

**ORIENTASI KOLOM BUJUR SANGKAR TERHADAP NILAI
DISPLACEMENT BANGUNAN TINGGI**

SKRIPSI PENELITIAN
TUGAS AKHIR – 478D5136
PERIODE II

OLEH:
AGNES MARTHEN LUTHER
D5 11 14 318



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ORIENTASI KOLOM BUJUR SANGKAR TERHADAP NILAI DISPLACEMENT
BANGUNAN TINGGI**

Disusun dan diajukan oleh

Agnes Marthen Luther
D511 14 318

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 27 September 2021

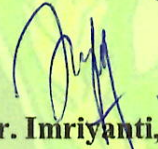
Menyetujui

Pembimbing I



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

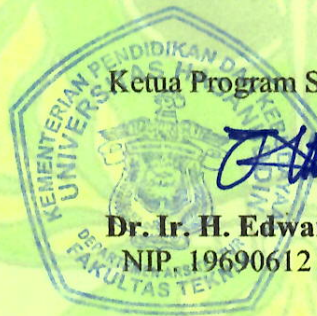
Pembimbing II



Dr. Imriyanti, ST., MT
NIP. 19730208 200604 2 001

Mengetahui

Ketua Program Studi Arsitektur



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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Agnes Marthen Luther

NIM : D5 11 14 318

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, Oktober 2021

Yang menyatakan,



Agnes Marthen Luther

KATA PENGANTAR

Mazmur 42:5

“Karena Engkaulah harapanku, ya Tuhan, kepercayaanku sejak masa muda, ya Allah.”

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang melimpahkan berkat dan pimpinan-Nya sehingga tugas akhir dengan judul:

ORIENTASI KOLOM BUJUR SANGKAR TERHADAP NILAI DISPLACEMENT BANGUNAN TINGGI

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

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

1. Kedua orang tua tercinta, Marthen Luther Siada dan Mince Suli yang selalu memberikan perhatian, dukungan, doa, dan motivasi yang tiada tara.
2. Dr. Ir. Hartawan, MT dan Dr. Imriyanti, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, meluangkan waktu, perhatian dan membagi ilmunya selama penulisan tugas akhir ini.
3. Pratiwi Mushar, ST., MT., dan Rahmi Amin, ST., MT., selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan arahan dan masukan dalam pengerjaan tugas akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Dr. Ir. Nururl Jamala Bangsawan, MT., selaku dosen penasehat akademik penulis yang telah memberikan bimbingannya selama di bangku perkuliahan.

5. Dr. H. Edward Syarif, ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh dosen dan staf lainnya, terima kasih atas ilmu-ilmunya yang berharga dan juga bantuannya selama ini.
6. Segenap keluarga besar Arsiktetur Angkatan 2014, yang telah banyak memberi bantuan, semangat, dan rasa solidaritas selama menempuh pendidikan di bangku perkuliahan.
7. Rekan seperjuangan saya tim pejuang S.Ars yaitu Arnita, Tsanny, Yustin, Nanda, Apyriawan, Adzhani, Titi, Yusriadi, Icha, Dewi, dan Mutia yang telah menjadi saudara dan saudari, senantiasa mendukung, menemani, mengingatkan, dan memberi motivasi, sehingga akhirnya semuanya dapat menyelesaikan tugas akhir dan wisuda bersama-sama.
8. Kakak-kakak saya, Nur Aisyah, Fadly, Nathalia, Reza, Andri, dan Clara yang selalu memberi memberikan dukungan baik moral dan moril, mendoakan, dan membantu di saat ada masalah, sehingga saya dapat menyelesaikan Pendidikan di jenjang ini sampai akhir.
9. Saudara dalam Tuhan, KMKO 2014, yang setia berjuang dan melayani bersama selama perkuliahan dan setiap kepanitiaan di KMKO, saling mendoakan, tidak pernah lelah mengingatkan dan memberi dukungan serta semangat kepada penulis.
10. Terkhusus saudaraku dalam Tuhan, KMKO ARSITEKTUR 2014, walaupun hanya berjumlah tujuh orang tetapi semangat dalam melayani tetap menyala dalam masa perkuliahan. Terima kasih untuk semua doa, dukungan, dan semangat yang diberikan kepada penulis.
11. Kepada saudariku, Amy dan Rahmatia, yang selalu ada di saat saya butuhkan, tempat curhat yang tidak pernah lelah menjadi pendengar yang baik, menyemangati dan menguatkan saya dalam masa-masa berat selama proses penulisan tugas akhir ini.
12. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata dengan segenap kerendahan hati, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam pembuatan tugas akhir ini. Oleh karena itu, saya memohon

maaf atas kekeliruan yang tanpa sengaja. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa lainnya dan dipergunakan dengan sebagaimana mestinya.

Gowa, Oktober 2021

PENULIS

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
ABSTRAK.....	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. RUMUSAN MASALAH.....	2
2.3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	3
2.3.1. Tujuan Penelitian.....	3
2.3.2. Manfaat Penelitian.....	3
2.4. RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. TINJAUAN UMUM STRUKTUR BANGUNAN.....	5
2.2. KLASIFIKASI STRUKTUR.....	6
2.3. ARSITEKTUR DAN BANGUNAN TINGGI.....	8
2.3.1. Sistem Struktur Bangunan Berlantai Banyak.....	9
2.3.2. Tujuan Perencanaan Struktur Bangunan Tinggi.....	13
2.3.3. Pemilihan Sistem Struktur.....	13
2.3.4. Sistem Struktur Atas.....	14
2.4. PEMBEBANAN STRUKTUR.....	15
2.4.1. Beban Mati.....	16
2.4.2. Beban Hidup.....	18

2.4.3.	Beban Gempa.....	19
2.4.4.	Beban Angin.....	21
2.4.5.	Kombinasi Pembebanan.....	23
2.5.	ELEMEN STRUKTUR.....	23
2.5.1.	Balok.....	23
2.5.2.	Pelat.....	27
2.5.3.	Kolom.....	30
2.6.	PENELITIAN TERDAHULU	34
BAB III.....		36
METODE PENELITIAN		36
3.1.	TEKNIK ANALISIS DATA.....	36
3.2.	JENIS DATA PENELITIAN	36
3.2.1.	Data Primer	36
3.2.2.	Data Sekunder	37
3.3.	TAHAP PENELITIAN	38
3.3.1.	Penelitian Dasar	38
3.3.2.	Penelitian Penerapan	40
3.4.	VARIABEL PENELITIAN.....	41
3.4.1.	Variabel Tetap.....	41
3.4.2.	Variabel Bebas	42
3.5.	INSTRUMEN PENELITIAN	43
3.5.1.	AutoCAD 2016	43
3.5.2.	SAP2000 versi 14.....	44
3.6.	DIAGRAM ALUR (FLOW CHART) PENELITIAN	45
BAB IV		46
HASIL DAN PEMBAHASAN		46
4.1.	KRITERIA DESAIN.....	46
4.2.	ANALISIS STRUKTUR DAN PEMBEBANAN.....	46
4.2.1.	Pendimensian Awal (<i>Preliminary Design</i>)	46
4.2.2.	Pemodelan Bangunan Kantor Sewa dengan SAP2000	54
4.3.	DESKRIPSI NILAI DISPLACEMENT KOLOM PENELITIAN DASAR.....	55

4.4. PENERAPAN KASUS PEMBEBANAN PADA MODEL STRUKTUR DENGAN SAP 2000	63
4.4.1. Beban Mati (Dead Load).....	63
4.4.2. Beban Hidup.....	75
4.4.3. Beban Angin.....	85
4.4.4. Beban Kombinasi.....	89
BAB V	116
5.1 Kesimpulan.....	116
5.2 SARAN.....	117
DAFTAR PUSTAKA.....	xvii
LAMPIRAN.....	xviii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Klasifikasi elemen struktur.....	7
Gambar 2 Klasifikasi struktur menurut mekanisme transfer beban.	8
Gambar 3 Evolusi dari gedung-gedung pencakar langit pada periode sebelum 1950.	10
Gambar 4 Skema pembebanan struktur.....	15
Gambar 5 Kondisi gempa pada struktur gedung.	20
Gambar 6 Grafik sifat dinamis angin.	22
Gambar 7 Kecepatan rata-rata angin pada umumnya bertambah dengan bertambahnya ketinggian.	23
Gambar 8 Sketsa penampang melintang balok persegi.....	24
Gambar 9 Sketsa penampang melintang balok T.....	25
Gambar 10 Plat lantai satu arah.....	28
Gambar 11 Plat Lantai Dua Arah.....	30
Gambar 12 Bentuk-bentuk penampang kolom.....	32
Gambar 13 Penelitian dasar diawali dengan membuat model kolom pada aplikasi SAP2000 masing-masing untuk setiap orientasi kolom.....	39
Gambar 14 Ilustrasi kolom uji kolom K1 dan kolom K2 yang telah dirotasikan menurut sudutnya masing-masing dengan arah pembebanan yang sama.....	39
Gambar 15 Setiap kolom uji diberi beban yang sama besar dan dari arah yang sama.....	40

Gambar 16 Denah tipikal orientasi kolom bujur sangkar sudut 0° , 30° , 45° , 60° , dan 75° dengan arah pembebanan yang sama.....	43
Gambar 17 Interface program AutoCAD 2016.....	43
Gambar 18 Interface program SAP2000 versi 14	44
Gambar 19 Penginputan ukuran balok induk di aplikasi SAP2000	48
Gambar 20 Penginputan ukuran balok anak di aplikasi SAP2000.....	49
Gambar 21 Penginputan dimensi kolom di aplikasi SAP2000	54
Gambar 22 Model 3D struktur bangunan kantor sewa pada program SAP2000	55
Gambar 23 Grafik hubungan orientasi kolom bujur sangkar K1 dengan ketinggian kolom terhadap nilai displacement pada sumbu X.....	56
Gambar 24 Grafik hubungan orientasi kolom bujur sangkar K1 dengan ketinggian kolom terhadap nilai displacement pada sumbu Y.....	57
Gambar 25 Arah pembebanan kolom uji K1.....	58
Gambar 26 Grafik hubungan orientasi kolom persegi panjang K2 dengan ketinggian kolom terhadap nilai displacement pada sumbu X.....	59
Gambar 27 Grafik hubungan orientasi kolom persegi panjang K2 dengan ketinggian kolom terhadap nilai displacement pada sumbu Y.....	60
Gambar 28 Arah pembebanan kolom uji K2.....	61
Gambar 29 Penginputan beban mati pada bangunan.	64
Gambar 30 Grafik nilai displacement beban mati arah X.....	67
Gambar 31 Grafik beban mati arah Y.	71
Gambar 32 Grafik nilai displacement beban mati arah Z.	74
Gambar 33 Penginputan beban hidup pada bangunan.	76

Gambar 34 Grafik nilai displacement beban hidup arah X.....	78
Gambar 35 Grafik nilai displacement beban hidup arah Y.....	81
Gambar 36 Grafik nilai displacement beban hidup arah Z.	84
Gambar 37 Penginputan beban angin pada bangunan.....	85
Gambar 38 Grafik displacement beban angin arah Y.	88
Gambar 39 Input beban kombinasi pada bangunan	90
Gambar 40 Grafik nilai displacement beban kombinasi 1,4D arah X.	92
Gambar 41 Grafik nilai displacement beban kombinasi 1,4D arah Y.	95
Gambar 42 Grafik displacement beban kombinasi 1,4D arah Z.....	98
Gambar 43 Grafik nilai displacement beban kombinasi 2 arah X	101
Gambar 44 Grafik nilai displacement beban kombinasi 2 arah Y	103
Gambar 45 Grafik nilai displacement beban kombinasi 2 arah Z.....	106
Gambar 46 Grafik nilai displacement beban kombinasi 3 arah X	109
Gambar 47 Grafik nilai displacement beban kombinasi 3 arah Y	112
Gambar 48 Grafik nilai displacement beban kombinasi 3 arah Z.....	115

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Beban mati pada lantai struktur.....	17
Tabel 2. Beban hidup pada lantai struktur.	18
Tabel 3. Tebal minimum balok non-prategang.....	26
Tabel 4. Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan.....	34
Tabel 5. Daftar Dimensi Kolom Berdasarkan Pembebanan Per Lantai (cm)53	
Tabel 6. Nilai displacement kolom bujur sangkar K1 40cm x 40cm arah X. 56	
Tabel 7. Nilai displacement kolom bujur sangkar K1 40cm x 40cm arah Y. 57	
Tabel 8. Nilai displacement kolom K2 20cm x 40cm arah X 59	
Tabel 9. Nilai displacement kolom K2 20cm x 40cm arah Y 60	
Tabel 10. Perbandingan nilai displacement kolom uji K1 dengan kolom uji K2 dalam menerima beban horizontal arah Y.	62
Tabel 11. Berat Struktur dan Beban Mati Tambahan pada Kantor Sewa ... 64	
Tabel 12. Nilai displacement beban mati arah X 65	
Tabel 13. Nilai displacement beban mati arah Y 69	
Tabel 14. Nilai displacements beban mati arah Z..... 72	
Tabel 15. Nilai displacements beban hidup arah X 76	
Tabel 16. Nilai displacements beban hidup arah Y 79	
Tabel 17. Nilai displacements beban hidup arah Z..... 82	
Tabel 18. Nilai displacement beban angin arah Y 86	
Tabel 19. Nilai displacement beban kombinasi 1,4D arah X 90	
Tabel 20. Nilai displacement beban kombinasi 1,4D arah Y 93	

Tabel 21. Nilai displacement beban kombinasi 1,4D arah Z	96
Tabel 22. Nilai displacement beban kombinasi 1,2 D + 1,6 L arah X	99
Tabel 23. Nilai displacement beban kombinasi 1,2 D + 1,6 L arah Y	102
Tabel 24. Nilai displacement beban kombinasi 1,2 D + 1,6 L arah Z.....	104
Tabel 25. Nilai displacement beban kombinasi 1,2D + 1,6L + 0,5W arah X	107
Tabel 26. Nilai displacement beban kombinasi 1,2 D + 1,6 L arah Y	110
Tabel 27. Nilai displacement beban kombinasi 1,2 D + 1,6 L arah Z.....	113

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Site Plan.....	xix
Lampiran 2 Denah Basement 1.....	xx
Lampiran 3 Denah Basement 2.....	xxi
Lampiran 4 Denah Lantai Ground.....	xxii
Lampiran 5 Denah Lantai 1.....	xxiii
Lampiran 6 Denah Lantai 2.....	xxiv
Lampiran 7 Denah Typical 1.....	xxv
Lampiran 8 Denah Typical 2.....	xxvi
Lampiran 9 Denah Core.....	xxvii
Lampiran 10 Orientasi kolom 0°.....	xxviii
Lampiran 11 Orientasi kolom 30°.....	xxix
Lampiran 12 Orientasi kolom 45°.....	xxx
Lampiran 13 Orientasi kolom 60°.....	xxxi
Lampiran 14 Orientasi kolom 75°.....	xxxii
Lampiran 15 Rencana Pondasi.....	xxxiii
Lampiran 16 Tampak Depan.....	xxxiv
Lampiran 17 Tampak Kiri.....	xxxv
Lampiran 18 Tampak Kanan.....	xxxvi
Lampiran 19 Tampak Belakang.....	xxxvii

ABSTRAK

Kolom adalah elemen struktur vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang menerima beban dari balok. Keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan (*collapse*) lantai yang bersangkutan, dan juga keruntuhan total seluruh strukturnya. Namun, dalam perencanaan bangunan orientasi kolom dan elemen struktur yang lain masih kurang mendapat perhatian. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terhadap orientasi kolom berpenampang bujur sangkar terhadap beberapa sudut istimewa untuk mengetahui bagaimana pengaruh orientasi terhadap displacement bangunan berlantai 30 dengan fungsi kantor sewa yang dimodelkan secara tiga dimensi dengan menggunakan software SAP2000 versi 14. Nilai displacement pada setiap orientasi memiliki perbedaan besaran tergantung dari nilai dan arah beban yang diterapkan. Dari hasil analisis didapatkan bahwa orientasi kolom bujur sangkar memiliki pengaruh pada titik dan ketinggian lantai tertentu. Orientasi kolom 75 derajat menimbulkan displacement yang lebih besar saat menerima beban mati arah X, beban mati arah Z, dan beban hidup arah Z. Di samping itu, orientasi kolom 30 derajat menghasilkan nilai displacement yang paling besar saat menerima beban mati arah Y. Untuk kasus pembebanan angin arah Y, orientasi kolom 0 dan 30 derajat menyebabkan displacement yang lebih besar dibandingkan orientasi lainnya, sehingga kekakuan struktur saat menerima beban angin arah Y pada orientasi ini lebih rendah.

Kata Kunci: *Displacement, orientasi, kolom, bujur sangkar, pembebanan*

ABSTRACT

The Orientation of Square Column to The Displacement Value of High Rise Building. Columns are vertical structural elements of a structural frame that receive loads from beams. Collapse in one column is a critical location that can cause the collapse of the relevant floor, as well as the total collapse of the entire structure. However, in the planning of the building, the orientation of the columns and other structural elements has received less attention. Therefore, researchers are interested in conducting research on the orientation of a column with a square cross section to some angles to find out how the orientation affects the displacement of the a 30-story building with a rental office function modeled in 3D using SAP2000 version 14 software. Displacement values in each orientation have different magnitudes depending on the value and direction of the applied load. From the results of the analysis, it is found that the orientation of the square column has an influence on certain points and floor heights. The 75° column orientation causes a larger displacement when receiving dead load in X direction, dead load in Z direction, and live load in Z direction. In addition, the 30° column orientation produces the largest displacement value when receiving dead load in Y direction. For the case of Y-direction wind loading, column orientations of 0° and 30° cause a larger displacement than other orientations, so that the stiffness of the structure when receiving Y-direction wind loads in this orientation is lower.

Key Words: *Displacement, orientation, column, square, loads.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.LATAR BELAKANG

Sebuah bangunan konstruksi terdiri atas elemen struktural dan elemen non struktural. Elemen struktural dibedakan menjadi beberapa bentuk yakni elemen lentur (balok sederhana), elemen tekan (kolom), struktur menerus (balok dan rangka kaku), struktur plat dan grid, struktur membran dan struktur cangkang. (Schodek, 1998)

Elemen struktur direncanakan berdasarkan beban yang dipikulnya seperti halnya pada perhitungan elemen tekan kolom yang mana daya pikul kolom ditentukan oleh berat sendiri balok dan besar beban yang bekerja di atas balok tersebut, baik berat plat lantai, dinding, kolom diatas balok, sandaran, tangga, plafond dan lain-lain termasuk beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban lainnya. Sehingga akan didapat dimensi elemen stuktur yang mampu memikul beban.

Kolom adalah elemen stuktur vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang menerima beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi (Nawy, 1998). Keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan (*collapse*) lantai yang bersangkutan, dan juga keruntuhan total seluruh strukturnya.

Orientasi kolom dinilai memiliki pengaruh pada kekuatan kolomnya dalam menerima beban. Penempatan/orientasi kolom yang tepat dari suatu bangunan akan memberikan kontribusi yang baik, efisien/tidak boros material dan optimal dari segi kekuatan struktur bangunan.

Di wilayah dengan resiko gempa tinggi seperti Indonesia, struktur harus didesain mengikuti ketentuan stuktur tahan gempa dimana struktur tidak boleh

runtuh akibat gempa kuat (gempa rencana) dan memiliki kemampuan untuk mendistribusikan beban gempa yang baik. Untuk menjamin hal ini maka struktur didesain dengan menerapkan konsep desain kapasitas yaitu suatu konsep desain dengan menentukan elemen-elemen struktur yang mengalami leleh sedangkan elemen lainnya masih dalam kondisi elastis. Dalam SNI 2847:2013, konsep ini diuraikan dalam persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pada SRPMK, SNI 2847:2013 pasal 21.6.1 mensyaratkan dimensi kolom ditentukan dengan rasio sisi penampang terpendek dan terpanjang adalah minimal 0,4 dengan lebar minimum 300 mm.

Massa dan kekakuan struktur, dan juga periode alami dari getaran yang berkaitan, merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi respons keseluruhan struktur terhadap gerakan, salah satunya yaitu perubahan orientasi elemen struktur. Adanya beban dan gaya yang diterima struktur menimbulkan perilaku dinamis struktur. Adapun perilaku dinamis yang ditinjau dalam tulisan ini terbatas pada *displacement* struktur akibat perubahan orientasi kolom struktur bujur sangkar.

1.2.RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dari tugas akhir ini terdiri dari :

1. Bagaimana *displacement* struktur bangunan tinggi akibat perubahan orientasi kolom bujur sangkar pada setiap sudut istimewa 30° , 45° , 60° , dan 75° ?
2. Orientasi kolom bujur sangkar mana yang memberikan pengaruh terbaik dalam menerima beban?

2.3.TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

2.3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mendeskripsikan *displacement* struktur akibat perubahan orientasi kolom bujur sangkar pada bangunan kantor sewa 30 lantai menurut sudut istimewa yaitu 30°, 45°, 60°, dan 75°.
2. Mendeskripsikan orientasi kolom bujur sangkar mana yang memberikan pengaruh terbaik dalam menerima beban.

2.3.2. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan akan didapat dari penyusunan tugas akhir ini adalah kita dapat mengetahui perilaku struktur bangunan dalam hal ini *displacement* strukturyang diakibatkan oleh perubahanorientasi kolom bujur sangkarterhadap beberapa variasi sudut, yaitu sudut istimewa 15, 30, 45, 60, dan 75 derajat, sehingga dapat memberikan kontribusi pengetahuan dalam merencanakan suatu bangunan.

2.4.RUANG LINGKUP PENELITIAN

Ruang lingkup penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Gedung yang ditinjau adalah bangunan berlantai banyak dengan denah bujur sangkar dan kolom bujur sangkar dengan material utama beton bertulang.
2. Gedung berjumlah 30 lantai.
3. Perencanaan elemen struktur dari bangunan kantor sewa 30 lantai ini meliputi dimensi kolom,dimensi balok induk dan balok anak, serta dimensi pelat lantai.
4. Dimensi kolom dari lantai *basement* sampai atap memiliki besaran yang sama.
5. Perhitungan beban angin dilihat dari 2 arah yaitu sumbu X dan Y pada bagian fasad bangunan (lantai tower dan podium).

6. Tidak menghitung analisis pembebanan gempa pada bangunan.
7. Pengujian simulasi bangunan kantor sewa menerapkan 5 macam orientasi kolomnya yaitu 0° , 30° , 45° , 60° , dan 75° dengan orientasi searah.
8. Kondisi tanah diabaikan dan struktur pondasi bangunan terjepit kaku di tanah.
9. Tidak mendesain pondasi bangunan.
10. Fokus penelitian pada struktur atas bangunan.
11. Analisis pembebanan menggunakan beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban kombinasi sesuai dengan Peraturan Pembebanan Untuk Gedung 1983.
12. Standar perhitungan beban mengacu pada standar SNI.
13. Modeling dan analisis struktur ditinjau dalam 3 dimensi menggunakan bantuan *software* SAP2000 versi 14.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM STRUKTUR BANGUNAN

Sebuah struktur harus mampu menahan semua beban yang diberikan pada struktur tersebut secara efisien dan aman. Beban struktural merupakan hasil dari gaya-gaya natural. Bahan-bahan yang umum digunakan dalam konstruksi beton, baja dan kayu dibuat menjadi elemenelemen struktural seperti balok, kolom, lengkungan dan rangka batang. Elemen struktural tersebut harus disusun menjadi bentuk-bentuk struktural yang terbaik yang dapat berfungsi sebagai suatu struktur, namun tetap aman menahan semua beban (Dishongh, 2003).

Perencanaan adalah bagian yang penting dari pembangunan suatu gedung atau bangunan lainnya. Perencanaan dari suatu konstruksi bangunan harus memenuhi berbagai syarat konstruksi yang telah ditentukan yaitu:

a. Kuat

Struktur gedung atau konstruksi lainnya harus direncanakan kekuatan batasnya terhadap pembebanan.

b. Kokoh

Struktur gedung harus direncanakan agar deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi tidak melebihi deformasi yang telah ditentukan.

c. Ekonomis

Konstruksi yang dibangun harus dibuat dengan biaya semurah mungkin dan disesuaikan dengan biaya yang ada tanpa mengurangi mutu dan kekuatan bangunan.

d. Artistik (Estetika)

Konstruksi yang dibangun harus memperhatikan nilai-nilai keindahan, tata letak dan bentuk sehingga setiap orang yang menempatnya akan merasa aman dan nyaman.

2.2. KLASIFIKASI STRUKTUR

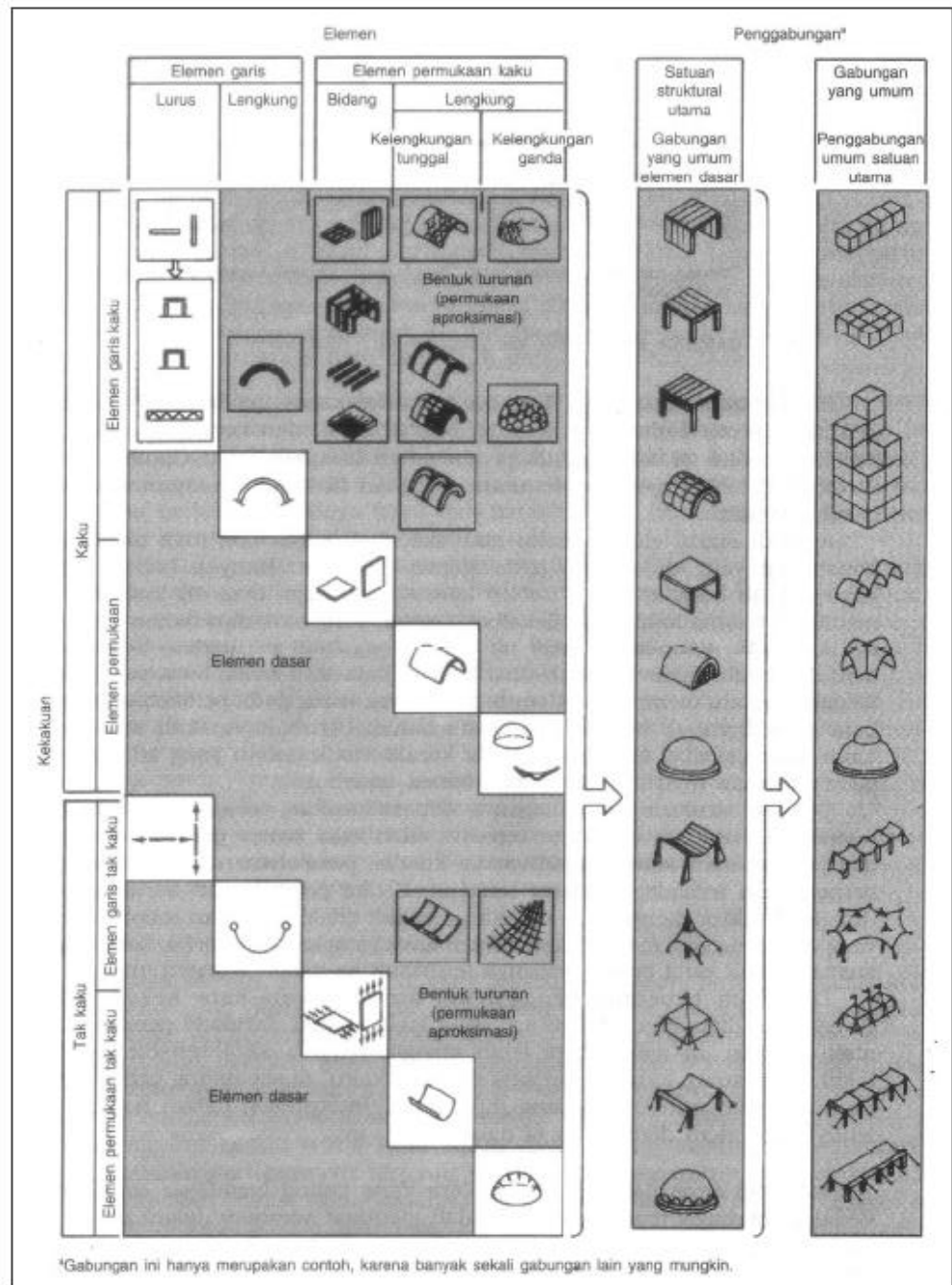
Untuk dapat memahami suatu bidang ilmu termasuk struktur bangunan, maka pengetahuan tentang bagaimana kelompok-kelompok dalam struktur dibedakan, diurutkan, dan dinamakan secara sistematis sangat diperlukan.

Klasifikasi struktur berdasarkan geometri atau bentuk dasarnya:

- Elemen garis atau elemen yang disusun dari elemen-elemen garis, adalah klasifikasi elemen yang panjang dan langsing dengan potongan melintangnya lebih kecil dibandingkan ukuran panjangnya. Elemen garis dapat dibedakan atas garis lurus dan garis lengkung.
- Elemen permukaan adalah klasifikasi elemen yang ketebalannya lebih kecil dibandingkan ukuran panjangnya. Elemen permukaan, dapat berupa datar atau lengkung. Elemen permukaan lengkung bisa berupa lengkung tunggal ataupun lengkung ganda

Klasifikasi struktur berdasarkan karakteristik kekakuan elemennya:

- Elemen kaku, biasanya sebagai batang yang tidak mengalami perubahan bentuk yang cukup besar apabila mengalami gaya akibat beban-beban.
- Elemen tidak kaku atau fleksibel, misalnya kabel yang cenderung berubah menjadi bentuk tertentu pada suatu kondisi pembebanan. Bentuk struktur ini dapat berubah drastis sesuai perubahan pembebanannya. Struktur fleksibel akan mempertahankan keutuhan fisiknya meskipun bentuknya berubah-ubah.

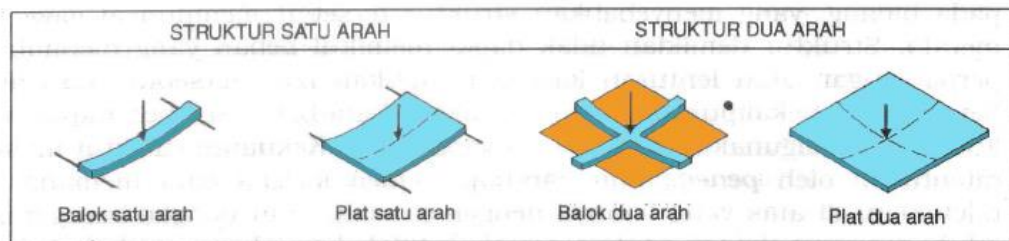


Gambar 1 | Klasifikasi elemen struktur.

Sumber: Teknik Struktur Bangunan Jilid II

Berdasarkan susunannya, elemen dibedakan menjadi dua sistem sebagai berikut.

- Sistem satu arah, dengan mekanisme transfer beban dari struktur untuk menyalurkan ke tanah merupakan aksi satu arah saja. Sebuah balok yang terbentang pada dua titik tumpuan adalah contoh sistem satu arah.
- Sistem dua arah, dengan dua elemen bersilangan yang terletak di atas dua titik tumpuan dan tidak terletak di atas garis yang sama. Suatu pelat bujur sangkar datar yang kaku dan terletak di atas tumpuan pada tepi-tepinya.



Gambar 2 / Klasifikasi struktur menurut mekanisme transfer beban.

Sumber: Teknik Struktur Bangunan Jilid II

Berdasarkan material pembentuknya:

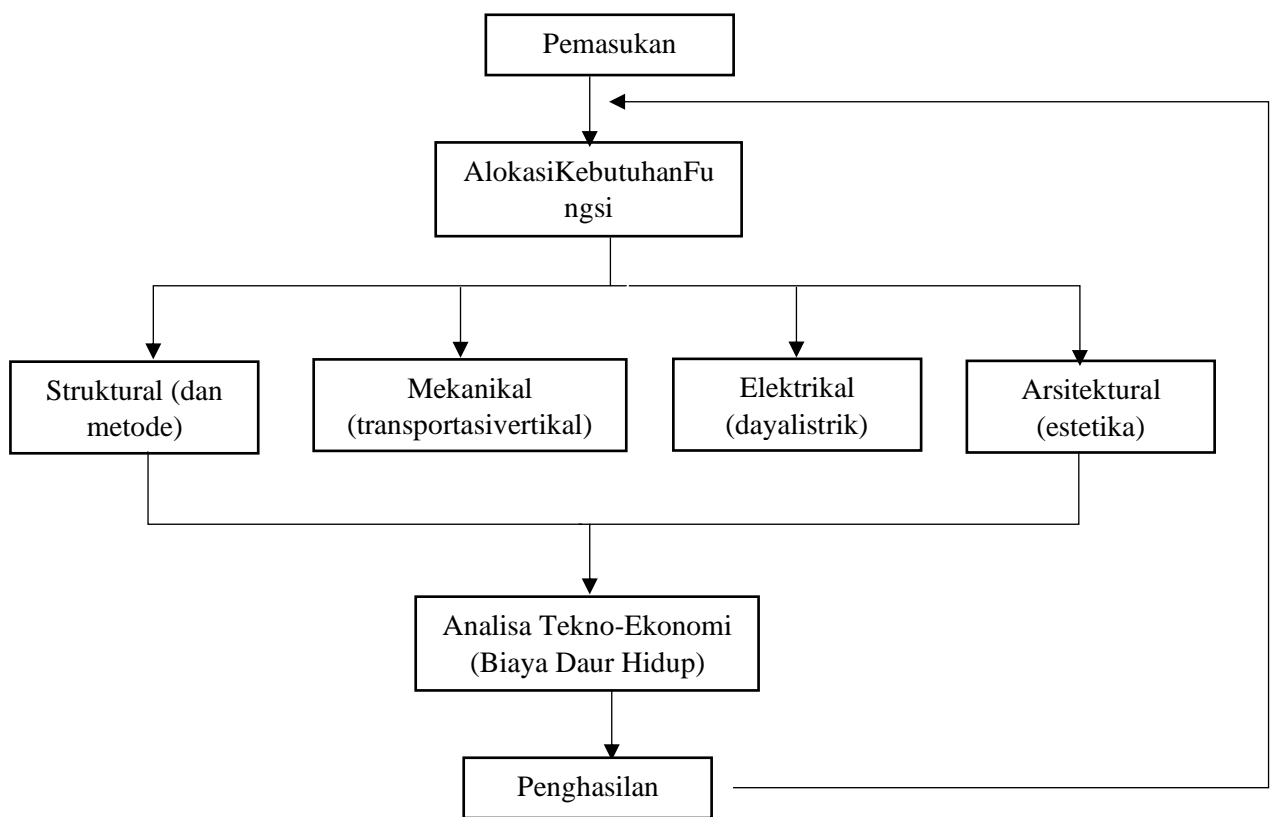
- Struktur kayu
- Struktur baja
- Struktur beton, dll

2.3. ARSITEKTUR DAN BANGUNAN TINGGI

Karya arsitektur merupakan hasil kolaborasi dari berbagai disiplin ilmu yang dirangkum dalam bentuk rancangan. Gagasan dasar muncul dari kreativitas sang arsitek, baik dalam bentuk intuisi (*blackbox*) maupun dalam bentuk pemrograman (*glassbox*). Rancangan yang dihasilkan oleh para arsitek selanjutnya diekspresikan menjadi sebuah bangunan, yang merupakan persatuan dari pertimbangan dan rumusan konsep-konsep sistem bangunan (arsitektural, struktural, mekanikal dan elektrik) serta lingkungan sekitar.

Penemuan berbagai bidang teknologi yang mendukung karya arsitektur, terutama di bidang struktural, konstruksi, mekanikal dan elektrikal serta bahan bangunan. Ditambah dengan semakin langka dan mahalnnya lahan di kota besar, maka mendirikan bangunan bertingkat tinggi menjadi pilihan yang dilakukan untuk mengoptimasikan nilai ekonomis bangunan tersebut.

Pendekatan dalam membuat rancangan bangunan tinggi dapat digambarkan pada bagan alur berikut.

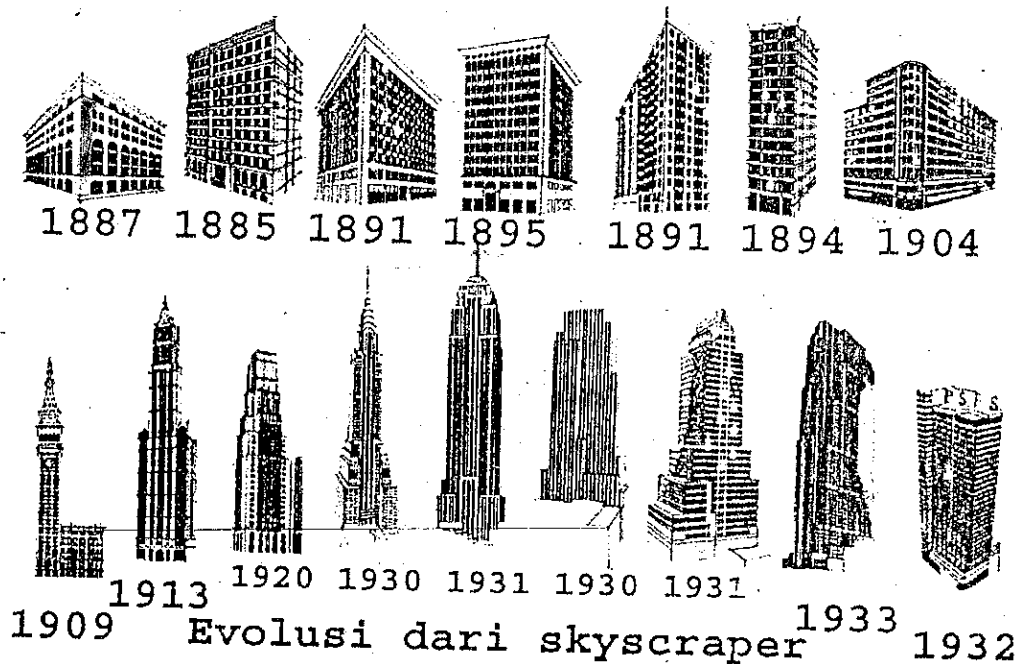


Sumber: Sistem Bangunan Tinggi

2.3.1. Sistem Struktur Bangunan Berlantai Banyak

Pembangunan gedung bertingkat sudah dilaksanakan sejak zaman dahulu kala, tetapi yang dikategorikan sebagai “*modern tall building*” dimulai sejak 1880an. *Modern tall building* yang pertama diperkirakan adalah gedung *Home Insurance Building* yang berupa konstruksi baja di Chicago pada tahun 1883 yang kemudian diikuti oleh gedung-gedung pencakar langit lainnya. Gedung-gedung tinggi pada awalnya didominasi oleh struktur baja karena perkembangan industri baja yang

cukup pesat, sedangkan perkembangan struktur beton relatif lambat dan baru berkembang pesat pada 1950an. Evolusi dari gedung-gedung pencakar langit secara umum dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3 | Evolusi dari gedung-gedung pencakar langit pada periode sebelum 1950.

Sumber: Google Image

Sistem struktur dari suatu bangunan, merupakan kumpulan dan kombinasi berbagai elemen struktur yang dihubungkan dan disusun secara teratur, baik secara *discrete* maupun menerus yang membentuk suatu totalitas kesatuan struktur.

Secara prinsip para insinyur sipil, sistem struktur dari bangunan tinggi mempunyai prinsip yang dianggap paling penting yaitu sistem dalam menahan gaya lateral. Selanjutnya gaya lateral ditahan rangka dari elemen balok dan kolom bersatu ke arah gerakan yang sepadan (Kowalczyk, 1995).

Struktur bangunan bertingkat tinggi memiliki tantangan tersendiri dalam desain untuk pembangunan strukturalnya, terutama bila terletak di wilayah yang memiliki faktor resiko yang cukup besar terhadap pengaruh gempa. Sebuah bangunan tinggi didefinisikan sebagai sesuatu yang karena ketinggiannya sehingga terpengaruh oleh

gaya lateral yang disebabkan oleh gaya angin atau aksi gempa ke suatu tingkat tertentu yang merupakan suatu aturan penting dalam desain struktur (G. S. Smith, 1991).

Untuk itu, dalam perancangan suatu struktur bangunan bertingkat tinggi haruslah memperhatikan unsur-unsur dasar bangunan. Menurut Schueller (2003), unsur-unsur tersebut adalah:

1. Unsur linear yang berupa kolom dan balok yang mampu menahan gaya aksial dan rotasi.
2. Unsur permukaan yang terdiri dari dinding dan pelat.
3. Unsur spasial yaitu pembungkus fasade atau inti (core). Misalnya dengan mengikat bangunan agar berlaku sebagai kesatuan. Perpaduan dari unsur-unsur di atas akan membentuk struktur tulang dari bangunan.

Untuk membangun suatu struktur bangunan tinggi yang tahan gempa, terdapat beberapa prinsip dasar yang perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan, dan pelaksanaannya (Iswandi, 2010) yaitu:

1. Sistem struktur yang direncanakan harus sesuai dengan tingkat resiko struktur bangunan tersebut berada terhadap gempa.
2. Aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan perlu diperhatikan. Dalam pendetailan penulangan dan sambungan. Unsur struktural bangunan harus terikat secara efektif menjadi satu kesatuan untuk meningkatkan integritas struktur secara menyeluruh.
3. Konsistensi sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan sistem struktur yang dilaksanakan harus terjaga.
4. Material beton dan baja tulangan yang digunakan harus memenuhi persyaratan material konstruksi untuk struktur bangunan tahan gempa. Unsur arsitektural yang memiliki massa yang besar harus terikat dengan kuat pada sistem portal utama dan harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap sistem struktur.

5. Metode pelaksanaan, sistem *quality control* dan *quality assurance* dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaedah yang berlaku.

Karakteristik material beton dan baja tulangan yang digunakan pada struktur beton bertulang tahan gempa akan sangat mempengaruhi perilaku plastifikasi struktur yang dihasilkan (Iswandi, 2010). Parameter material beton yang paling berpengaruh dalam hal ini adalah nilai kuat tekan. Berdasarkan SNI 2847 kuat tekan f_c' , untuk material beton yang digunakan pada struktur bangunan tahan gempa sebaiknya tidak kurang dari 20 MPa. Dengan kekuatan sebesar itu maka bangunan akan memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan sehingga kinerjanya tidak akan mudah berubah seiring dengan bertambahnya umur bangunan.

2.3.2. Tujuan Perencanaan Struktur Bangunan Tinggi

Sistem struktur pada bangunan tinggi dirancang dan dipersiapkan agar mampu:

- a. Memikul beban vertikal baik statik maupun dinamik.
- b. Memikul beban horizontal baik akibat angin maupun gempa.
- c. Menahan berbagai tegangan yang diakibatkan oleh pengaruh temperatur dan *shrinkage*.
- d. Menahan *external* dan *internal blast* dan beban kejut (*impactloads*).
- e. Mengantisipasi pengaruh *vibrations* dan *fatigue*.

2.3.3. Pemilihan Sistem Struktur

Dalam memilih sistem struktur, ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a. *Economical consideration*, yang meliputi *construction cost*, nilai kapitalisasi, *rentable space variation* dan *cost of time variation*.
- b. Kecepatan konstruksi yang dipengaruhi oleh profil bangunan, pengalaman, *methods* dan *expertise*, material struktur, tpi konstruksi (*cast-in-situ*, *precast* atau kombinasi) serta *local construction industry*.
- c. Geometri bangunan meliputi panjang, lebar dan tinggi bangunan.
- d. Bentuk bangunan secara vertikal.
- e. Pembatasan ketinggian (*height restriction*).
- f. Kelangsingan (*slenderness*), yaitu rasio antara tinggi terhadap lebar bangunan.
- g. *Plan configuration*, yaitu *depth-widht ratio* dan *degree of regularity* (dapat dilihat pada peraturan seperti UBC atau NEHRP).
- h. Kekuatan, kekakuan dan daktilitas.
Kekuatan berhubungan erat dengan material properties, kekakuan meliputi kekakuan lentur, kekakuan geser, kekakuan torsi dan daktilitas meliputi *strain ductility*, *curvature ductility* dan *displacement ductility*.
- i. Jenis/tipe pembebanan, yang meliputi beban gravitasi, beban lateral berupa beban angin dan *seismic* (gempa) serta beban-beban khusus lainnya.
- j. Kondisi tanah pendukung bangunan.

2.3.4. Sistem Struktur Atas

Bentuk bangunan dan sistem struktur rangka bangunan sangat berkaitan erat satu sama lainnya baik dalam arah horizontal maupun vertikal. Suatu sistem struktur disebut baik bila mencapai hal-hal berikut:

- a. Bentuk dan denah struktur yang simetris
- b. Skala struktur yang proporsional
- c. Tidak adanya perubahan mendadak dari tahanan lateral
- d. Tidak adanya perubahan mendadak dari kekakuan lateral
- e. Pembagian struktur yang seragam dan teratur
- f. Titik berat massa hampir sama dengan titik berat kekakuan
- g. Tidak sulit dibangun, dan dalam batasan biaya yang memadai

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan sistem struktur terhadap beban lateral antara lain adalah:

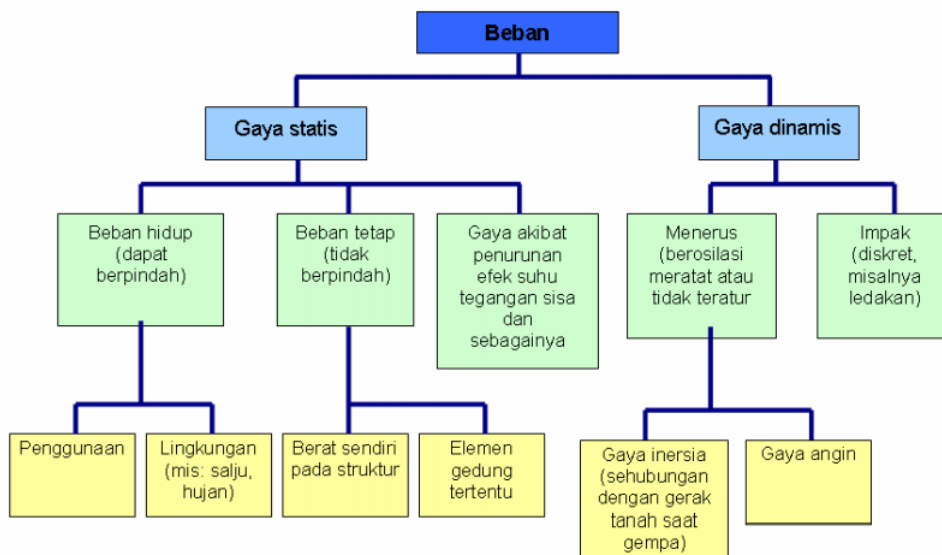
- a. Kekakuan diaphragma dan kekakuan struktur
- b. Distribusi gaya dan konsentrasi tahanan
- c. Tahanan pada keliling luar (perimeter) struktur bangunan
- d. Loncatan bidang vertikal (*vertical set back*)
- e. Diskontinuitas kekuatan dan kekakuan struktur karena adanya balok transfer (*transfer girder*), lantai transfer (*transfer floor*) atau dinding struktur yang tidak menerus ke bawah, dan dinding struktur yang letaknya berselang-seling baik dalam arah vertikal maupun horizontal.
- f. Ketidakteraturan struktur
- g. Adanya torsi yang besar tanpa adanya tahanan yang cukup untuk menampung torsi.
- h. Benturan antarbangunan
- i. Pemisahan bangunan
- j. Efek kolom pendek (*short column effect*)
- k. Kemudahan pelaksanaan, terutama pada detail sambungan dan kerapatan tulangan.

2.4. PEMBEBANAN STRUKTUR

Beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah atau manusia; dengan kata lain terdapat dua sumber dasar beban bangunan: geofisik dan buatan manusia.

Sumber geofisik dan buatan untuk beban bangunan bergantung satu sama lain. Massa, ukuran, besaran, bentuk, dan bahan suatu bangunan mempengaruhi aksi gaya geofisik. Misalnya, apabila unsur-unsur bangunan dikekang reaksinya terhadap perubahan suhu dan kelembaban, maka gaya-gaya akan diinduksi ke dalam bangunan (Schueller, 1989).

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur (Ariestadi, 2008). Gambar 2.2 menunjukkan diagram beban-beban yang harus diperhatikan dan cara untuk menentukan karakteristiknya. Perencanaan pembebanan di Indonesia diatur melalui SNI 03-1727-1989-F, Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung.



Gambar 4 / Skema pembebanan struktur.

Sumber: Schodek, 1999

Hal penting yang mendasar adalah pemisahan antara beban-beban yang bersifat statis dan dinamis. Beban dinamis bersifat sementara; beban ini berubah menurut perubahan waktu dan musim atau menurut fungsi ruangan di dalam atau pada suatu struktur.

- **Gaya statis** adalah gaya yang bekerja secara terus-menerus pada struktur. Deformasi ini akan mencapai puncaknya apabila gaya statis maksimum.
- **Gaya dinamis** adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba dan/atau kadang-kadang pada struktur. Pada umumnya mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat. Gaya dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi pada struktur hingga deformasi puncak tidak terjadi bersamaan dengan terjadinya gaya terbesar

Pembebanan merupakan faktor penting dalam merancang struktur bangunan. Untuk itu, dalam merancang struktur perlu mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada sistem struktur. Secara umum, struktur bangunan dikatakan aman dan stabil apabila mampu menahan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa yang bekerja pada bangunan tersebut.

2.4.1. Beban Mati

Beban mati dapat dinyatakan sebagai gaya statis yang disebabkan oleh berat setiap unsur di dalam struktur. Gaya-gaya yang menghasilkan beban mati terdiri dari berat unsur pendukung beban dari bangunan, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, sistem distribusi mekanis, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727:2013 pasal 3.1). Berat sendiri ataupun beban mati dapat ditentukan menggunakan peraturan pembebanan SNI 1727-2013 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Beban mati pada lantai struktur.

BAHAN BANGUNAN	
Baja	7850 kg/m ³
Batu Alam	2600 kg/m ³
Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m ³
Batu Karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu Pecah	1450 kg/m ³
Besi Tuang	7250 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Kayu (kelas 1)	1000 kg/m ³
Kerikil, koral	1650 kg/m ³
Pasangan Bata Merah	1700 kg/m ³
Pasangan Batu Belah, Batu Belat, Batu Gunung	2200 kg/m ³
Pasangan Batu Cetak	2200 kg/m ³
Pasangan Batu Karang	1450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m ³
Pasir, kerikil, koral (kering udara – lembab)	1850 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (kering udara – lembab)	1700 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (basah)	2000 kg/m ³
Tanah Hitam (timbel)	11400 kg/m ³
KOMPONEN GEDUNG	
Adukan, per cm tebal:	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding Pasangan Bata Merah:	
- Satu Bata	450 kg/m ²
- Setengah Bata	250 kg/m ²
Dinding Pasangan Batako Berlubang:	
- Tebal dinding 20 cm	200 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm	120 kg/m ²
Dinding Pasangan Batako Tanpa Lubang:	
- Tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Dinding Pasangan Hebel	200 kg/m ²
Langit-Langit:	

- Serat semen, tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- Kaca, tebal 3-4 mm	10 kg/m ²
Plafon dan Penggantung	18 kg/m ²
Penutup Atap:	
- Genteng/Kaso/Reng per m ² luas atap	50 kg/m ²
- Sirap/Kaso/Reng per m ² luas atap	24 kg/m ²
- Serat Semen Gelombang (tebal maksimum 5 mm)	10 kg/m ²
- Alumunium Gelombang	5 kg/m ²
Penutup Lantai:	
- Terasso, Keramik & Beton	24 kg/m ²
- Granit	95 kg/m ²
Mekanikal dan Elektrikal	50 kg/m ²

Sumber: SNI 1727-2013

2.4.2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain (SNI 1727:2013 pasal 4.1). Beban hidup selalu berubah-ubah dan sulit diperkirakan. Perubahan tersebut terjadi sepanjang waktu, baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang (Schueler, 2010). Beban ini merupakan beban yang diakibatkan oleh berat manusia, pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material, serta semua beban semipermanen atau beban sementara yang berpengaruh terhadap sistem bangunan, tetapi bukan bagian dari struktur dan tidak dianggap sebagai beban mati. Selain itu juga beban selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian (SNI 1727:2013 pasal 4.1). Berat dari beban hidup dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban hidup pada lantai struktur.

BEBAN HIDUP PADA LANTAI STRUKTUR	
Lantai pada rumah tinggal	200 kg/m ²
Lantai dan rumah tinggal sederhana	125 kg/m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²
Lantai ruang olahraga	400 kg/m ²

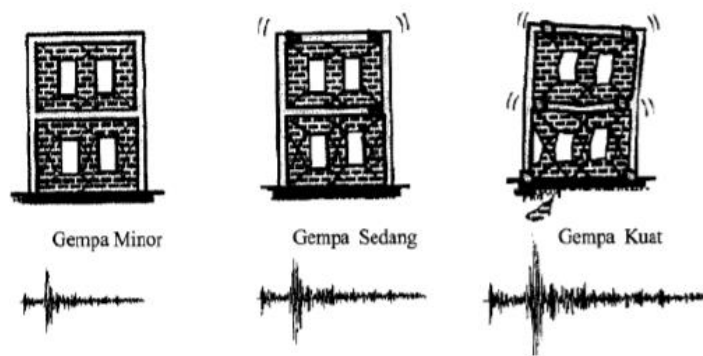
Lantai ruang dansa	500 kg/m ²
Lantai dan balkon ruang pertemuan, bioskop, ibadah	400 kg/m ²
Panggung penonton dengan penonton berdiri	500 kg/m ²
Tangga, bordes tangga dan gang bangunan umum	300 kg/m ²
Tangga, bordes tangga dan gang gedung pertemuan	500 kg/m ²
Lantai ruang perlengkapan gedung pertemuan	250 kg/m ²
Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang mesin	400 kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat:	
- untuk lantai bawah	800 kg/m ²
- untuk lantai tingkat lainnya	400 kg/m ²
Balkon yang menjorok bebas keluar	300 kg/m ²

Sumber: SNI 1727-2013 pasal 4.1

2.4.3. Beban Gempa

Karena pondasi adalah titik singgung antara bangunan dengan tanah, maka gerak seismik bekerja pada bangunan dengan menggerakkan pondasi bolak-balik. Massa bangunan menahan gerak ini, membangun gaya inersia pada seluruh struktur (Schueller, 1989). Aksi ini serupa dengan inersia lateral yang dialami seseorang apabila kendaraan yang ditumpangnya tiba-tiba berhenti.

Pada gempa kecil yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktur masih diperbolehkan. Pada gempa menengah yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat/ekonomis untuk diperbaiki. Elemen non-struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.



Gambar 5 / Kondisi gempa pada struktur gedung.

Sumber: Google Image

Menurut Imran dan Hendrik (2009), prinsip-prinsip dasar yang perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa adalah:

- a. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan tingkat kerawanan/resiko terhadap gempa.
- b. Aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan perlu diperhatikan.
- c. Konsistensi sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan sistem struktur yang dilaksanakan harus terjaga.
- d. Material beton dan baja tulangan yang digunakan harus memenuhi persyaratan material konstruksi untuk struktur bangunan tahan gempa.
- e. Unsur-unsur arsitektural yang memiliki massa yang besar harus terikat kuat pada sistem portal utama dan harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap sistem struktur.
- f. Metode pelaksanaan, sistem equality control dan quality assurance dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaidah yang berlaku.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah besarnya gaya gempa dipengaruhi oleh karakteristik gempa, karakteristik tanah, dan karakteristik struktur bangunan.

Perhitungan beban gempa ini dapat menggunakan dua metode yaitu, metode statik ekuivalen dan metode respons spektrum.

1) Metode statik ekuivalen

Pada metode ini tanah dasar dianggap tidak bergetar dan beban gempa di ekuivalensikan menjadi beban lateral statik yang disebar pada elemen gedung.

2) Metode *respon spectrum*

Pada metode ini berdasarkan percepatan tanah atau pergerakan tanah dengan rekaman gempa menggunakan plot grafik.

2.4.4. Beban Angin

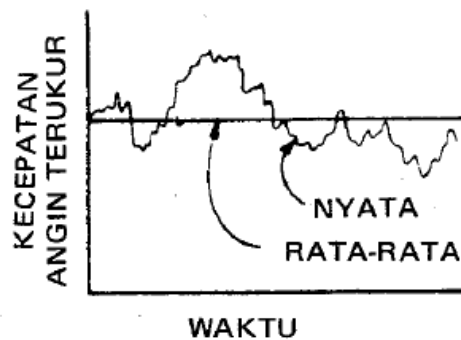
Bangunan pencakar-pencakar langit yang pertama tidak rentan terhadap terhadap akibat-akibat aksi lateral yang disebabkan oleh angin dikarenakan berat beban bangunan itu sendiri yang berasal dari material bangunan seperti fasade batu yang berat dengan bukaan-bukaan kecil, kolom-kolom berjarak rapat, unsut-unsur rangka yang masif dan tersusun berlapis, demikian pula dinding partisi yang berat masih menghasilkan bobot sehingga aksi angin tidak menjadi masalah yang penting.

Dengan diperkenalkannya rangka baja ringan, berat tidak lagi menjadi faktor yang membatasi ketinggian potensial bangunan. Untuk mengurangi bobot mati dan menciptakan ruang yang lebih besar dan fleksibel, dikembangkanlah balok-balok yang membentang lebih panjang dan partisi-partisi interior yang tidak memikul beban yang dapat dipindah-pindahkan dan dinding tirai yang tidak memikul beban. Semua perkembangan ini telah mengurangi kekakuan struktur sehingga kini kekakuan lateral suatu bangunan bisa merupakan pertimbangan yang lebih penting daripada kekuatannya. Aksi angin telah menjadi masalah yang besar bagi perancangan bangunan tinggi.

Aksi angin pada bangunan bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti kekasaran dan bentuk permukaan, bentuk kerampingan dan tekstur fasade struktur itu sendiri serta peletakan bangunan yang berdekatan.

Kecepatan Angin

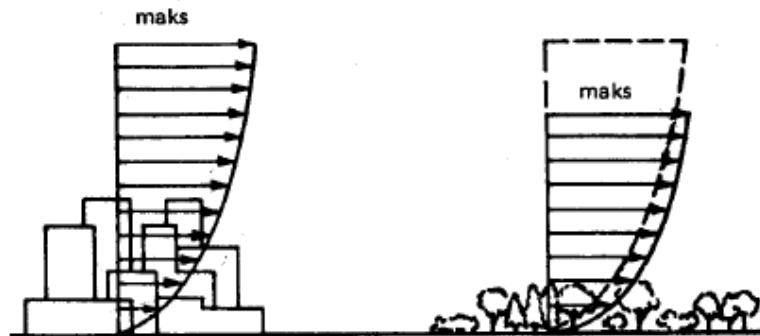
Kecepatan angin dicatat pada ketinggian tertentu pada suatu bangunan dan menunjukkan dua fenomena: kecepatan angin rata-rata konstan yang umum dan kecepatan angin yang tiba-tiba berubah. Maka angin mempunyai dua komponen, yaitu statis dan dinamis.



Gambar 6 / Grafik sifat dinamis angin.

Sumber: Schueller, 1989

Kecepatan angin rata-rata pada umumnya bertambah dengan bertambahnya ketinggian. Akan tetapi, tingkat pertambahan kecepatan rata-rata dipengaruhi kekasaran permukaan tanah karena perjalanan angin dihambat di dekat permukaan tanah oleh gaya gesek. Semakin banyak pengaruh benda-benda sekitar (misalnya pepohonan, bentuk permukaan tanah, bangunan), semakin meningkat pula ketinggian tempat terjadinya kecepatan maksimum.



Gambar 7/ Kecepatan rata-rata angin pada umumnya bertambah dengan bertambahnya ketinggian.

Sumber: Schueller, 1989

2.4.5. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan merupakan hal yang penting dan sangat berpengaruh dalam perencanaan desain portal, karena faktor keamanan menjadi hal utama. Untuk kombinasi pembebanan pada bangunan gedung tahan gempa, kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai persamaan SNI 03-1726-2012 yaitu:

$$\text{Kombinasi 1} = 1,4 D \quad (2.1)$$

$$\text{Kombinasi 2} = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (2.2)$$

$$\text{Kombinasi 3} = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (2.3)$$

$$\text{Kombinasi 4} = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (2.4)$$

2.5. ELEMEN STRUKTUR

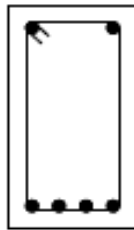
2.5.1. Balok

Balok merupakan komponen struktur bangunan yang menerima beban tegak lurus terhadap sumbu memanjang batang. Balok adalah komponen struktur lentur yang menggabungkan batang tarik dan batang tekan dengan jarak tertentu. Tegangan dalam yang timbul didalam balok pada keadaan tertentu diwakili oleh gaya dalam.

[Dipohusodo (2003) menyatakan bahwa perencanaan suatu balok berdasarkan teknik pelaksanaannya dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu:

a. Balok Persegi

Balok persegi merupakan suatu jenis balok dengan bentuk persegi pada dua dimensi (sumbu X dan sumbu Y). Pada perencanaannya, balok ini dapat memiliki dua jenis penulangan yaitu balok dengan penulangan tunggal dan balok dengan penulangan rangkap. Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu diwakili oleh gaya-gaya dalam. Akibat gaya tekan dalam dan gaya tarik dalam maka membentuk kopel momen tahanan dalam dimana nilai maksimum disebut sebagai kuat lentur.



Gambar 8 / Sketsa penampang melintang balok persegi.

Gambar 2.9 | Sketsa penampang melintang balok persegi.

Sumber: Ilustrasi penulis, 2021

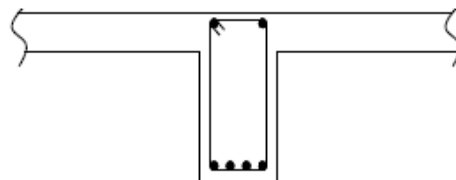
b. Balok T

Suatu balok yang apabila pada pelaksanaan dan perencanaannya dihitung sebagai struktur yang monolit maka balok ini disebut dengan nama balok T, karena balok dicetak menjadi satu kesatuan dengan plat lantai atau atap. Pelat akan berlaku sebagai lapis sayap (*flens*) tekan dan balok-balok sebagai badan.

Dalam hal ini, pelat berfungsi sebagai *flens* dari balok T juga harus direncanakan dan diperhitungkan tersendiri terhadap lenturan pada arah melintang terhadap balok-balok pendukungnya. Dengan demikian pelat yang berfungsi sebagai *flens* tersebut berperilaku sebagai komponen struktur yang

bekerja pada dua arah lenturan yang tegak lurus. Adapun pembatasan lebar *flens efektif* balok T sebagai berikut:

- 1) Lebar *flens efektif* yang akan diperhitungkan tidak lebih dari seperempat panjang bentang balok, sedangkan lebar efektif bagian pelat yang menonjol di kedua sisi dari balok tidak lebih dari delapan kali tebal pelat, dan juga tidak lebih besar dari setengah jarak bersih dengan balok di sebelahnya.
- 2) Untuk balok yang hanya mempunyai *flens* pada satu sisi, lebar efektif bagian pelat yang menonjol yang diperhitungkan tidak boleh lebih besar dari seperduabelas panjang bentangan balok, atau enam kali tebal pelat atau setengah jarak bersih dengan balok di sebelahnya.
- 3) Untuk balok yang khusus dibentuk sebagai balok T dengan maksud untuk mendapatkan tambahan luas daerah tekan, ketebalan *flens* tidak boleh besar dari separuh lebar balok dan lebar *flens* total tidak boleh lebih besar dari empat kali lebar balok.



Gambar 9 / Sketsa penampang melintang balok T.

Sumber : Ilustrasi penulis, 2021

Berdasarkan jenis keruntuhan, keruntuhan yang terjadi pada balok dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok sebagai berikut ini :

a. Penampang *balanced*

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada saat serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\epsilon_y = f_y/E_s$.

b. Penampang *over-reinforced*

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ϵ_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya ϵ_y , kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

c. Penampang *under-reinforced*

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan ϵ_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok bertulang kurang dari yang diperlukan dibawah kondisi *balanced* (Nawy, 1990).

A. Penentuan Dimensi Balok

Dimensi balok ditentukan menggunakan tabel berikut:

Tabel 3. Tebal minimum balok non-prategang

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
Catatan: a. Panjang bentang dalam mm b. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan dengan mutu 420 Mpa. c. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (w_c) di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003 w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09 				

- Untuk f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $0,4 + f_y / 700$

Sumber: SNI 2847:2013

Beberapa persyaratan berkaitan dengan penentuan dimensi balok antara lain:

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur (P_u) tidak boleh melebihi $\frac{A_g \cdot f'_c}{10}$
(2.5)
2. Bentang bersih untuk komponen struktur (l_n) tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya
3. Lebar komponen (b) tidak boleh kurang dari $0,3 h$ atau 250 mm

2.5.2. Pelat

Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin tulangnya dua arah atau satu arah saja, tergantung pada sistem strukturnya. Kontinuitas penulangan pelat diteruskan ke dalam balok-balok dan diteruskan ke dalam kolom. Dengan demikian sistem pelat secara keseluruhan menjadi satu-kesatuan bentuk rangka struktur bangunan kaku statis tak tentu yang sangat kompleks. Perilaku masing-masing komponen struktur dipengaruhi oleh hubungan kaku dengan komponen lainnya. Beban tidak hanya mengakibatkan timbulnya momen, gaya geser, dan lendutan langsung pada komponen struktur yang menahannya, tetapi komponen-komponen struktur lain yang juga berhubungan juga ikut berinteraksi karena hubungan kaku antar komponen. (Dipohusodo, 1994) .

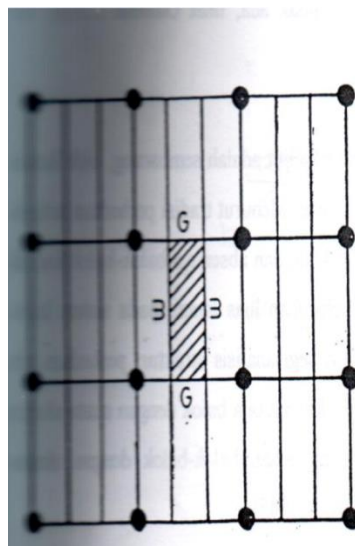
Berdasarkan perbandingan antara bentang panjang dan bentang pendek pelat dibedakan menjadi dua, yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).

a. Pelat Satu Arah

Pelat satu arah (*one wayslab*) adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan saja sehingga lendutan yang timbul hanya satu arah saja, yaitu pada arah yang tegak lurus terhadap arah dukungan tepi.

Dengan kata lain pelat satu arah adalah pelat yang mempunyai perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek yang saling tegak lurus lebih besar dari dua dengan lendutan utama pada sisi yang lebih pendek. (Dipohusodo, 1994).

Pada bangunan-bangunan beton bertulang, suatu jenis lantai yang umum dan dasar adalah tipe konstruksi pelat balok-balok induk (gelagar) seperti terlihat pada (Gambar 3). Permukaan pelat yang diarsir dibatasi oleh dua balok yang bersebelahan pada sisi dan dua gelagar pada kedua ujung. Jika panjang dari permukaan ini dua kali atau lebih besar dari pada lebarnya, maka hampir semua beban lantai menuju balok-balok dan hanya sebagian kecil yang akan menyalur secara langsung ke gelagar. Kondisi pelat lantai ini dapat direncanakan sebagai pelat satu arah dengan tulangan utama sejajar dengan gelagar atau sisi pendek pelat, dan tulangan susut dan suhu sejajar dengan balok-balok atau sisi panjang pelat. Permukaan yang melendut dari sistem pelat satu arah mempunyai kelengkungan tunggal (Wang, 1985).



Gambar 10 | Plat lantai satu arah.

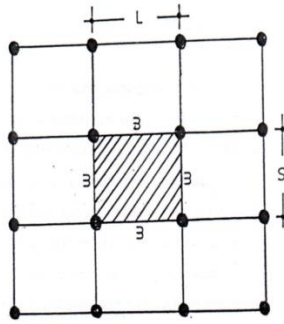
Sumber: <https://sangapramana.wordpress.com/2010/08/03/sistem-penulangan-pelat/>

Perencanaan pelat satu arah (Gambar 2.11) menurut SNI-03-2847-2002 dapat direncanakan dengan ketentuan yang sudah ada dalam peraturan tersebut maupun dengan metoda lain yang lebih akurat tetapi dapat dipertanggungjawabkan. Dalam SNI-03-2847-2002 pada pasal 3.1.3. yang dimaksud dengan pelat satu arah adalah pelat yang menahan lentur untuk satu arah dan harus memenuhi koefisien momen dengan ketentuan seperti berikut :

- 1) Minimum harus ada dua bentang
- 2) Panjang bentang lebih kurang sama, dengan ketentuan bahwa bentang yang lebih besar dari dua bentang yang bersebelahan perbedaannya tidak lebih 20% dari bentang yang pendek
- 3) Beban yang bekerja merupakan beban terbagi rata
- 4) Beban hidup per unit tidak melebihi tiga kali beban mati per unit, dan
- 5) Komponen strukturnya prismatis

b. Pelat Dua Arah

Pelat dua arah (*two way slab*) adalah pelat yang didukung sepanjang keempat sisinya dengan lendutan yang akan timbul pada dua arah yang saling tegak lurus kurang dari dua, seperti terlihat pada Gambar 2.12. Contoh pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu oleh 4 (empat) sisi yang saling sejajar. Karena momen lentur bekerja pada dua arah, yaitu searah dengan bentang l_x dan bentang l_y , maka tulangan pokok juga dipasang pada arah yang saling tegak lurus (bersilangan), sehingga tidak perlu tulangan bagi. Tetapi pada pelat daerah tumpuan hanya bekerja momen lentur satu arah saja, sehingga untuk daerah tumpuan ini tetap dipasang tulangan pokok dan tulangan bagi.



Gambar 11 | Plat Lantai Dua Arah

Sumber: <https://sanggapramana.wordpress.com/2010/08/03/sistem-penulangan-pelat/>

2.5.3. Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (total collapse) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996). SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil.

Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Bila diumpamakan, kolom itu seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin. Kolom berfungsi sangat penting, agar bangunan tidak mudah roboh. Beban sebuah bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterimanya ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya.

Kesimpulannya, sebuah bangunan akan aman dari kerusakan bila besar dan jenis pondasinya sesuai dengan perhitungan. Namun, kondisi tanah pun harus

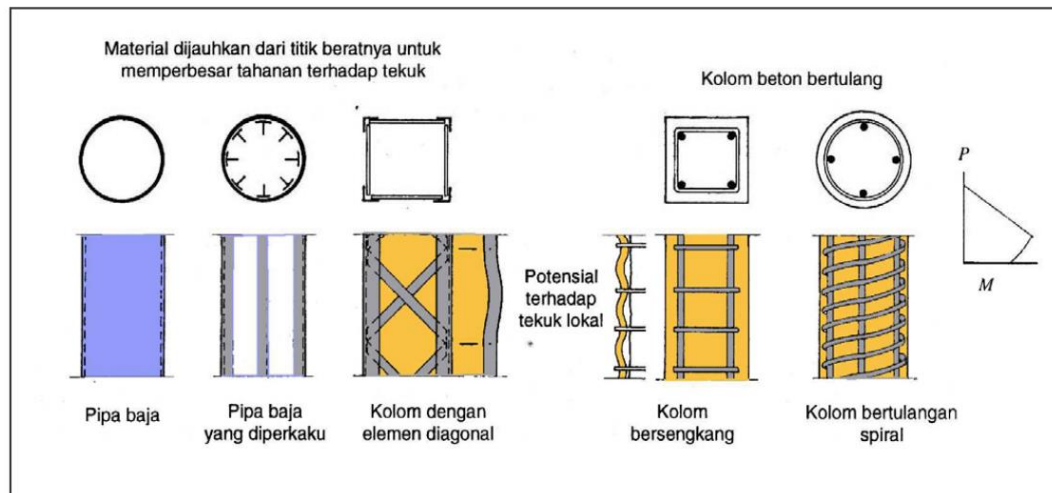
benar-benar sudah mampu menerima beban dari pondasi. Kolom menerima beban dan meneruskannya ke pondasi, karena itu pondasinya juga harus kuat, terutama untuk konstruksi rumah bertingkat, harus diperiksa kedalaman tanah kerasnya agar bila tanah ambles atau terjadi gempa tidak mudah roboh. Struktur dalam kolom dibuat dari besi dan beton. Keduanya merupakan gabungan antara material yang tahan tarikan dan tekanan. Besi adalah material yang tahan tarikan, sedangkan beton adalah material yang tahan tekanan. Gabungan kedua material ini dalam struktur beton memungkinkan kolom atau bagian struktural lain seperti sloof dan balok bisa menahan gaya tekan dan gaya tarik pada bangunan.

Dalam buku struktur beton bertulang (Istimawan Dipohusodo, 1994) ada tiga jenis kolom beton bertulang yaitu :

- a. Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.
- b. Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom. Fungsi dari tulangan spiral adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh, sehingga mampu mencegah terjadinya kehancuran seluruh struktur sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud.
- c. Struktur kolom komposit merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.

Kolom dapat diklarifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya, posisi beban yang bekerja pada penampang, dan panjang kolom yang berkaitan dengan dimensi penampangnya. Jenis kolom berdasarkan bentuk dan macam penulangannya dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu:

- a. Kolom segi empat atau bujur sangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang
- b. Kolom bundar dengan tulangan memanjang dan sengkang berbentuk spiral
- c. Kolom komposit yaitu gabungan antara beton dan profil baja sebagai pengganti tulangan didalamnya.



Gambar 12 | Bentuk-bentuk penampang kolom.

Sumber: Schodek, 1999

A. Penampang Kolom

Menurut Krisnamurti dkk. (2013), kolom berfungsi sebagai penerus beban-beban dari balok dan pelat ke tanah dasar melalui fondasi. Kolom memegang peranan penting pada keutuhan struktur, apabila kolom mengalami kegagalan akan berakibat pada keruntuhan struktur bangunan atas gedung.

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 8.10.1, kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Kondisi pembenanan yang memberikan rasio momen maksimum terhadap beban aksial harus juga ditinjau.

Krisnamurti dkk. (2013) meneliti tentang pengaruh variasi bentuk penampang kolom terhadap perilaku elemen struktur akibat beban gempa. Penelitian tersebut menghasilkan balok pada struktur gedung dengan kolom persegi panjang lebih

cepat runtuh daripada balok pada struktur gedung dengan kolom persegi dan lingkaran, baik pada keruntuhan lentur maupun keruntuhan geser. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa kolom persegi panjang lebih baik dalam menahan momen arah X, sedangkan kolom persegi dan lingkaran lebih stabil menahan momen arah Y.

B. Penelitian mengenai Simpangan Bangunan (Displacement)

Supit dkk. (2013) melakukan penelitian mengenai respon dinamis struktur bangunan beton bertulang bertingkat banyak dengan variasi orientasi sumbu kolom. Penelitian ini dilakukan dengan membuat beberapa contoh kasus dengan orientasi sumbu kolom yang berbeda guna mendapat nilai simpangan struktur minimum pada dua arah pemisalan pembebanan gempa, dilanjutkan dengan memodelkan beberapa denah struktur guna melihat pengaruhnya terhadap pemilihan orientasi sumbu kolom. Analisis respon dinamik dilakukan dengan bantuan software ETABS 2013 E.V. Pada analisis simpangan digunakan 5 jenis kasus yaitu kasus 1 adalah denah struktur panel persegi, kasus 2 adalah denah struktur panel persegi dikembangkan ke arah X, kasus 3 adalah dengan struktur persegi panjang (terdapat 4 kolom), kasus 4 adalah denah struktur persegi panjang (terdapat 6 kolom), kasus 5 adalah denah struktur persegi panjang (terdapat 9 kolom). Dari hasil penelitian didapatkan nilai simpangan yang paling besar terjadi pada simpangan model yang searah gaya gempa (beban lateral).

2.6. PENELITIAN TERDAHULU

Tabel 4. Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang Dilakukan
	Krisnamurti dkk. (2013)	Purba (2014)	Ertanto dkk. (2015)	Agnes (2021)
Judul	Pengaruh Variasi Bentuk Penampang Kolom Terhadap Perilaku Elemen Struktur Akibat Beban Gempa	Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal sesuai SNI 03-1726-2012	Analisa Perbandingan Perilaku Struktur Pada Gedung dengan Variasi Bentuk Penampang Kolom Beton Bertulang	Orientasi Kolom Bujur Sangkar terhadap Displacement Struktur Bangunan Tinggi
Tujuan	Untuk mengetahui kapasitas kolom yang memberikan pengaruh terbaik dalam mencegah keruntuhan struktur gedung	Membandingkan kinerja struktur gedung dengan ketidakberaturan horizontal yang dibandingkan terhadap gedung beraturan	Untuk mengetahui perbandingan perilaku struktur pada gedung apabila digunakan variasi bentuk penampang yang berbeda	Untuk mendeskripsikan <i>displacement</i> struktur akibat perubahan orientasi kolom bujur sangkar menurut sudut istimewa yaitu 30, 45, 60, dan 75 derajat. Untuk mengetahui orientasi kolom bujur sangkar mana yang memberikan pengaruh terbaik dalam menerima beban.
Parameter yang diuji	Kapasitas lentur dan geser balok serta kolom	<i>Displacment, drift ratio, base shear</i> , level kinerja berdasarkan ATC-40, perbedaan berat beton dan tulangan	Simpangan dan gaya-gaya dalam pada gedung 7 lantai	Nilai rata-rata <i>displacement</i> kolom pada setiap lantai bangunan.
Subjek penelitian	Penampang kolom persegi, persegi panjang dan lingkaran. Penambahan beban gempa 10%, 20%,	Digunakan 1 model gedung beraturan dan 3 model gedung tidak beraturan horizontal	Penampang kolom bujur sangkar, lingkaran, dan persegi panjang	Kolom bujur sangkar pada model bangunan tinggi dengan denah bujur sangkar

	dan 40% terhadap struktur gedung			
Metode penelitian	Elemen struktur masing-masing gedung diperiksa kapasitasnya dan dilakukan pemeriksaan keruntuhan setelah ditambahkan beban gempa.	Metode analisis struktur gedung yang digunakan adalah metode statik ekuivalen. Dibantu dengan menggunakan program komputer SAP2000 v.14	Beban gempa dapat dianalisis menggunakan metode statik (statik ekuivalen dan autooad) dan metode dinamis (respon spektrum dan time history) Menggunakan perangkat lunak SAP 2000	Metode analisis dengan teknik <i>modeling and simulation</i> . Struktur bangunan tinggi dimodelkan dan dianalisis dengan bantuan software SAP2000 v.14. Elemen struktur yaitu kolom dsimulasikan dengan mengubah orientasinya menurut sudut-sudut yang ditentukan, yang mengakibatkan <i>displacement</i> struktur.

Sumber: Penulis, 2021