gedung West Tower di Guangzhou, Gedung Lotte Super Tower di Seoul, Gedung Capital Gate di Abu Dhabi, dan Gedung Bow Project di Calgary (Gambar 14).



(a)

(b)

(c)





Gambar 14. (a) Swiss Re (b) CCTV Headquarters (c) Mode Gakuen Spiral Tower (d) Capital Gate (e) Bow Project

Diagrid merupakan evolusi dari sistem struktur *braced-tube*. Peranan menahan momen dan menjaga kekakuan bangunan berada pada konfigurasi elemen struktur pada tepi bangunan. Perbedaan dengan sistem struktur sebelumnya adalah, hampir semua kolom vertikal pada sistem diagrid dieliminasi sehingga ruang dalam gedung bisa menjadi lebih luas dan dimanfaatkan secara arsitektural dengan lebih optimal, baik dari segi cahaya maupun udara. Dari segi penggunaan material struktur, akan lebih hemat sekitar 20% dibandingkan dengan sistem *braced-frame* (Charnish dan McDonnel, 2008).

Konfigurasi triangulasi yang berulang pada sistem diagrid membuat distribusi beban pada elemen struktur menjadi lebih baik dan efisien. Dengan konfigurasi yang unik ini, saat suatu elemen akan mengalami kegagalan maka beban akan tersalur ke elemen yang lain (Kim dkk, 2010; dan Toreno, 2012). Gambar 1.3 menunjukkan sambungan antara elemen – elemen pada struktur diagrid. Gedung dengan sistem diagrid memiliki kekakuan dan ketahanan terhadap momen guling dan deformasi geser yang lebih efektif dibandingkan dengan sistem struktur yang lain (Soo dkk, 2008).



Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 32





Gambar 15. Koneksi pada elemen diagrid

Secara arsitektural, diagrid merupakan sistem struktur yang jauh lebih estetik, menarik, dan dapat mengakomodasi desain arsitek dengan lebih terbuka. Dengan sistem ini, arsitek dapat memiliki desain layout dan *facade* yang unik. Gedung Central Chinese Television CCTV di Beijing menentang konsepsi populer dari struktur gedung pencakar langit secara umum, tetapi dengan pola diagrid, desain unik tersebut dapat terwujud.

Sistem struktur diagrid yang hanya terdiri dari *bracing* diagonal (yang juga berlaku sebagai kolom), balok, dan pelat lantai ini masih terus mengalami optimasi dari segi geometri dan sambungan. Pengaruh geometri, sudut, dan bentuk penampang dari *bracing* akan sangat mempengaruhi kekuatan dan kekakuan sistem bangunan tersebut. Oleh karena itu penelitian mengenai *bracing* dalam sistem diagrid masih harus banyak dikembangkan, termasuk *bracing* lengkung yang akan bisa memberikan inovasi baru dalam segi struktural maupun arsitektural. Penelitian analisis dari Kim, dkk (2010) serta Jani, dkk (2013) akan menjadi dasar bentuk dan dimensi gedung diagrid pada penelitian ini, sedangkan untuk jumlah lantai akan berbeda. Pada penelitian Kim dan Jani menggunakan gedung 36 lantai.

L. Shear Wall

Dinding geser (*shear wall*) adalah dinding yang berfungsi sebagai pengaku yang menerus sampai ke pondasi dan juga merupakan dinding inti untuk memperkaku seluruh bangunan yang dirancang untuk menahan gaya geser, gaya torsi, dan gempa bumi. Dinding geser pada umumnya bersifat kaku, sehingga lendutan (*deflection*) horizontal menjadi kecil (Agus, 2002).



Pada aplikasi di lapangan *shear wall* sering di tempatkan di bagian ujung dalam fungsi suatu ruangan, ataupun di tempatkan memanjang di tengah searah tinggi bangunan berfungsi untuk menahan beban angin ataupun beban gempa yang ditransfer melalui struktur portal ataupun struktur lantai. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut.

Ketika dinding geser dibangun, itu dibangun dalam bentuk garis berat menguatkan dan diperkuat panel. Dinding idealnya menghubungkan dua dinding eksterior, dan juga penahan dinding geser lainnya dalam struktur. Dinding geser yang efektif adalah baik kaku dan kuat. Dalam struktur bertingkat, dinding geser sangat penting, karena selain untuk mencegah kegagalan dinding eksterior, mereka juga mendukung beberapa lantai gedung, memastikan bahwa mereka tidak runtuh akibat gerakan lateral dalam gempa bumi.

Dinding geser dengan lebar yang besar akan menghasilkan daya tahan lentur dan geser yang sangat tinggi dan merupakan sistem struktur yang paling rasional dengan memanfaatkan sifat-sifat beton bertulang. Dinding geser adalah dinding beton bertulang dengan kekakuan bidang datar yang sangat besar, yang ditempatkan pada lokasi tertentu (ruang lift atau tangga) untuk menyediakan tahanan gaya/beban horizontal (Pranata dan Yunizar, 2011).

Pada konstruksi pelat beton bertulang, lantai dapat dianggap tidak mengalami distorsi karena ketegaran lantai sangat besar. Jadi gaya geser yang ditahan oleh sistem struktur disetiap tingkat bisa dihitung berdasarkan rasio ketegaran dengan memakai prinsip statis tak tertentu. Deformasi pada dinding kantilever menyerupai deformasi balok kantilever yang tegak lurus tanah dan selain deformasi lentur, dinding mengalami deformasi geser dan rotasi secara keseluruhan akibat deformasi tanah. Sebagai perbandingan deformasi portal terbuka besarnya cenderung sama pada tingkat atas dan bawah, sedangkan deformasi pada dinding geser sangat kecil didasar dan besar dipuncak.

gedung yang sesungguhnya tidak memiliki dinding geser yang berdiri karena dinding berhubungan dalam segala arah dengan balok atau batang kolom-kolom disekitarnya. Sehingga deformasi dinding akan dibatasi dan Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 34

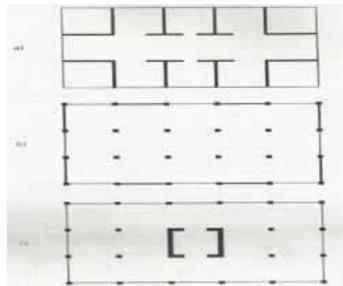


keadaan ini sebagai pengaruh pembatasan (*boundary effect*). Agar daya tahan dinding dapat berfungsi sebagaimana mestinya, maka syarat-syarat dibawah ini harus diperhatikan dalam tujuan perancangan dinding geser.

Perencanaan dinding geser sebagai elemen struktur penahan beban gempa pada gedung bertingkat dilakukan dengan konsep gaya dalam (yaitu dengan hanya meninjau gaya-gaya dalam yang terjadi akibat kombinasi beban gempa), kemudian setelah itu direncanakan penulangan dinding geser (Imran et al., 2008).

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

1. *Bearing walls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
2. *Frame walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.
3. *Core walls* adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak dikawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.



Gambar 16. *Bearing walls, frame wall dan core wall*

M. Keamanan Struktur



Untuk dapat memenuhi tujuannya, suatu struktur harus aman terhadap gempa dan bermanfaat. Suatu struktur mensyaratkan bahwa lendutan-lendutan

yang terjadi harus cukup kecil. Apabila ada retak-retak harus diusahakan berada dalam batas-batas yang masih dapat ditoleransi dan getaran-getaran yang terjadi harus diusahakan seminimum mungkin.

Keamanan mensyaratkan bahwa suatu stuktur harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul semua beban yang mungkin bekerja padanya. Apabila kekuatan dari suatu stuktur yang dibangun sesuai dengan perencanaan dan dapat dengan tepat untuk perhitungan besar beban berserta gaya-gaya dalam yang ditimbulkan (momen gaya geser dan gaya aksial), maka keamanan stuktur dapat ditentukan dengan jalan menyediakan daya dukung stuktur sedikit lebih besar dari beban yang bekerja pada stuktur tersebut, namun demikian pada umumnya didalam analisis, perencanaan dan pembangunan stuktur-stuktur beton bertulang terdapat sejumlah sumber ketidakpastian. Sumber-sumber ketidakpastian ini, yang menyebabkan diperlukannya suatu faktor keamanan tertentu, dapat diperinci sebagai berikut :

1. Besar beban yang sebenarnya terjadi dapat berbeda dengan yang ditentukan dalam perencanaan.
2. Beban yang sebenarnya pada stuktur mungkin didistribusi dengan cara yang berbeda dari yang ditentukan dalam perencanaan.
3. Asumsi-asumsi dan penyederhanaan-penyederhanaan yang dilakukan didalam analisis stuktur bisa memberikan hasil perhitungan pembebanan seperti momen, geser dan lain-lainnya yang berbeda dengan besar gaya-gaya yang sebenarnya bekerja pada stuktur.
4. Perilaku stuktur yang sebenarnya dapat berbeda dari perilaku yang dimisalkan dalam perencanaan, disebabkan karena tidak sempurnanya pengetahuan mengenai perilaku beban yang bekerja pada stuktur .
5. Besar dimensi batang yang sesungguhnya terdapat dilapangan dapat berbeda dari dimensi yang ditentukan oleh perencana.
6. Letak tulangan mungkin tidak pada posisi yang sebenarnya.

tan material yang sesungguhnya mungkin berbeda dari yang ditetapkan perencanaan.



Keamanan mensyaratkan bahwa suatu stuktur harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul semua beban yang mungkin bekerja padanya. Apabila kekuatan dari suatu stuktur yang dibangun sesuai dengan perencanaan dan dapat dengan tepat untuk perhitungan besar beban berserta gaya-gaya dalam yang ditimbulkan (momen gaya geser dan gaya aksial), maka keamanan stuktur dapat ditentukan dengan jalan menyediakan daya dukung stuktur sedikit lebih besar dari beban yang bekerja pada stuktur tersebut, namun demikian pada umumnya didalam analisis, perencananaan dan pembangunan stuktur-stuktur beton bertulang terdapat sejumlah sumber ketidakpastian. Sumber-sumber ketidakpastian ini, yang menyebabkan diperlukannya suatu faktor keamanan tertentu, dapat diperinci sebagai berikut :

1. Besar beban yang sebenarnya terjadi dapat berbeda dengan yang ditentukan dalam perencanaan.
2. Beban yang sebenarnya pada stuktur mungkin didistribusi dengan cara yang berbeda dari yang ditentukan dalam perencanaan .
3. Asumsi-asumsi dan penyederhanaan-penyederhanaan yang dilakukan didalam analisis stuktur bisa memberikan hasil perhitungan pembebanan seperti momen, geser dan lain-lainnya yang berbeda dengan besar gaya-gaya yang sebenarnya bekerja pada stuktur.
4. Perilaku stuktur yang sebenarnya dapat berbeda dari perilaku yang dimisalkan dalam perencanaan, disebabkan karena tidak sempurnanya pengetahuan mengenai perilaku beban yang bekerja pada stuktur .
5. Besar dimensi batang yang sesungguhnya terdapat dilapangan dapat berbeda dari dimensi yang ditentukan oleh perencana.
6. Letak tulangan mungkin tidak pada posisi yang sebenarnya.
7. Kekuatan material yang sesungguhnya mungkin berbeda dari yang ditetapkan oleh perencanaan.

Disamping itu, didalam menetapkan suatu spesifikasi mengenai keamanan, juga perhatikan akibat-akibat yang ditimbulkan apabila terjadi keruntuhan. Pada kasus-kasus lainnya, suatu keruntuhan dapat melibatkan suatu kehilangan



jiwa atau kerugian material yang sangat besar, apabila terjadi keruntuhan, maka hal lain yang perlu diperhatikan adalah sifat dari keruntuhan tersebut.

N. Beton Bertulang (*Reinforced Concrete*)

1. Pengertian Beton dan Beton Bertulang

Beton merupakan hasil campuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan bantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dipohusodo, 1994). Agregat halus dan kasar disebut sebagai bahan susunan kasar pencampuran merupakan komponen utama beton. Nilai kuat tekan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya fas (faktor air-semen) dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran dan kondisi perawatannya. Jika diperlukan, terdapat bahan aditif (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mencapai sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan.

Beton sebagai salah satu material dasar bangunan memiliki berbagai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari penggunaan beton (Tjokrodimuljo, 1996) meliputi:

- a) Harganya relatif murah
- b) Mampu memikul beban yang berat.
- c) Mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, sehingga lebih ekonomis karena beton dapat dicetak di lokasi pengerjaan.
- d) Biaya pemeliharaan atau perawatan yang relatif kecil, di mana perawatannya sendiri mudah.
- e) Material campuran pembentuk beton mudah didapatkan di pasaran.

Sementara, kekurangan yang terdapat pada penggunaan material beton meliputi:

- a) Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak dan perlu diberi baja tulangan untuk mengatasi resiko tersebut.

...n kerap menyusut dan memuai karena adanya faktor perubahan suhu.



- c) Beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air dan air yang membawa kandungan garam dapat merusak beton.
- d) Bentuk yang telah dibuat sulit untuk diubah, karena beton yang sudah kering bersifat kaku dan proses pelaksanaan pekerjaannya membutuhkan ketelitian yang tinggi.

Beton menurut penggunaan dan persyaratan dibagi tiga (Wahyuni, 2010), yaitu:

- a) Beton ringan dengan berat jenis rendah (*Low Density Concretes*) dengan nilai massa jenis 240 – 800 kg/m³ dan nilai kuat tekan 0,35 – 6,9 MPa untuk menahan panas (*insultating concrete*).
- b) Beton ringan dengan kekuatan menengah (*Moderate-Strength Concretes*) dengan nilai massa jenis 800 – 1440 kg/m³ dan nilai kuat tekan 6,9 – 17,3 MPa untuk pemasangan bata (*masonry concrete*)
- c) Beton struktur (*Structural Concrete*) dengan nilai densitas 1440 – 1900 kg/m³ dan nilai kuat tekan > 17,3 MPa.

Beton termasuk bahan bersifat getas (tidak dapat melentur). Maka dalam komponen struktural bangunan, beton diperkuat dengan material tulangan untuk membantu yang memiliki kekuatan tarik (dapat melentur). Dengan demikian terjadi pembagian tugas, dimana tulangan yang menahan gaya tarik, sedangkan beton menahan gaya tekan. Kelebihan masing-masing elemen tersebut membuat beton dan tulangan diharapkan dapat saling bersinergi menahan gaya-gaya yang berkerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton, dan tarik ditahan oleh tulangan baja. Material umumnya digunakan sebagai tulangan adalah baja tulangan (baik polos, maupun ulir) ataupun baja profil. Kerjasama antara beton dengan baja tulangan hanya dapat terwujud dengan didasarkan pada keadaan-keadaan tertentu (Dipohusodo, 1994), meliputi:

- a. Lekatan sempurna antara tulangan baja dengan beton yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran antara keduanya.

Beton yang mengelilingi tulangan baja bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadinya karat pada baja tulangan.



Angka muai kedua bahan hampir sama untuk kenaikan suhu satu derajat celcius angka muai beton 1×10^{-5} sampai $1,3 \times 10^{-5}$ sedangkan baja $1,2 \times 10^{-5}$, sehingga tegangan akibat perbedaan nilai dapat diabaikan.

Adapun nilai tegangan ijin tekan dan tarik untuk beton yang dapat dipaparkan melalui tabel berikut ini.

Tabel 2 Nilai Tegangan Ijin Berdasarkan Mutu Beton

Mutu	Notasi	Kuat beton rencana (kg/cm^2) pada pembebanan tetap				
		B ₁₀₀	K125	K225	K300	Umum σ_{bk}
Kuat tekan beton karakteristik	$\sigma'_{bk} \sqrt{\quad}$					
Lentur tanpa dan/atau dengan gaya normal:						
Tekan	σ'_{bu}	50	62	88	112	$0,5 \sigma'_{bk}$
Tarik	σ_{bu}	7	8	9,5	11	$0,71 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Gaya aksial:						
Tekan	$\sigma'_{bs,u}$	50	62	88	112	$0,5 \sigma'_{bk}$
Tarik	$\sigma_{bs,u}$	5,5	6	7	8	$0,54 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Geser oleh lentur atau puntir:						
Tanpa tulangan geser	T_{bu}	6,5	7,5	8,5	9,5	$0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Dengan tulangan geser	$T_{bm,u}$	16	18	21	24	$1,62 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Geser oleh lentur dengan puntir:						
Tanpa tulangan geser	T_{bu}	8	9	11	12	$0,81 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Dengan tulangan geser	$T_{bm,u}$	20	23	27	30	$2,03 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Geser pons pada penampang kritis:						
Tanpa tulangan geser	$T_{bpm,u}$	10	11	13	15	$0,97 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Dengan tulangan geser		20	22	26	29	$1,94 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Mutu	Notasi	Kuat beton rencana (kg/cm^2) pada pembebanan sementara				
Kuat tekan beton karakteristik	$\sigma'_{bk} \sqrt{\quad}$	B ₁₀₀	K125	K225	K300	Umum σ_{bk}
Lentur tanpa dan/atau dengan gaya normal:						
Tekan	σ'_{bu}	60	75	105	135	$0,6 \sigma'_{bk}$
Tarik	σ_{bu}	7	8	9,5	11	$0,71 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Gaya aksial:						
Tekan	$\sigma'_{bs,u}$	60	7,5	105	135	$0,6 \sigma'_{bk}$
Tarik	$\sigma_{bs,u}$	5,5	6	7	8	$0,54 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Geser oleh lentur atau puntir:						
Tanpa tulangan geser	T_{bu}	7	8	9,5	11	$0,71 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Dengan tulangan geser	$T_{bm,u}$	18	20	24	27	$1,78 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Geser oleh lentur dengan puntir:						
Tanpa tulangan geser	T_{bu}	9	10	12	13	$0,89 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Dengan tulangan geser	$T_{bm,u}$	22	25	30	33	$2,23 \sqrt{\sigma'_{bk}}$



Dengan tulangan geser						
Geser pons pada penampang kritis:						
Tanpa tulangan geser	$T_{bpm,u}$	11	12	14	16	$1,07 \sqrt{\sigma'_{bk}}$
Dengan tulangan geser		22	24	28	32	$2,14 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

Sumber : PBI 1971

Ket : untuk nilai $\phi=1$, nilai-nilai tegangan yang diijinkan menurut tabel di atas harus dikalikan dengan ϕ yang sesuai.

2. Material Baja Tulangan

Baja merupakan material campuran (*alloy*) dengan komponen utama berupa besi (Fe) beserta sejumlah karbon dan sebagian kecil senyawa lainnya. Sifat fisik baja yang paling penting adalah tegangan leleh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s). Baja mempunyai sifat plastis dan elastis, dan yang terpenting adalah sifat daktilitasnya. Daktilitas adalah kemampuan bahan untuk berubah bentuk atau deformasi tanpa mengalami putus. ASTM A.6 menjadikan dasar pengklasifikasian material baja dalam 5 jenis berdasarkan kadar komponen kimiawinya, yaitu :

- 1) *Carbon Steel* dengan tegangan leleh berkisar antara 33 s/d 36 ksi (228 dan 248 MPa), yaitu kategori baja yang beberapa klasifikasinya berdasarkan pada persentase karbon. *Carbon Steel* terbagi menjadi empat, yaitu : *low carbon* (kurang dari 0,15%), *mild carbon* (0,15-0,29%), *medium carbon* (0,3-0,59%) dan *high carbon* (0,6-1,7%). Tipe yang umum digunakan untuk jenis ini adalah grade A36 dan Fe37, dengan tegangan leleh nominal $f_y=250$ MPa.
- 2) *High strength steel* dengan tegangan leleh berkisar antara 42 dan 50 ksi (290 dan 345 MPa). Contoh kategori ini adalah baja A588.
- 3) *High Strength Low-Alloy Steel*, baja ini mempunyai tegangan leleh berkisar 40- 65 ksi (278-448 MPa) termasuk pada tipe A242, A441, A572, A588 dan Fe52.
- 4) *Quenched and Tempered carbon steel*, dengan tegangan leleh berkisar antara 50 dan 60 ksi (345 dan 414 MPa) yang termasuk tipe ini adalah A537.

Alloy Steel, baja jenis ini mempunyai tegangan leleh berkisar 90-100 ksi (621-688 MPa), termasuk jenis ini tipe A514 dan A517.



Adapun untuk kebutuhan perhitungan struktur, maka terdapat pula nilai tegangan ijin untuk tulangan baja yang dipaparkan melalui tabel berikut.

Tabel 3 Nilai Tegangan Ijin Tulangan Baja Berdasarkan Mutu U

Mutu 'U-'	Tegangan tarik/tekan yang diizinkan $\bar{\sigma}_a = \bar{\sigma}'_a$ (kg/cm ²)	
	Pembebanan tetap	Pembebanan sementara
22	1250	1800
24	1400	2000
32	1850	2650
39	2250	3200
48	2750	4000
Umum	0,58 σ'_{bk} 0,58 $\sigma'_{0,2}$	0,83 σ'_{bk} 0,83 $\sigma'_{0,2}$

Sumber : PBI 1971

Terdapat tabel yang menentukan sifat mekanis baja tulangan yang dipaparkan melalui tabel berikut ini.

Tabel 4 Mutu Mekanis Baja Tulangan Beton

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum, f_u (MPa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber : SNI 03-1729-2002

O. Bangunan Tinggi Sebagai Integrasi Multi Sistem

Dalam teori integrasi, tujuan utama dari integrasi adalah mereduksi jumlah waktu, material, energi dan ruang (konservasi waktu, material, energi, ruang) yang digunakan dalam suatu bangunan sekaligus meningkatkan jumlah aktifitas yang dapat dilakukan didalamnya. Hasil yang akan dicapai adalah suatu keseimbangan.

berikutnya adalah mencapai kinerja total bangunan yang optimal baik pasial, kinerja termal, kualitas udara dalam ruang, kinerja akustik, kinerja integritas bangunan.

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 42



Terdapat empat sistim utama yang secara deskriptif dapat mewakili suatu bangunan seutuhnya yaitu:

- Sistim Struktur Bangunan (*structure- S*)
- Sistim Fasad Bangunan (*envelope- E*)
- Sistim Interior Bangunan (*interior-I*)
- Sistim Mekanikal Bangunan (*mechanical- M*)

Ekspansi geometrik dari keempat sistim utama ini menghasilkan 11 kemungkinan variasi dari kombinasi dua, tiga, empat sistim yaitu:

- Kombinasi Dua Sistim (S+E, S+M, S+I, E+M, E+I, M+I)
- Kombinasi Tiga Sistim (S+E+M, S+E+I, E+M+I, S+M+I)
- Kombinasi Empat Sistim (S+E+M+I)

Keterkaitan antara sistim sistim utama dapat dinyatakan dengan diagram yang disebut *The System Tetrahedron* yang menempatkan masing masing dari keempat sistim tersebut pada salah satu titik simpul tetrahedron sehingga memungkinkan untuk dikaji secara analitis potensi teoritis masing masing sistim yang saling mempengaruhi satu dengan yang lain secara seimbang.

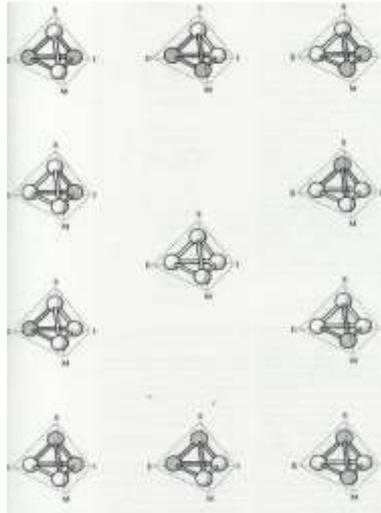
Terdapat beberapa level integrasi yang secara kronologis dari yang sederhana sampai tertinggi meliputi *Remote, Touching, Connected, Meshed, Unified*. Tingkatan tertinggi yakni *Unified Integration* terjadi bilamana sistim sistim dipadukan sedemikian rupa sehingga masing masing sistim mempunyai bentuk fisik dari sistim yang lain dan tidak dapat dibedakan lagi. Semakin tinggi suatu bangunan semakin besar kemungkinan integrasi diantara sistim sistim utama tadi.

	remote	touching	connected	meshed	unified
S+E		●	●		●
S+M			●	●	
S+I		●	●		●
E+M ^f			●	●	
E+I	●		●		●
M+I		●	●	●	●

Fig. 17. BSIH Matrix: Hubungan Kombinasi Sistim dan Level Integrasi.

Sumber: *The Building Systems Integration Handbook*





Gambar 18. Sistim Tetrahedron dan Kemungkinan Kombinasi Sistim Bangunan
 Sumber: *The Building Systems Integration Handbook p. 319*

N. Bangunan Tinggi Sebagai Metafora Monolitik

Ekspresi arsitektural suatu bangunan tinggi pada dasarnya dapat dibedakan antara *pendekatan monolitik* atau *pendekatan dialektik*. Pada pendekatan dialektik, aspek teknologi terpisah secara tegas dengan makna arsitektur yang akan disampaikan pada publik dimana makna tersebut akan muncul secara gradual. Pendekatan monolitik menegaskan aspek teknologi yang terintegrasi dengan makna arsitektur dalam suatu kesatuan organik yang utuh. Dalam konteks bangunan tinggi, aspek teknologi struktur merupakan “*form-giver*” pada ekspresi makna arsitektur melalui penampilan bentuknya.

Pengembangan pendekatan monolitik dalam konteks arsitektur dan struktur bangunan tinggi melahirkan langgam “*structural art*” yang mendominasi *skyline* kota kota metropolis pada dekade tujuh puluh-delapan puluhan dan dikenal dengan “*modern skyscraper*”, contoh: John Hancock Tower, Sears Tower Chicago. Dekade berikutnya dunia menyaksikan munculnya generasi lanjutan gedung tinggi monolitik yang menampilkan teknologi struktur sebagai inovasi arsitektur yang dikenal sebagai “*post-modern skyscraper*” atau “*contemporary tall building*”, contoh: Jin Mao Tower, Petronas Tower, Taipei 101 dan sebagainya.





Sumber:
<http://legacy.skyscrapercenter.com>
Gambar 16. Gedung tinggi monolitik Bank of China, Hongkong. Arsitek: I.M.Pei & Partners



Sumber:
<http://www.funcage.com>
Gambar 17. Gedung tinggi modern *Structural Art Skyscraper* : Sears Tower, Chicago.



Sumber:
<http://www.som.com>
Gambar 18. Gedung tinggi *Postmodern Contemporary Art Skyscraper* Jin Mao Tower

Sintesis antara arsitektur dan struktur pada bangunan sebenarnya merupakan proses alamiah yang kontinu dan berkesinambungan sampai tercapai suatu keterpaduan yang sinergis. Pendekatan arsitektur yang simultan dengan struktur dapat diibaratkan sebagai tarian dan musik sebagaimana dinyatakan oleh *Merce Cunningham* sebagai berikut:

“When John (Cage) and I first thought of separating the dance and the music, it was very difficult, because people had this idea about the music supporting the dance rhythmically. I can remember so clearly, in one piece I made some kind of very big movement, and there was no sound at all. But right after it came this incredible sound on the prepared piano, I understood that these two separate things could make something that couldn’t have happened any other way”.

Menurut Jimmy Priatman (2005) dalam studi analisisnya terhadap Jin Mao Tower dapat dipelajari bagaimana idea dan filosofis arsitektural yang mengangkat aspek kultur tradisional bangunan pagoda dapat berintegrasi secara sinergis dengan mega struktur (*core & outrigger*) yang memberikan peluang lantai-lantai sebagai perpindahan fungsi dan lantai penampungan darurat apabila terjadi



kebakaran, sedangkan mega *shear wall* pada core memberikan peluang adanya atrium (didalam core) dan menyatu dengan tata letak kamar kamar hotel. Pada contoh lain, fasade arsitektur bangunan (dinding dan jendela) sekaligus merupakan elemen struktural sebagaimana terlihat pada Miglin-Beitler Tower Chicago.

Sebenarnya gagasan sistim struktur tersebut pernah dieksplorasi oleh Fazlur Khan di tahun 1960, tetapi tidak sempat terealisasi hingga muncul proposal pencakar langit Miglin Beitler Tower-Chicago pada dekade 80, dan diimplementasikan pada Petronas Tower oleh Cesar Pelli dengan tim enjiner yang sama serta JIN MAO Tower oleh S.O.M. yang kini masuk dalam jajaran gedung tertinggi didunia.

Arsitek sekaligus enjiner Pier Luigi Nervi maupun Buckminster Fuller mendemonstrasikan adanya suatu dorongan puitis yang relevan dengan kultur pada karya karya mereka yang memadukan seni dan sains. Untuk generasi arsitek masa kini, S.O.M, Santiago Calatrava, Helmut Jahn dan beberapa arsitek lainnya berada pada jalur yang sama dengan inspirasi para perintis tersebut untuk memadukan dua paradigma dalam kesatuan yakni pendekatan sintetik, intuitif, artistik dengan pendekatan analitik, matematis dan saintifik secara simultan menuju karya arsitektur bangunan tinggi yang monolitik pada era global kini sebagaimana harapan yang diungkapkan oleh Mies van der Rohe :

“Architecture depends on its time,..the crystallization of its inner structure, the slow unfolding of its form. That is the reason why technology and architecture are so closely related. Our real hope is that they grow together, that someday the one will be the expression of the other, then will we have an architecture as a true symbol of our time....!”

O. Beban Struktur

Perencanaan kekuatan dan dimensi struktur high rise building didasarkan pada kombinasi beban-beban pada kondisi ultimate.



1. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang ada pada bangunan, yang letaknya dapat dipindahkan. Beban hidup umumnya meliputi massa penghuni, perabot-perabot yang tidak bersifat permanen, serta instalasi mesin-mesin yang sewaktu-waktu dapat dipindahkan. Berdasarkan pengertian dan contoh beban hidup tersebut, dapat diketahui bahwa beban hidup suatu gedung tidak selamanya tetap jumlahnya. Namun, beban hidup ini kerap menjadi pertimbangan karena akan ada masa di mana beban hidup suatu gedung akan cenderung lebih padat dari kondisi rata-ratanya. Adapun beban hidup untuk beberapa fungsi bangunan, antara lain:

Tabel 4 Nilai Beban Mati Berdasarkan Fungsi Bangunan

Fungsi Bangunan	Berat Beban (kg/m²)
Lantai dan tangga rumah tinggal (kecuali yang disebut pada poin selanjutnya)	200
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan toko, pabrik, atau bengkel	125
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250
Lantai ruang olahraga	400
Lantai ruang dansa	500
Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang pertemuan (selain dari yang sudah disebutkan di atas) seperti ruang ibadah, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop, dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400
Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau penonton berdiri	500
Tangga, bordes, dan gang (dari yang disebut poin ketiga)	300
Tangga, bordes, dan gang (dari yang disebut poin keempat s.d. ketujuh)	500
Lantai ruang pelengkap (dari yang disebut poin ketiga dan keempat)	400
Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang peralatan dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan sendiri, minimum	800
Gedung parkir bertingkat:	800
Lantai bawah	400



- Lantai tingkat lainnya	
Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300

Sumber : PPURG 1987

2. Beban Mati

Beban mati berasal dari total massa struktur bangunan itu sendiri. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa beban mati merupakan beban yang tidak dapat dipindahkan dan memiliki nilai beban yang konstan. Berat sendiri material beton bertulang berasal dari konstruksi pelat lantai, balok, kolom, dinding geser, hingga pondasi, serta adanya perkuatan yang bersifat struktural seperti *bracing*. Adapun pemasangan dan instalasi yang tidak bersifat struktural, namun dikategorikan sebagai beban mati, seperti instalasi pipa, lift, instalasi air bersih, tangga, dan plafon (ceiling). Adapun beban mati berasal dari material kaca sebagai pembentuk fasad. Semakin fasad lebih dinamis, maka perhitungan bebannya pun semakin rumit.

Tabel 5 Beberapa Berat Beban Mati Komponen Bangunan

Bahan Bangunan	Berat Beban
Baja	7850 kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	2200 kg/m ³
Beton Bertulang ⁽²⁾	2400 kg/m ³
Kayu Kelas I ⁽³⁾	1000 kg/m ³
Pasangan Bata Merah	1700 kg/m ³
Air	1000 kg/m ³
Komponen Gedung	Berat Badan
Adukan dari semen (per cm tebal)	21 kg/m ²
Adukan dari kapur, semen merah/tras	17 kg/m ²
Dinding pasangan 1 bata merah	450 kg/m ²
Dinding pasangan ½ bata merah	250 kg/m ²
Dinding 20 cm pas. Batako	200 kg/m ²
Dinding 10 cm pas. Batako	120 kg/m ²
Plafon dengan rusuknya:	
semen asbes, eternit, atau sejenis (tebal 4 mm)	11 kg/m ²
(tebal 3-5 mm)	
Plafon bentangan maks. 5m, dan jarak n. 0,8 m	10 kg/m ²



Penutup Lantai dari ubin, teraso, semen portland, dan beton tanpa adukan (per cm tebal)	7 kg/m ²
	24 kg/m ²

Sumber : PPURG 1987

3. Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh struktur yang mempertahankan posisi tegaknya terhadap dorongan angin, sehingga energi kinetik angin akan berubah menjadi energi potensial memberi beban terhadap bangunan. Efek beban angin pada suatu struktur bergantung pada berat jenis dan kecepatan udara, sudut luas angin, bentuk dan kekakuan struktur bangunan.

Beban angin disebabkan oleh selisih tekanan udara. Tekanan tiup minimal harus ditentukan 25 kg/m², dan di tepi perairan sampai sejauh 5 km dari pantai ditentukan minimum 40 kg/m². adapun persamaan untuk menentukan tekanan tiup angin, yaitu:

$$p = \frac{v^2}{16}$$

Dimana:

p = tekanan tiup angin (kg/m²)

v = kecepatan angin (m/s)

4. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang muncul pada suatu struktur bangunan akibat pergerakan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi (baik tektonik, maupun vulkanik). Sehingga, gempa mengakibatkan beban pada struktur karena adanya interaksi tanah terhadap karakteristik respon struktur. Baik tidaknya respon struktur bangunan terhadap beban gempa bergantung pada riwayat waktu pembebanan. Besar kecilnya kekuatan beban gempa dipengaruhi nilai percepatan tanah dalam getaran di dalam gempa tersebut.

NI 03-1726-2002 memaparkan perencanaan suatu nilai beban geser gempa melalui persamaan berikut

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 49



$$V = \frac{C \cdot I \cdot W_t}{R}$$

Di mana :

V = beban geser gempa

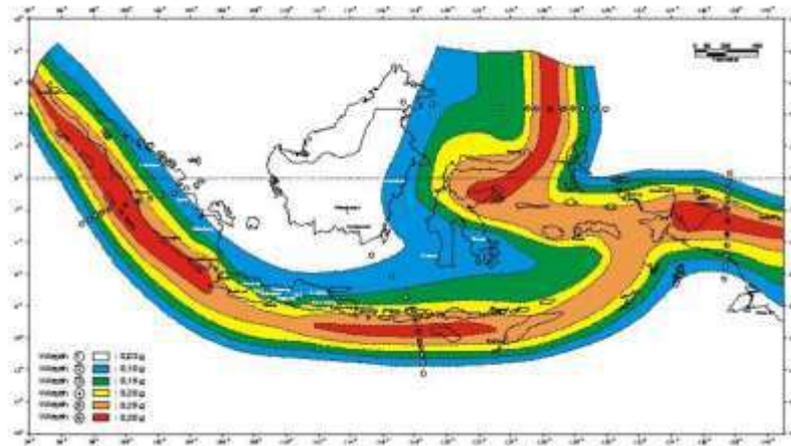
C = koef. Beban gempa dasar

I = faktor keutamaan

R = faktor reduksi gempa

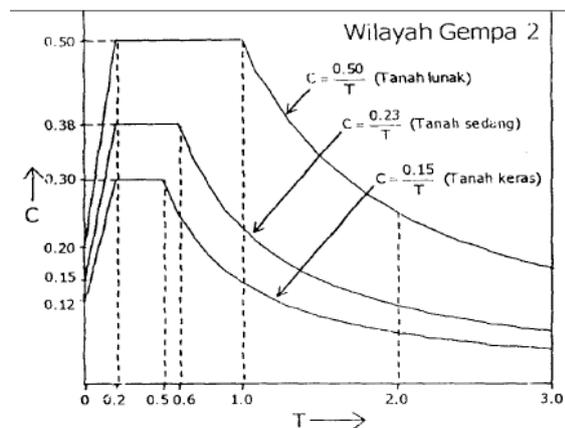
W_t = kombinasi beban hidup dan beban mati = $1,05 (D + 0,3L)$

Adapun pemetaan zonasi gempa untuk memudahkan menghitung persamaan di atas melalui gambar berikut ini.



Gambar 49 Peta Zonasi Gempa di Indonesia

Sumber : SNI 03-1726-2002



Gambar 50 Grafik Spektrum Koef. Gempa Dasar (C) Tiap-Tiap Zonasi

Sumber : SNI 03-1726-2002



Dalam analisis gempa dinamik, terdapat pula nilai percepatan puncak tanah berdasarkan jenis-jenis tanah untuk tiap-tiap zona wilayah gempa sebagai pembandingan yang dapat dilihat melalui tabel berikut ini.

Tabel 6 Percepatan Puncak pada Batuan Dasar dan Muka Tanah untuk Tiap-Tiap Zona Gempa di Indonesia

Zona Wilayah Gempa	Percepatan Puncak Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah, A _o (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber : SNI 03-1726-2002

Selain itu, dari data-data ini dapat pula ditentukan persamaan waktu getar alami (T) melalui persamaan berikut.

$$T = 0,085 H^{\frac{3}{4}} \dots \dots \dots \text{Untuk Portal Baja}$$

$$T = 0,06 H^{\frac{3}{4}} \dots \dots \dots \text{Untuk Portal Beton}$$

$$T = \frac{0,09 H}{\sqrt{B}} \dots \dots \dots \text{Untuk Struktur Lainnya}$$

Di mana :

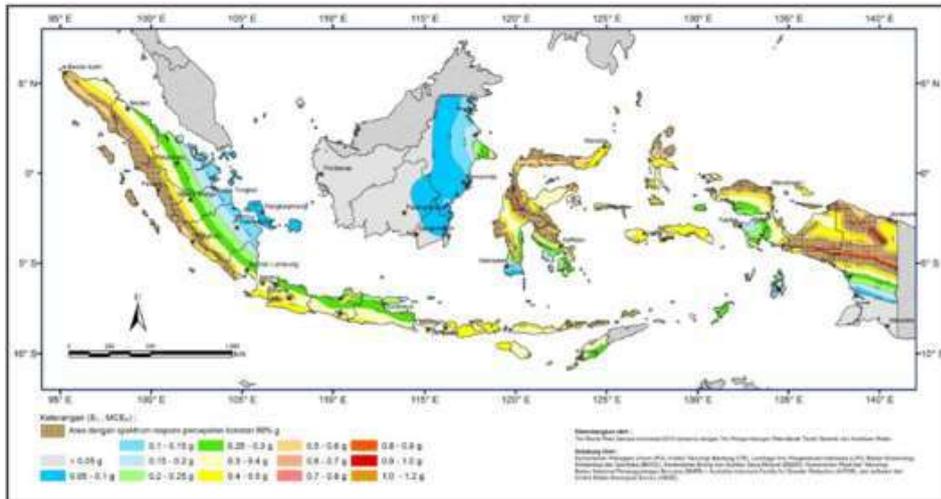
T = waktu getar alami (s)

H = tinggi bangunan (m)

B = panjang bangunan pada arah yang ditinjau (m)

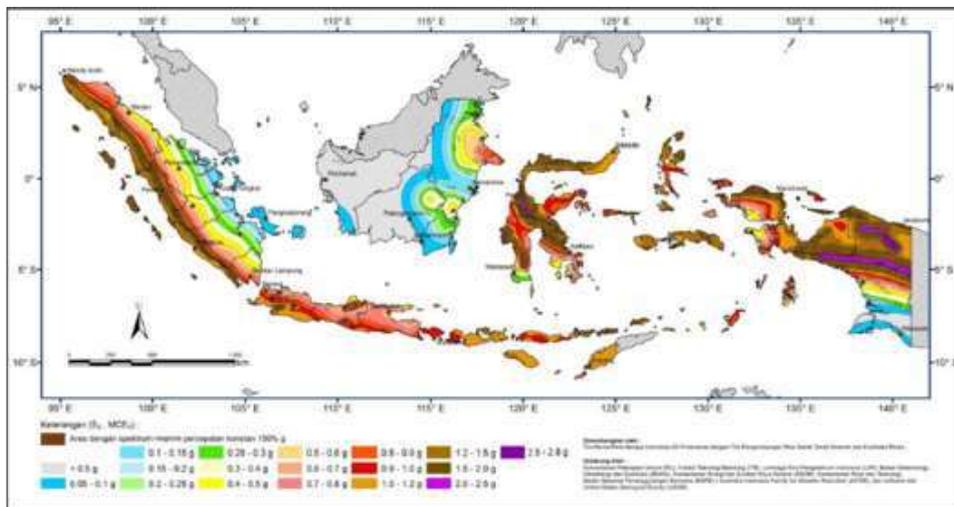
Menurut SNI 1726 (2012) wilayah Indonesia meliputi peta percepatan puncak (PGA) dan respon spektra percepatan di batuan dasar (SB) untuk periode pendek 0.2 detik (S_s) dan untuk periode 1.0 detik (S₁) dengan redaman 5% mewakili tiga level hazard gempa yaitu 500, 1000 dan 2500 tahun atau memiliki kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun, 10% dalam 100 tahun, dan 2% tahun.





Gambar 21 Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia Untuk SI

Sumber :Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012



Gambar 22 Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia Untuk SS

Sumber :Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012

Adapun faktor keutamaan gempa (I) dapat diketahui melalui tabel pengelompokan bangunan berdasarkan resiko gempa berikut ini.



Tabel 7 Kategori Resiko Gempa pada Bangunan

Pemanfaatan Gedung	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, dan IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk dalam kategori resiko 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> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia dan bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang ditetapkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat bila terjadi kebocoran.</p>	III



<p>Gedung dan nongedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau alat pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi saat keadaan darurat - Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV. 	IV
---	----

Sumber : SNI 1726-2012

Sehingga, faktor keutamaan gempa bangunan sesuai fungsinya dapat diketahui melalui tabel faktor reduksi berikut ini.

Tabel 8 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
Kategori I dan II	1,0
Kategori III	1,25
Kategori IV	1,5

Sumber : SNI 1726-2012

Serta, penentuan nilai faktor reduksi gempa dipaparkan melalui tabel berikut ini.

Tabel 9 Tabel Nilai Reduksi Gempa (R)

Taraf Kinerja Struktur Gedung	μ	R
Elastis Penuh	1.0	1.6
	1.5	2.4
Daktail Parsial	2.0	3.2
	2.5	4.0
	3.0	4.8
	3.5	5.6



	4.0	6.4
	4.5	7.2
	5.0	8.0
Daktail	5.3	8.5

Sumber : SNI 1726-2012

P. Aplikasi ETABS v16.2.1

1. Model Struktur

Pada ETABS v16.2.1, model yang digunakan dalam analisis dan desain didefinisikan oleh pengguna dengan memanfaatkan *graphical user interface facility* sebagai konsep dasar program berbasis Windows. Model tersebut biasanya dilengkapi dengan fitur-fitur yang mewakili struktur, antara lain:

- a. Properti material.
- b. Elemen frame untuk menunjukkan balok, kolom, dan rangka batang.
- c. Elemen shell untuk menunjukkan dinding, lantai, dan elemen-elemen yang tipis.
- d. Joints untuk menunjukkan hubungan antara elemen-elemen.
- e. Restraints dan Springs untuk perletakan titik.
- f. Pembebanan, termasuk berat sendiri, gempa, angin dan sebagainya.
- g. Setelah menganalisis struktur, maka model juga menampilkan simpangan, gaya-gaya dalam, maupun reaksi-reaksi pada join-join tertentu sesuai dengan pembebanan yang telah ditentukan.

2. Sistem Koordinat

Semua posisi struktur dalam model merupakan bagian dari suatu sistem dengan tiga sumbu utama yang disebut X, Y, Z dan saling tegak lurus. Dalam pemodelan dan analisis digunakan metode finite element. Sistem ini merupakan sistem tiga dimensi, sesuai dengan aturan tangan kanan dan sistem koordinat kartesian (rectangular).

Setiap komponen dalam model (joint, elemen frame, elemen shell dan sebagainya) masing-masing memiliki sistem koordinat lokal dengan sumbu 1, 2 dan 3. Sistem koordinat tersebut digunakan untuk menentukan properti, pembebanan, dan analisis untuk komponen tersebut. Dalam mengembangkan model yang dibuat, pengguna dapat menentukan sistem koordinat tambahan.

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 55



Finite element adalah suatu metode numerik yang memanfaatkan operasi matrik untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, *constraint*, sifat material, dll) maka semakin sulit atau bahkan mustahil dibangun suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah membangun model matematik yang lebih sederhana, dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagai metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum).

3. Metode Analisis Gempa Respon Spektrum di ETABS v16.2.1

Metode respon spektrum merupakan salah satu analisis beban gempa dinamis sesuai SNI-1726-2012. Analisis beban gempa respon spektrum menggunakan spektrum respons desain dalam pembebanan gempa. Grafik respon spektrum merupakan hasil plot nilai tanggapan/respons maksimum terhadap fungsi beban tertentu untuk semua sistem derajat kebebasan tunggal yang memungkinkan. Absis dari grafik tersebut berupa frekuensi (atau perioda/waktu) dan ordinat berupa nilai respons maksimum (Paz,1985).

Dalam Pasal 6.4 SNI-1726-2012 ditentukan ketentuan-ketentuan dalam membuat grafik spektrum respons desain. Ketentuan-ketentuan tersebut antara lain:

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

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

- 2) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a sama dengan SDS.

Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a harus diambil berdasarkan persamaan berikut.

Analisis Perencanaan Struktur Gedung Pusat Penelitian 26 Lantai dengan Pendekatan Monolitik dan Dialektik | 56



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

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = perioda getar/ fundamental struktur

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Grafik spektrum respons desain adalah grafik hubungan antara perioda dan percepatan respons spectra.

Dalam SNI-1726-2012 ada beberapa ketentuan yang harus dipenuhi dalam analisis beban gempa respon spektrum. Dalam Pasal 7.9.1 SNI-1726-2012 disebutkan bahwa jumlah ragam vibrasi (mode) yang ditinjau harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total (*mass participating ratio*) harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Syarat penjumlahan ragam ditentukan dalam Pasal 7.9.3 SNI-1726-2012. Dalam menentukan penjumlahan respons ragam untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berdekatan yaitu kurang dari 15% dilakukan dengan metode Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC). Sedangkan untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan dilakukan dengan metode Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares* atau SRSS).

Pada ETABS v16.2.1 analisis respons spektrum dilakukan dengan input grafik spektrum respons desain. Hal yang harus diperhatikan dalam input pada ETABS v16.2.1 adalah skala input/faktor skala. Skala input untuk beban gempa respons spektrum adalah sebagai berikut.

Keterangan:

f = faktor skala

I_e = faktor keutamaan gempa

R = koefisien modifikasi respons

Faktor skala dinyatakan dalam percepatan gravitasi bumi (g) yaitu 9,81



Q. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1	- Draga Hasan Saputra - Pio Ranap Tua Naibaho	Efektivitas Sistem Struktur Baja Diagrid pada Bangunan Tinggi	Hasil analisis dalam hal <i>top storey displacement, inter-storey drift</i> dan <i>time period</i> telah dibandingkan untuk memahami sistem struktur diagrid. Pertama perbandingan antara diagrid dan sistem konvensional telah dianalisis untuk menggambarkan keunggulan sistem diagrid. Perbandingan ini menggambarkan pentingnya diagrid dalam pengurangan berbagai parameter beban lateral seperti <i>top storey displacement, inter-storey drift</i> dan <i>time period</i> .	- Menggunakan ETABs - Analisis Gempa Respon Spektrum - Mengkaji <i>storey displacement</i> - Membandingkan keunggulan diagrid dengan sistem struktur lain	- Tidak mengkaji hubungan antara bentuk bangunan dengan rancangan struktur - Tidak mengkaji kinerja struktur berdasarkan ATC-40 - Memakai struktur baja - Analisa pada gedung beraturan, denah kotak
2	- Edy Purnomo - Edy Purwant	Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik dan Respon Spektrum	Hasil dari penelitian ini dianalisis dengan kinerja struktur batas ultimit dan kinerja struktur batas layan. Analisis nilai displacement terhadap pengaruh beban	- Menggunakan ETABs - Analisis dinamik response spectrum	- Tidak mengkaji hubungan antara bentuk bangunan dengan



<p>- Agus Supriyadi</p>	<p>Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Bangunan Hotel di Semarang)</p>	<p>gempa rencana arah X maupun arah Y, menyatakan bahwa Bangunan Hotel di Semarang sudah memenuhi syarat kinerja batas ultimit ($0,02 \times H$). Bangunan Hotel di Semarang termasuk dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO). Nilai displacement antar lantai pada Bangunan Hotel di Semarang tidak melampaui batas displacement maksimum $\{(0,015 \times H_n) / B\}$.</p>	<p>- Mengkaji displacement maksimum, kinerja batas layan dan ultimate serta level kinerja struktur berdasarkan ATC-40</p>	<p>rancangan struktur - Analisa pada gedung beraturan, - Tidak spesifik pada sistem struktur tertentu</p>
<p>3 . Agus Hariyanto</p>	<p>Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan dengann Analisis Dinamik menggunakan Metode Analisis Respons Spektrum</p>	<p>Mengetahui keamanan gedung dilihat dari displacement, drift dan base shear.</p>	<p>- Analisis pada gedung tidak beraturan - Analisis respon spektrum - Mengkaji displacement maksimum, dan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40</p>	<p>- Tidak mengkaji hubungan antara bentuk bangunan dengan rancangan struktur - Sistem struktur wall-frame beton bertulang</p>



4	<ul style="list-style-type: none"> - Anastasi a Maurina - Nancy Y. Nugroho - Ricky Kurniadi - Beni Tanaka 	<p>Korelasi Bentuk, Struktur dan Konstruksi pada Bangunan Bentang Besar dengan Struktur Membran</p>	<p>Penelitian ini mengkaji terlebih dahulu perancangan bentuk, struktur dan konstruksi melalui observasi, lalu mengkaji hubungannya. Penelitian ini memperlihatkan bahwa hubungan antara bentuk, struktur dan konstruksi yang saling mempengaruhi. Perancangan bentuk arsitektural untuk bangunan bentang besar dengan struktur membran akan sangat dipengaruhi oleh struktur membran dan konstruksinya.</p>	<p>- Mengkaji hubungan antara bentuk bangunan dengan rancangan struktur</p>	<p>- Tidak mengkaji efektifitas kinerja struktur</p>
---	---	---	--	---	--



R. Alur Perencanaan Penelitian

