

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak di wilayah cincin api Pasifik, menjadikannya salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia. Indonesia merupakan wilayah rawan gempa, sehingga desain struktur gedung harus tahan terhadap beban lateral yang besar. Standar nasional seperti SNI 1726:2019 mewajibkan perencanaan struktur mampu memenuhi batas simpangan antar lantai dan kekakuan yang sesuai. Salah satu strategi meningkatkan performa seismik adalah dengan menggunakan *bracing* baja konsentrik, terutama tipe X dan inverted-V. Salah satu metode yang umum digunakan untuk meningkatkan kapasitas lateral bangunan adalah dengan menerapkan sistem *bracing* pada struktur baja (Benita, et al 2019)

Dalam penelitian Sukrawa(2023) Dua konfigurasi *bracing* yang sering digunakan adalah tipe X (*Concentric Braced Frame* - CBF) dan tipe Inverted-V (*Eccentric Braced Frame* - EBF). Masing-masing memiliki karakteristik perilaku struktural yang berbeda. CBF tipe X dikenal memiliki kekakuan lateral yang tinggi, namun cenderung kurang dalam disipasi energi. Sebaliknya, EBF tipe Inverted-V dirancang untuk memiliki elemen yang dapat mengalami deformasi plastis, sehingga mampu menyerap energi gempa lebih efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *bracing* dapat mengurangi simpangan struktur secara signifikan. penambahan *bracing* tipe X dan Inverted-V mampu mengurangi simpangan lateral. Analisis juga menunjukkan bahwa *bracing* tipe X memiliki

kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Inverted-V, penambahan bracing tipe X dan Inverted-V efektif namun masih perlu diteliti lebih lanjut untuk detail perbandingannya (Sukrawa et al. 2023).

Penelitian oleh Malik dan Sutriyono (2023) membandingkan perilaku struktur baja dengan sistem *bracing* eksentrik tipe Inverted-V dan sistem *bracing* konsentris tipe X terhadap beban gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa periode struktur dengan *bracing* tipe X lebih pendek (1,649 detik) dibandingkan dengan Inverted-V (1,71 detik), menunjukkan bahwa struktur dengan bracing tipe X lebih kaku. Namun, simpangan antar lantai pada struktur dengan bracing Inverted-V lebih kecil, yaitu 6,4 mm pada arah X dan 10,8 mm pada arah Y dibandingkan dengan *bracing* tipe X yang memiliki simpangan 9,7 mm pada arah X dan 15,3 mm pada arah Y. Kedua sistem *bracing* tersebut memenuhi kriteria kinerja Immediate Occupancy (IO) pada arah X dan Life Safety (LS) pada arah Y, dengan drift maksimum antara 0,5% hingga 1,5%. Selain itu, berat struktur dengan *bracing* tipe X lebih besar sebesar 0,18% dibandingkan dengan Inverted- V.

Namun, penelitian oleh Andrew (2023) menunjukkan bahwa pada bangunan 12 lantai, *displacement* dan berat struktur dengan bracing multistory X lebih baik daripada Inverted-V, tetapi nilai drift ratio tidak berbeda jauh. Pada bangunan 18 lantai, *displacement* dan *drift* ratio multistory X lebih baik, namun berat struktur meningkat secara signifikan. Kinerja berdasarkan kerusakan sendi plastis menunjukkan bahwa multistory X memberikan hasil yang lebih buruk untuk elemen kolom dan lebih baik untuk elemen balok dibandingkan dengan Inverted-V.

Berdasarkan studi-studi tersebut, terlihat bahwa pemilihan tipe bracing sangat mempengaruhi perilaku dan kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami lebih dalam perbandingan antara sistem *bracing* tipe X dan Inverted-V, yang ditinjau pada satu bangunan 4 tingkat. Bangunan 4 lantai secara umum dikategorikan sebagai bangunan bertingkat menengah. Dalam standar perencanaan seperti SNI 1726:2019, bangunan dalam rentang 3–5 lantai merupakan objek yang paling relevan untuk studi seismik karena sudah mulai menunjukkan perilaku dinamis yang kompleks, tetapi masih dapat dianalisis secara komprehensif tanpa memerlukan pendekatan nonlinear penuh. Dengan kata lain, 4 lantai menjadi titik keseimbangan antara kompleksitas perilaku struktur dan efisiensi analisis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan perilaku seismik struktur rangka baja dengan sistem *bracing* tipe X dan Inverted-V dalam menahan beban gempa dari segi simpangan, drift antar lantai, dan berat struktur?
2. Perbandingan volume kebutuhan material rangka baja menggunakan *bracing* tipe X dan Inverted-V ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis dan membandingkan perilaku struktur rangka baja yang menggunakan sistem *bracing* tipe X dan Inverted-V terhadap beban

gempa, ditinjau dari aspek kekakuan, simpangan antar lantai (*interstory drift*), dan berat struktur.

2. Untuk mengetahui perbandingan volume kebutuhan material rangka baja menggunakan *bracing* tipe X dan Inverted-V.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

##### **1.4.1 Manfaat Bagi Kampus**

1. Menambah khazanah ilmiah dan koleksi penelitian teknik sipil, khususnya dalam bidang struktur tahan gempa, yang dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa dan dosen.
2. Mendorong pengembangan penelitian kolaboratif antara mahasiswa, dosen, dan mitra industri dalam topik desain struktur baja.

##### **1.4.2 Manfaat Bagi Perusahaan (Konsultan/ Kontraktor/ Developer)**

1. Memberikan referensi teknis dalam memilih sistem *bracing* yang optimal untuk proyek bangunan baja di daerah rawan gempa.

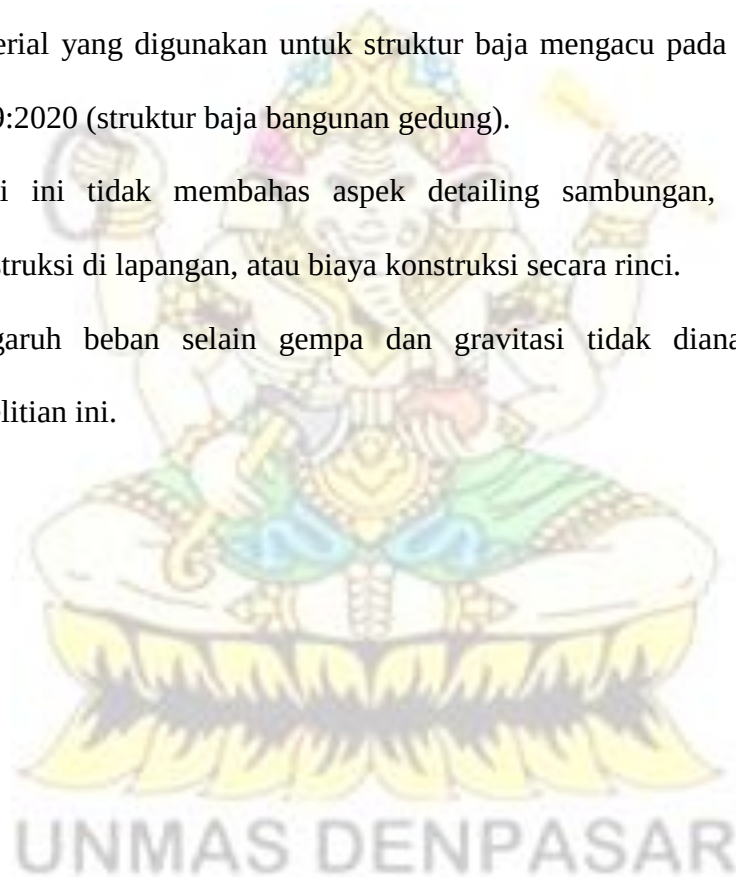
##### **1.4.3 Manfaat Bagi Ilmu Teknik Sipil**

1. Memperkaya literatur dan kajian ilmiah di bidang rekayasa struktur, khususnya terkait perilaku struktur rangka baja terhadap beban gempa.
2. Memberikan dasar untuk penelitian lanjutan yang mengeksplorasi inovasi sistem *bracing* lainnya, seperti buckling restrained brace (BRB) atau hybrid *bracing* system.

#### **1.5 Batas dan Ruang Lingkup Penelitian**

1. Penelitian ini terbatas pada analisis struktur rangka baja gedung bertingkat dengan konfigurasi *bracing* tipe X dan Inverted-V.

2. Beban gempa yang digunakan dalam analisis mengikuti standar SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
3. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak pemodelan struktur SAP2000 dengan metode analisis statik nonlinier (*pushover*) atau analisis dinamik respons spektrum.
4. Material yang digunakan untuk struktur baja mengacu pada standar SNI 1729:2020 (struktur baja bangunan gedung).
5. Studi ini tidak membahas aspek detailing sambungan, pelaksanaan konstruksi di lapangan, atau biaya konstruksi secara rinci.
6. Pengaruh beban selain gempa dan gravitasi tidak dianalisis dalam penelitian ini.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Struktur Baja**

Struktur rangka baja merupakan salah satu tipe yang dituangkan dalam pedoman pembangunan bangunan tahan gempa, walaupun dalam penggunaannya banyak dimanfaatkan sebagai bangunan warehouse dan kilang minyak. Padahal sebagai konstruksi prefabrikasi, penggunaan jenis struktur ini memiliki beberapa keuntungan seperti kepraktisan dan kecepatan dalam pelaksanaan konstruksi serta kualitas bahan yang terkontrol. Material utama yang digunakan yakni material baja yang memiliki kekuatan tinggi, keseragaman dan keawetan yang mumpuni, memiliki sifat elastisitas, daktilitas pada baja cukup tinggi, serta kemudahan dalam penyambungan konstruksi (Agus Setiawan, 2008).

SNI 1729:2020 adalah standar nasional Indonesia yang mengatur tentang spesifikasi teknis untuk desain dan konstruksi struktur baja pada bangunan gedung. Standar ini diadopsi dari standar internasional ANSI/AISC 360-16 yang dikeluarkan oleh *American Institute of Steel Construction (AISC)*, dengan penyesuaian terhadap konteks Indonesia. SNI 1729:2020 mencakup persyaratan desain struktur baja, ketentuan kekuatan dan stabilitas elemen struktur, penanganan beban gravitasi dan lateral (termasuk gempa), pengelasan, sambungan baut, serta batas-batas lendutan (*deflection limits*).

##### **2.1.1 Sifat Mekanik Baja**

Baja sebagai salah satu material pada konstruksi bangunan memiliki

beberapa sifat fisik dan mekanis yang dapat mempengaruhi kekuatan pada sebuah konstruksi bangunan (Agus Setiawan, 2008). berikut ini adalah sifat mekanis yang ada pada material baja:

A. Kekakuan (*Stiffness*)

Yaitu sifat suatu material yang dapat renggang pada saat menerima tegangan yang tinggi tanpa diikuti oleh regangan yang besar, sifat ini merupakan kemampuan material dalam menahan deformasi. Kekakuan bahan yaitu berupa modulus elastisitas ( $E$ ), sebuah material yang mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dapat berdeformasi lebih kecil pada saat menerima beban, baja sendiri memiliki modulus elastisitas ( $E$ ) sebesar  $E = 200.000 \text{ MPa}$ .

B. Kapabilitas (*Strength*)

Sifat suatu bahan yang ditentukan oleh tegangan pada material dapat merenggang sebelum mengalami kegagalan (*failure*). Kapabilitas didefinisikan oleh batas proporsional, titik lentur atau tegangan maksimum.

C. Daktilitas

Sifat suatu bahan yang dapat berdeformasi pada beban tarik sebelum material benar-benar patah (*rupture*).

D. Kegetasan

Kegetasan adalah tak adanya deformasi plastis pada material sebelum rusak, atau material yang rusak tanpa adanya tanda – tanda kerusakan terlebih dahulu.

#### E. Kelenturan

Kelenturan adalah sifat suatu material yang dapat menahan beban yang tinggi tanpa memunculkan tegangan lebih pada batas elastis.

### 2.2 Sistem Rangka Pemikul Beban Lateral (*Lateral Load Resisting System*)

Berdasarkan SNI 1729:2020 Tabel 12 bagian C dan D dengan nilai-nilai untuk parameter  $R$ ,  $\Omega_0$ ,  $C_d$  dari sistem ini adalah sesuai dengan Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Faktor Sistem Pemikul Gaya Seismik

| Faktor                       |               | SRPMK<br>(W – E) |
|------------------------------|---------------|------------------|
| Koefisien modifikasi respons | $R$           | 8                |
| Faktor kuat lebih sistem     | $\Omega_0$    | 3                |
| Faktor pembesaran defleksi   | $C_d$         | 5,5              |
| Faktor keutamaan gempa       | $I_e$         | 1,0              |
| Batasan tinggi struktur      | $h_{max}$ (m) | TB               |

Keterangan:

TB = Tidak Dibatasi

Sistem Ganda yang ditinjau adalah sistem ganda khusus

#### 2.2.1 Jenis-Jenis Sistem Penahan Beban Lateral

Struktur bangunan dirancang untuk menahan beban lateral seperti gempa dan angin. Terdapat beberapa sistem struktur yang umum digunakan untuk menahan beban lateral:

##### 1. Rangka Pemikul Momen (*Moment Resisting Frame - MRF*)

Sistem ini terdiri dari balok dan kolom yang terhubung kaku, memungkinkan struktur menahan beban lateral melalui aksi lentur pada sambungan. MRF dibagi menjadi tiga jenis (Simanjuntak,

2018) :

### 1. Rangka Bresing (*Braced Frame*)

Sistem ini menggunakan elemen diagonal (*bracing*) untuk menahan beban lateral, meningkatkan kekakuan struktur. Terdapat dua jenis utama (Sofwan, 2020) :

- a. **Bracing Konsentrik (CBF):** Bracing terhubung langsung pada simpul balok-kolom.
- b. **Bracing Eksentrik (EBF):** Bracing terhubung dengan eksentrisitas tertentu, memungkinkan disipasi energi melalui deformasi plastis pada elemen link.

### 2. Dinding Geser (*Shear Wall*)

Elemen vertikal yang kaku, biasanya dari beton bertulang, yang menahan beban lateral melalui aksi geser. *Shear wall* efektif pada bangunan tinggi untuk mengendalikan drift antar lantai.

### 3. Sistem Ganda (*Dual System*)

Menggabungkan MRF dan shear wall atau bracing, di mana MRF dirancang untuk menahan minimal 25% beban lateral, sisanya oleh shear wall atau bracing. Sistem ini meningkatkan redundansi dan daktilitas struktur.

#### 2.2.2 Kriteria Pemilihan Sistem Penahan Beban Lateral

Pemilihan sistem penahan beban lateral dipengaruhi oleh beberapa faktor (Natanael, 2017):

##### 1. Tinggi Bangunan

- a. **Bangunan Rendah (1-3 lantai):** MRF biasa atau bracing konsentrik dapat digunakan.
- b. **Bangunan Menengah (4-10 lantai):** MRF menengah atau bracing eksentrik lebih sesuai.
- c. **Bangunan Tinggi (>10 lantai):** Shear wall atau sistem ganda direkomendasikan untuk mengontrol drift.

## 2. Zona Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, Indonesia dibagi menjadi beberapa wilayah gempa. Pemilihan sistem struktur harus disesuaikan dengan tingkat risiko gempa di lokasi proyek:

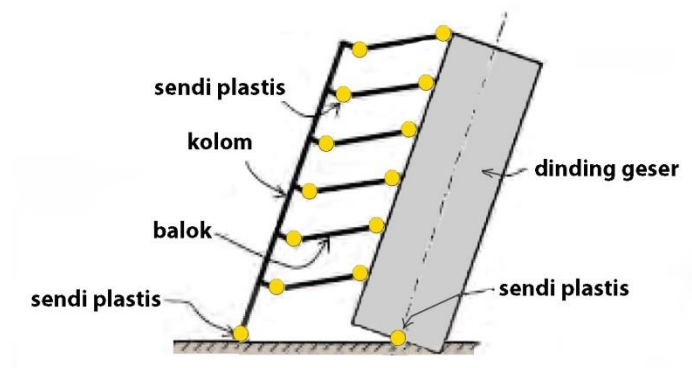
1. **Zona Gempa Rendah:** MRF biasa atau bracing konsentrik dapat digunakan.
2. **Zona Gempa Sedang:** MRF menengah atau bracing eksentrik lebih sesuai.
3. **Zona Gempa Tinggi:** MRF khusus, shear wall, atau sistem ganda direkomendasikan.

## 3. Fungsi dan Kebutuhan Bangunan

Bangunan dengan fungsi vital seperti rumah sakit, pusat data, atau fasilitas darurat memerlukan sistem struktur dengan daktilitas dan redundansi tinggi, seperti MRF khusus atau sistem ganda, untuk memastikan operasional pasca-gempa.

Daktilitas adalah kemampuan sebuah struktur atau komponen untuk menahan respon inelastik, termasuk lendutan terbesar dan

menyerap energi. Parameter yang digunakan untuk menentukan daktilitas suatu bahan/struktur disebut Faktor Daktilitas ( $\mu$ ).



Gambar 2.1 Daktilitas

### 2.3 Bracing Tipe X dan Inverted-V

*Bracing* tipe X merupakan sistem bracing konsentris dimana dua elemen diagonal saling bersilangan membentuk huruf "X" dalam satu panel. Sistem ini bekerja dengan membagi beban lateral antara kedua elemen diagonal, dimana satu elemen mengalami gaya tarik dan yang lainnya mengalami gaya tekan saat terjadi beban lateral.

*Bracing* tipe Inverted-V terdiri dari dua elemen diagonal yang bertemu di tengah balok atas dan menyebar ke bawah menuju kolom, membentuk huruf "V" terbalik. Sistem ini juga merupakan bracing konsentris, namun memiliki perbedaan dalam distribusi beban dan perilaku struktur dibandingkan dengan *bracing* tipe X.

#### 1. Kekakuan dan Simpangan

Penelitian menunjukkan bahwa *bracing* tipe X cenderung memberikan kekakuan lateral yang lebih tinggi dibandingkan dengan *bracing* tipe Inverted-V. Hal ini mengakibatkan simpangan horizontal

yang lebih kecil pada struktur dengan *bracing* tipe X. Namun, *bracing* tipe Inverted-V juga dapat meningkatkan kekakuan struktur secara signifikan dibandingkan dengan struktur tanpa *bracing*.

Kelebihan *bracing* tipe X adalah stiffness & kekuatan lateral tinggi: Bentuk X memaksimalkan kemampuan menahan beban lateral karena satu batang brace bekerja tekan dan lainnya tarik saat beban gempa atau angin. arah efektif efisien dalam menahan gaya lateral ke kiri maupun kanan secara simetris karena saling silang dan biaya relatif rendah, member steel cenderung murah dibanding elemen struktural lain, memberi kekakuan besar dengan biaya efisien (Jadallah, 2025).

Kelebihan *interved-V* adalah rancang ruang yang lebih fleksibel: Cocok untuk perletakan bukaan seperti pintu/jendela di bawah brace karena brace hanya bertemu di satu titik tengah. Siplisitas model dengan satu pasangan diagonal, tata letak brace lebih sederhana daripada X, memudahkan pemasangan di lapangan dan performa pemantulan drift sebuah studi menunjukkan *inverted-V* memiliki kinerja lebih baik dalam pengendalian perpindahan lateral dibanding jenis lain (Ummahat, 2022).

## 2. Distribusi Gaya dan *Unbalanced Force*

Pada *bracing* tipe Inverted-V, terdapat kemungkinan terjadinya gaya tak seimbang (*unbalanced force*) pada balok tempat pertemuan kedua elemen diagonal. Hal ini dapat menyebabkan deformasi tambahan pada balok tersebut. Sebaliknya, *bracing* tipe X memiliki distribusi gaya yang lebih seimbang antara elemen diagonal, sehingga mengurangi risiko

deformasi tak simetris pada elemen struktur.

### 3. Efisiensi Material dan Konstruksi

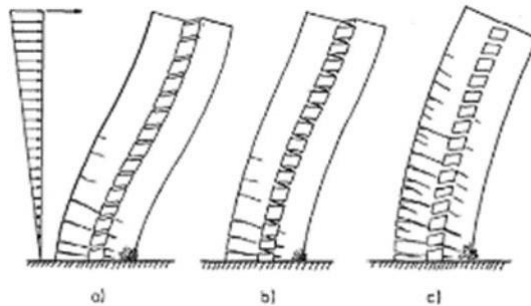
*Bracing* tipe X umumnya memerlukan panjang elemen yang lebih besar dan sambungan di tengah panel, yang dapat meningkatkan kebutuhan material dan kompleksitas konstruksi.

*Bracing* tipe Inverted-V memiliki konfigurasi yang lebih sederhana, dengan elemen diagonal yang lebih pendek dan sambungan yang lebih sedikit, sehingga dapat lebih efisien dalam penggunaan material dan waktu konstruksi.

## 2.4 Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa

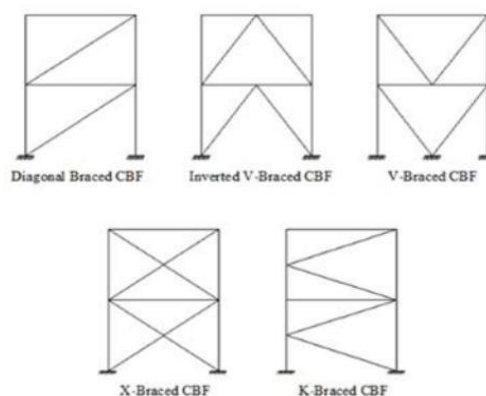
Untuk memikul gaya lateral yang dialami oleh bangunan, struktur harus dapat memiliki daktilitas yang memadai di daerah joint atau elemen struktur tahan gempa seperti bresing atau dinding geser.

Perencanaan bangunan struktur tahan gempa harus dapat memperhitungkan dampak dari gaya lateral yang bersifat siklis (bolak-balik) yang dialami oleh struktur selama terjadinya gempa bumi. Untuk memikul gaya lateral yang dialami oleh bangunan, struktur harus dapat memiliki daktilitas yang memadai di daerah joint atau elemen struktur tahan gempa seperti bresing atau dinding geser.



Gambar 1. Simulasi Akibat Beban Angin Dan Beban Gempa

Sistem Rangka Bresing Konsentris (*Concentrically Braced Frames*) merupakan pengembangan dari system portal tak berpengaku atau lebih dikenal dengan *Moment Resisting Frames* (MRF). Sistem SRBK dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik. Elemen bresing pada sistem SRBK ini berfungsi untuk menahan kekakuan struktur karena dengan adanya bresing pada struktur, deformasi struktur akan menjadi lebih kecil sehingga kekakuan strukturnya meningkat.



Gambar 2. Jenis-Jenis Sistem Rangka Bracing konsentris

Adanya batang tekan (-) dan tarik (+) pada rangka dengan bresing, menunjukkan bahwa sistem braced-frame lebih optimal terhadap beban lateral

dari pada sistem *rigid-frame* yang mengandalkan penghubung balok horisontal saja.

Beban yang bekerja dalam konstruksi beban adalah gaya yang bekerja pada suatu struktur, penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang sangat sulit. Pada umumnya penentuan besarnya beban yang merupakan suatu estimasi. Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi dari struktur dapat diketahui secara pasti, namun distribusi beban yang bekerja pada suatu lokasi dari elemen ke elemen, dalam suatu struktur umumnya memerlukan suatu asumsi dan pendekatan. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka masalah berikutnya adalah menentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut. Besar beban-beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku. Beban-beban pada struktur bangunan bertingkat, menurut arah bekerjanya dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Beban Vertikal (*Gravitasi*).
  - a. Beban Mati (*Dead Load*).
  - b. Beban Hidup (*Live Load*).
  - c. Beban Air Hujan.
2. Horizontal (*Lateral*).
  - a. Beban Gempa (*Earthquake*).
  - b. Beban Angin (*Wind Load*).
  - c. Tekanan Tanah dan Air Tanah. Pada perencanaan konstruksi

bangunan bertingkat ini, beban-beban yang diperhitungkan adalah beban mati, beban hidup, beban air hujan pada atap, beban angin pada atap, dan beban gempa.

