

# SISTEM STRUKTUR

## PERANCANGAN BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI

PERTEMUAN 13 : MK. Perancangan Bangunan Bertingkat Tinggi

**Baju Arie Wibawa, ST, MT**



# 1

## PENGANTAR BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI

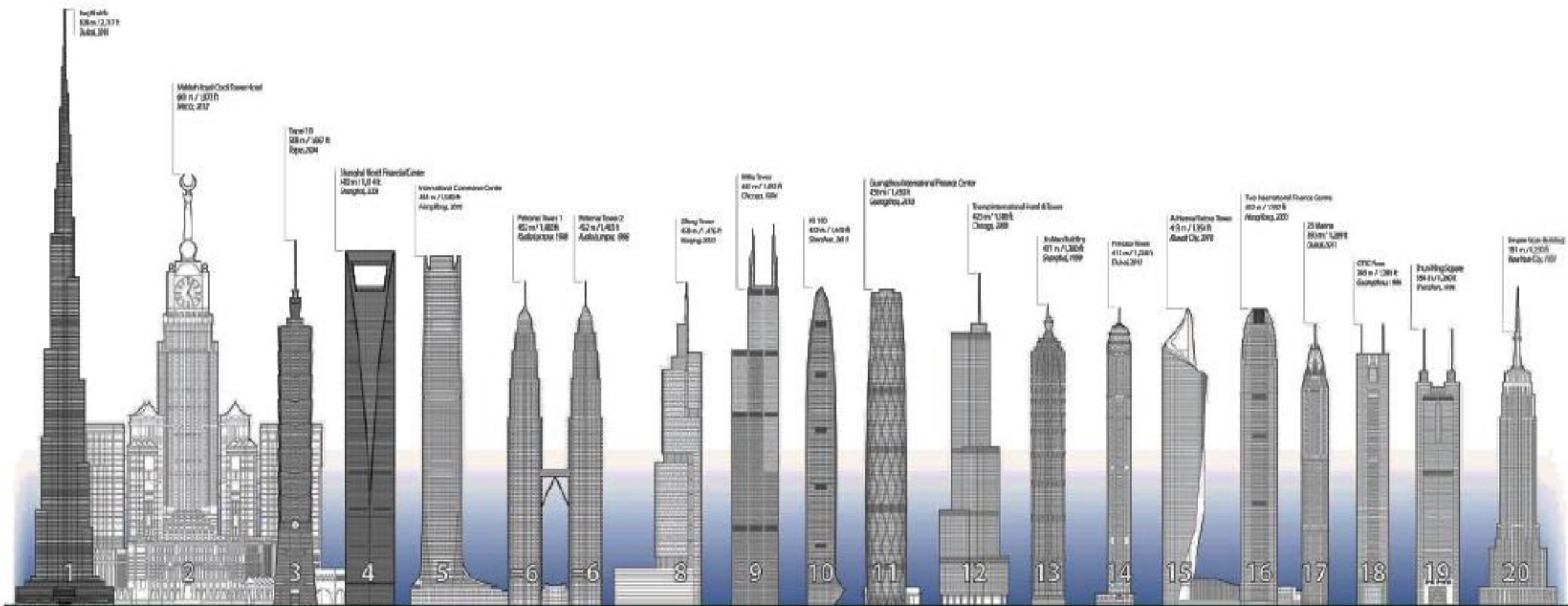
# SEJARAH PERKEMBANGAN

- Pembangunan gedung bertingkat sudah dilaksanakan sejak zaman dahulu kala, tetapi yang dikategorikan sebagai “moderen tall building” dimulai sejak 1880s.
- The “first modern tall building” mungkin 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 1950s.





Evolusi Gedung Pencakar Langit 1887-1933



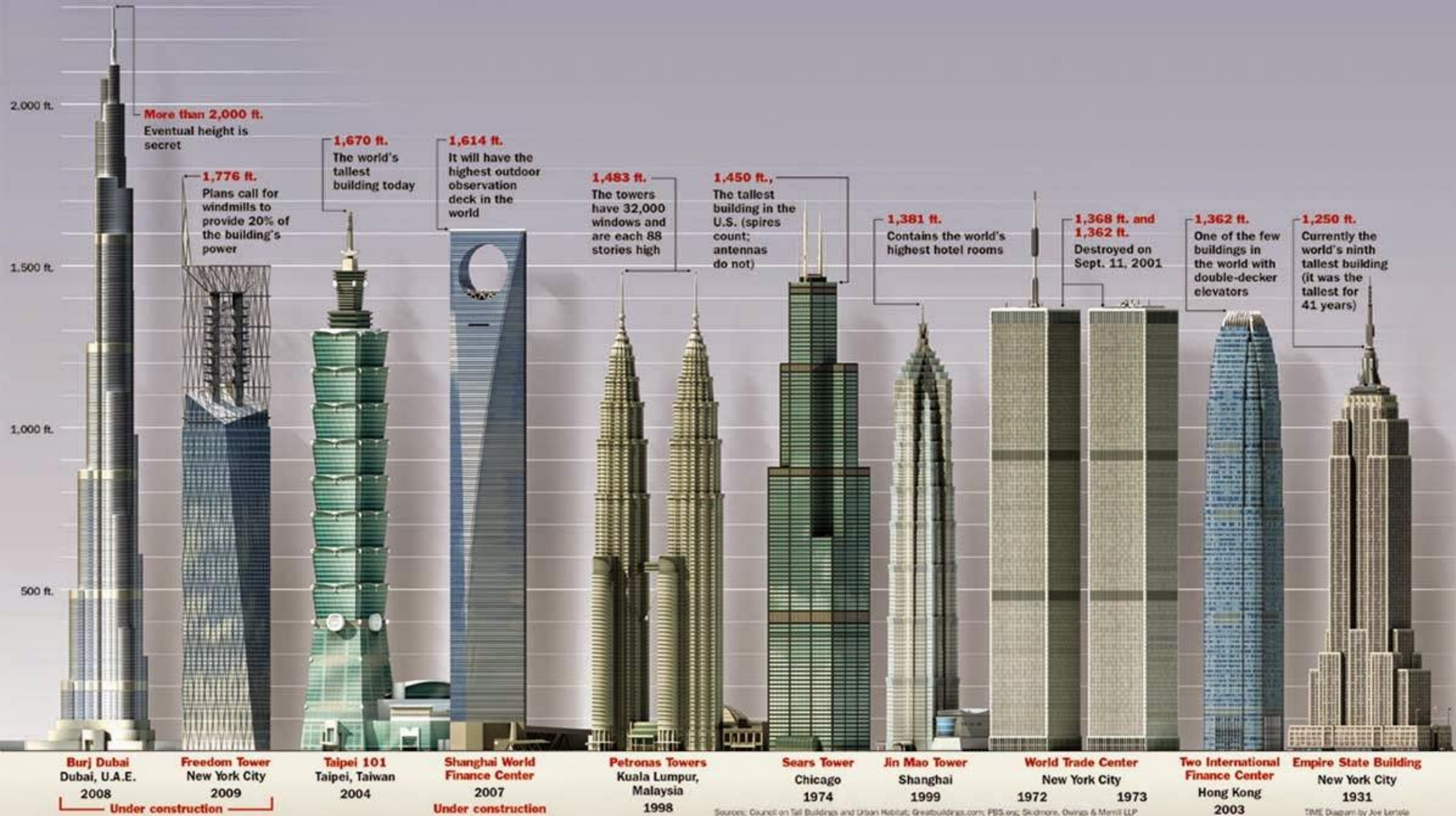
Evolusi Gedung Pencakar Langit 1931-2012



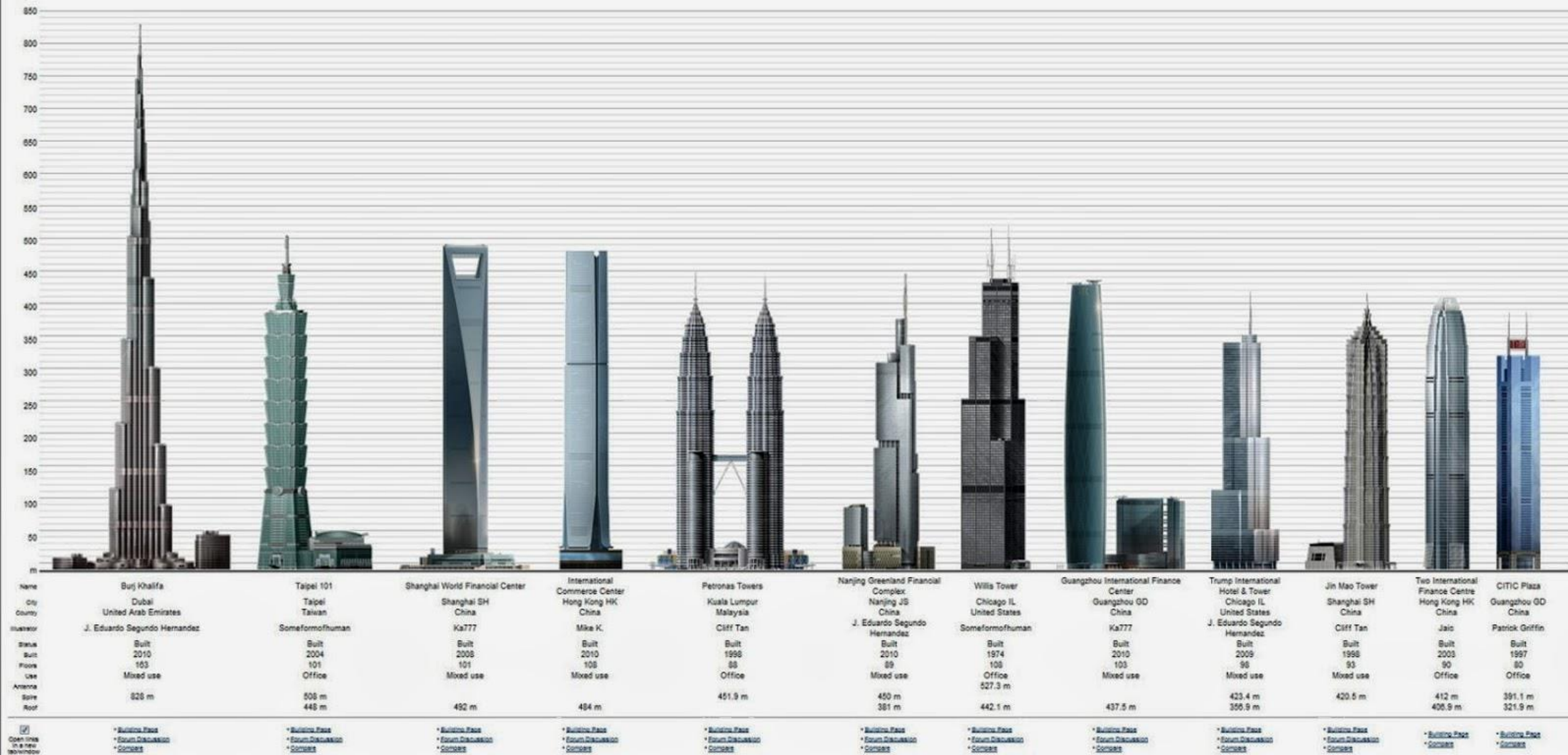
# 2

## SISTEM STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT TINGGI













## Bangunan Tinggi

bangunan yang  
mempunyai  
lebih dari satu  
lantai secara  
vertikal.



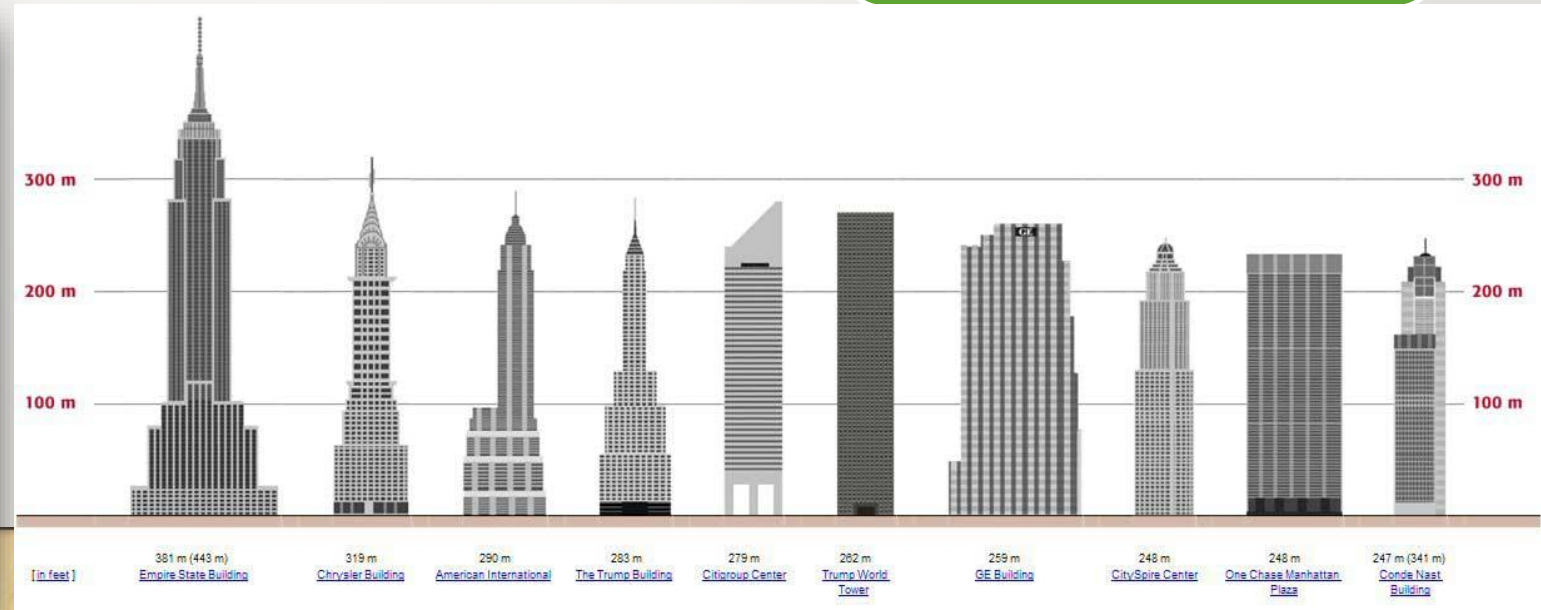
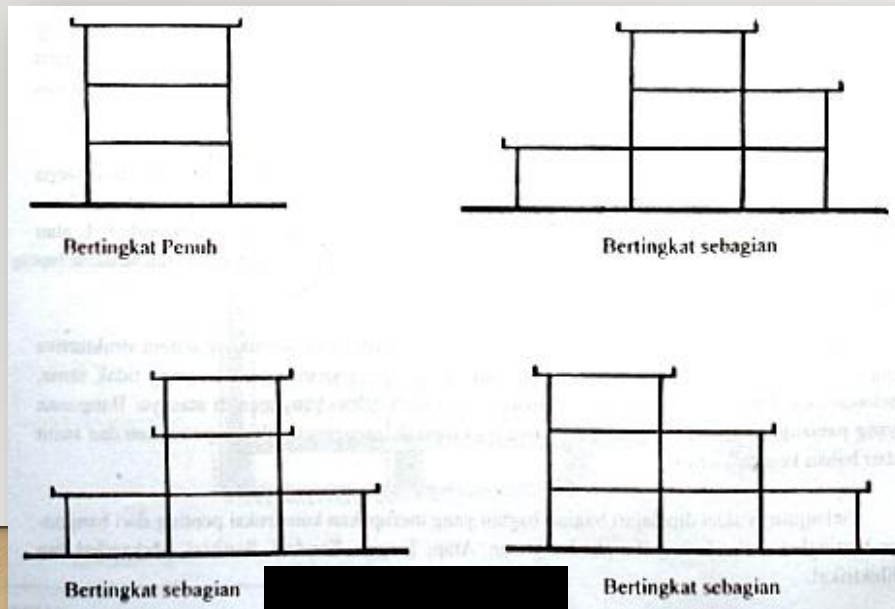
Bangunan bertingkat  
terbagi menjadi dua jenis :

Bangunan bertingkat  
penuh

merupakan bangunan  
bertingkat dengan lantai-  
lantai yang identik  
luasnya dari bawah ke  
atas

Bangunan bertingkat  
sebagian

merupakan bangunan  
bertingkat dengan lantai  
yang tidak identik,  
biasanya bagian bawah  
memiliki luasan lebih  
daripada bagian atas.



# Beberapa fungsi utama yang harus diperhatikan dalam perancangan bangunan tinggi :

## Struktural dan Metode Konstruksi.

Sistem struktur merupakan kerangka penyangga keseluruhan bangunan tinggi, contohnya sistem konstruksi beton bertulang yang diperkuat dengan sistem core.

## Mekanikal (Transportasi Vertikal dan Tata udara).

Sistem mekanis yang menggerakkan benda-benda seperti lift, elevator, ramp berjalan, dan sebagainya. Termasuk didalamnya tata udara yang membutuhkan turbin, sistem air dengan mesin penggerak, dan sebagainya.

## Elektrikal (Daya listrik dan Penerangan).

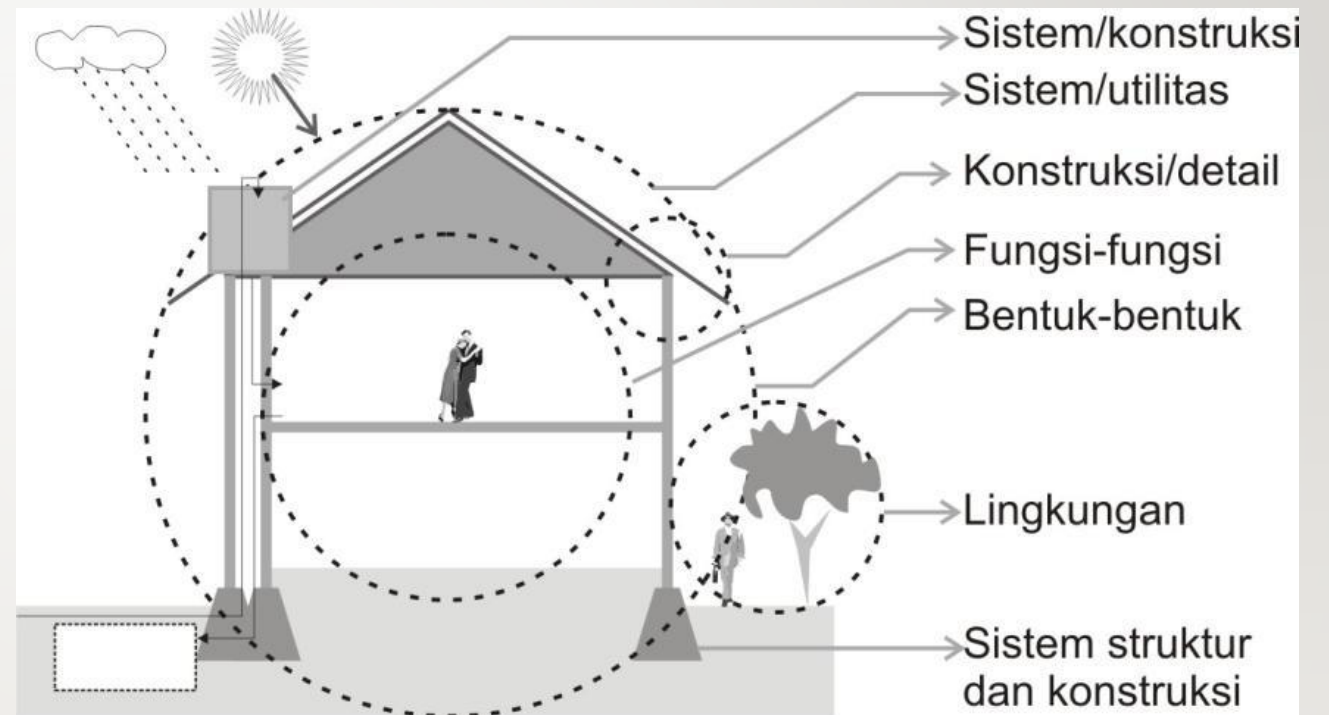
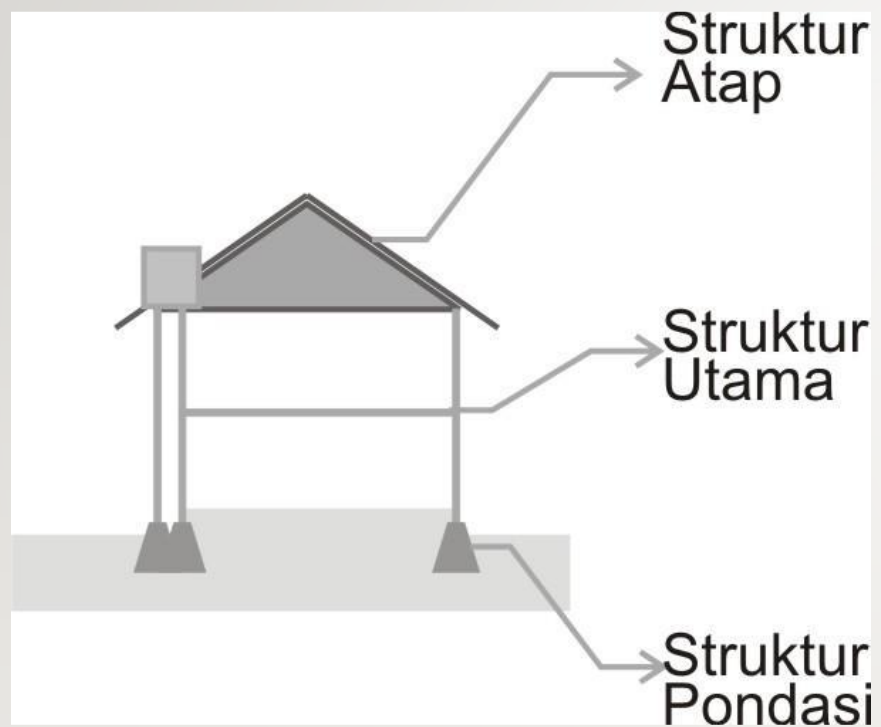
Mencakup segala hal berkaitan dengan kelistrikan, tata perletakan peralatan listrik, pengkabelan, penerangan.

## Arsitektural (Estetika).

Fungsi arsitektural merupakan fungsi paling humanis yang berkaitan dengan manusia yang tinggal didalamnya, yaitu estetika, pengaturan ruangan, perletakan shaft, dan sebagainya.







## Konstruksi Atap

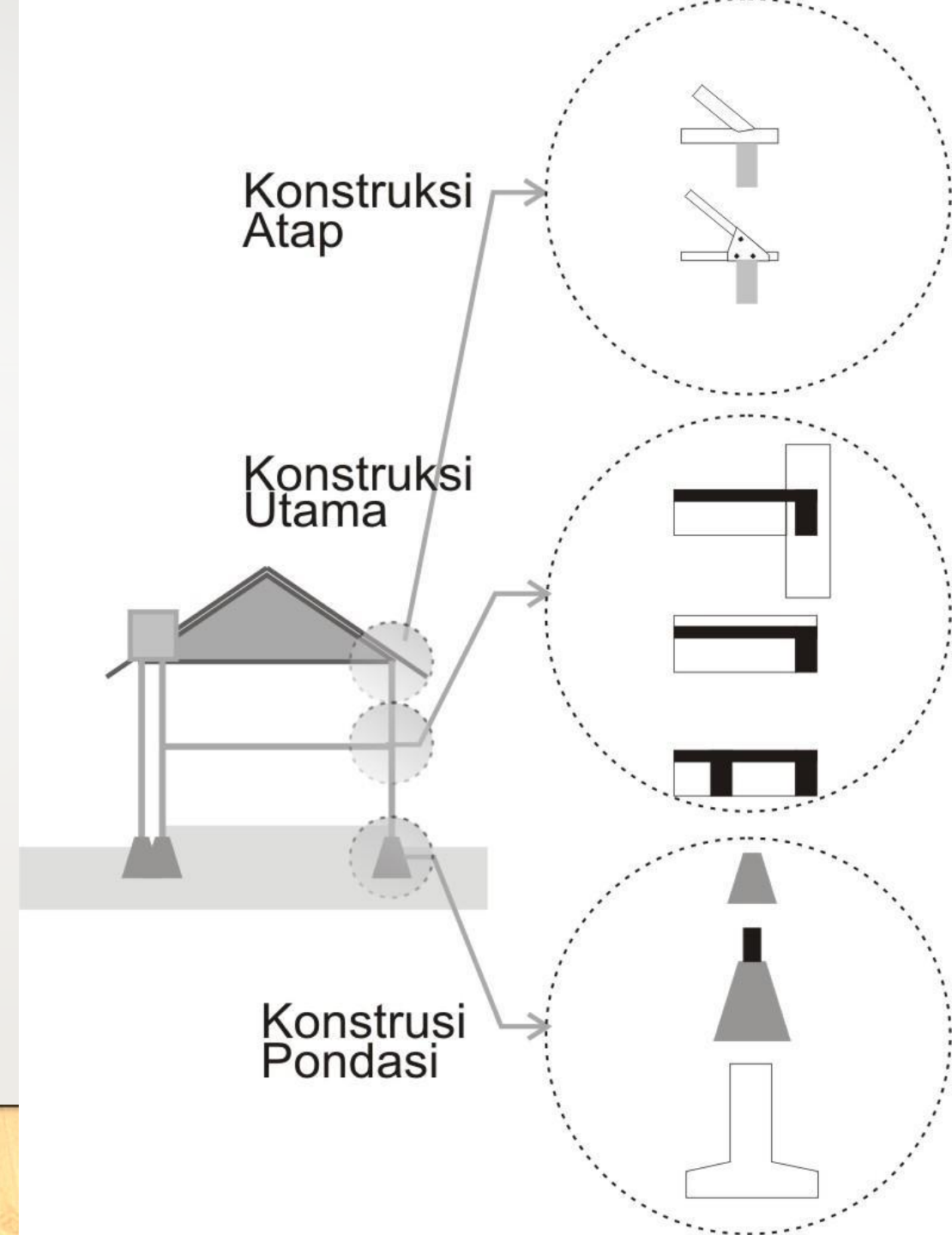
- Kuda-kuda Atap, Lapisan Atap, Struktur Atap

## Konstruksi Utama

- Kolom, Balok, Plat Lantai, Dinding

## Konstruksi Pondasi

- Pondasi, Sloof



Beberapa fungsi tambahan dari berbagai sistem bangunan tinggi adalah sebagai berikut :

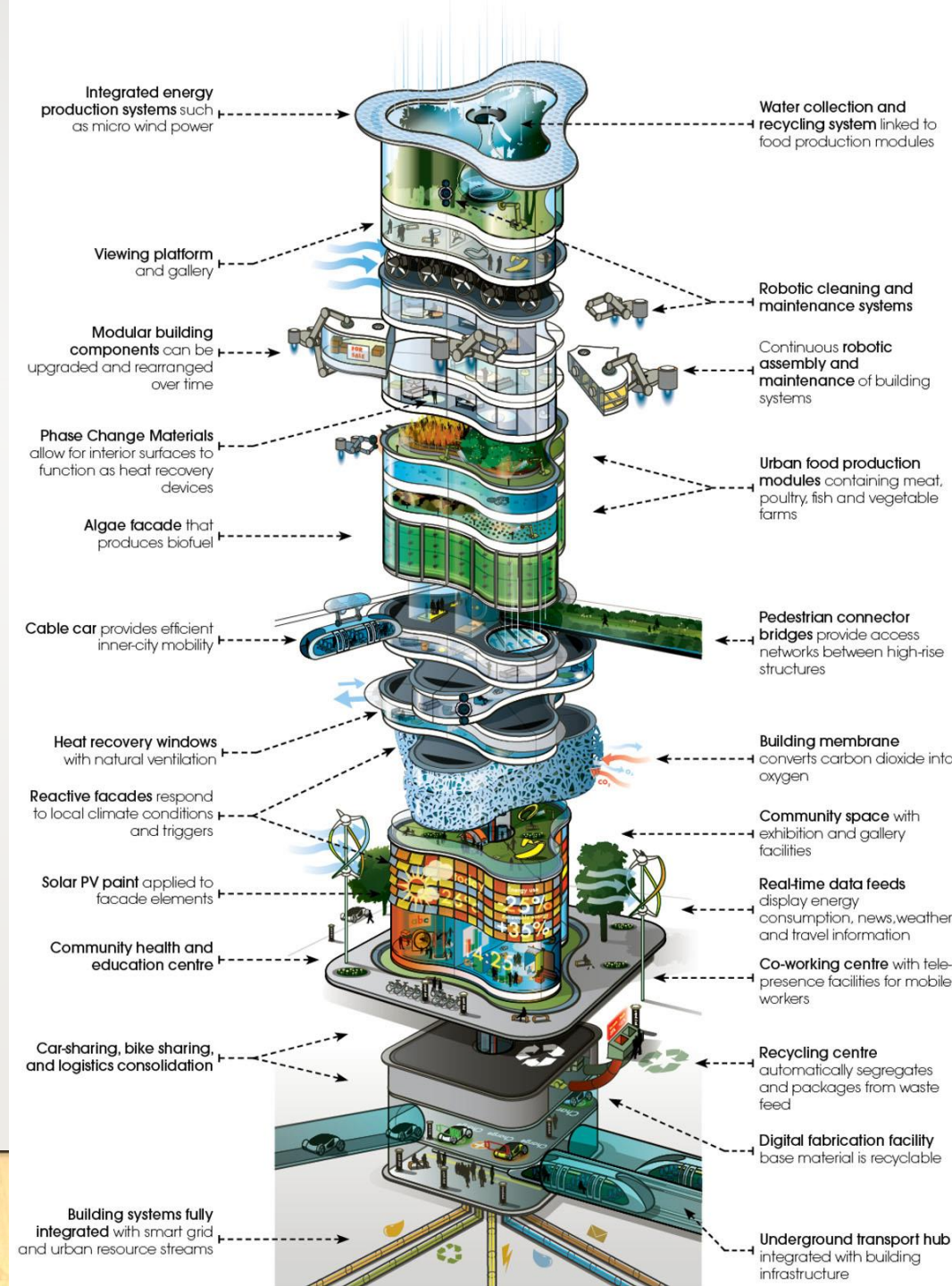
- Sistem Aliran Udara Dan Penghawaan, Termasuk Penghawaan Buatan
- Sistem Air Bersih, Plumbing Dan Fixtures
- Sistem Pengolah Limbah
- Sistem Privasi Dan Keamanan Psikologis Dalam Bangunan (Parking, Security)
- Sistem Komunikasi (Telepon, Radio, Televisi, Internet)
- Sistem Pengangkutan Barang Dan Transportasi Manusia (Elevator, Lift, Ramp Berjalan)
- Sistem Keamanan Fisik (Tangga Darurat, Pintu Darurat)
- Sistem Penanggulangan Kebakaran
- Sistem Penangkal Petir, Dll



Sistem struktur dari suatu bangunan tinggi, merupakan kumpulan dan kombinasi berbagai elemen struktur yang dihubungkan dan disusun secara teratur yang membentuk suatu totalitas kesatuan struktur.

Sistem struktur pada bangunan tinggi dirancang dan dipersiapkan agar mampu:

1. Memikul **beban vertical** baik statik maupun dinamik
2. Memikul **beban horizontal**, baik akibat angin maupun gempa
3. Menahan berbagai tegangan yang diakibatkan oleh **pengaruh temperature**
4. Menahan external dan internal blast dan beban kejut (**impact loads**)
5. Mengantisipasi pengaruh **getaran**



Pemilihan sistem struktur bergantung pada beberapa parameter berikut:

1. **Economical consideration**, yang meliputi construction cost, nilai kapitalisasi, rentable space variation dan cost of time variation.
2. **Construction speed** yang dipengaruhi oleh profil bangunan, experience, methods dan expertise, material struktur, tpi konstruksi (cast-in-situ, precast atau kombinasi) serta local construction industry.
3. **Overall geometry**, meliputi panjang, lebar dan tinggi bangunan.
4. **Vertical profile-building** shape.
5. **Pembatasan ketinggian** (height restriction)
6. **Kelangsingan** (slenderness), yaitu ratio antara tinggi terhadap lebar bangunan.

**7. Plan configuration**, yaitu depth-width ratio dan degree of regularity(dapat dilihat pada peraturan seperti UBC atau NEHRP).

**8. Kekuatan, kekakuan dan daktilitas.**

9. Kekuatan berhubungan erat dengan material properties, kekakuan meliputi kekakuan lentur, kekakuan geser, kekakuan torsi dan daktilitas meliputi strain ductility, curvature ductility dan displacement ductility.

10. Jenis/tipe pembebanan, yang meliputi beban gravitasi, beban lateral berupa beban angin dan seismic serta beban-beban khusus lainnya.

11. Kondisi tanah pendukung bangunan.





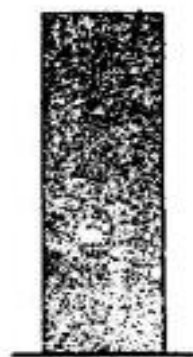
# 3a

APLIKASI SISTEM STRUKTUR  
KONSTRUKSI UTAMA

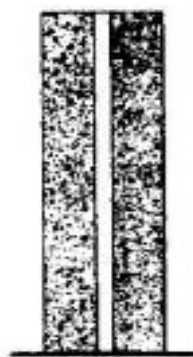
# Tipe struktur

1. Dinding pendukung sejajar (Pararel bearing wall)
2. Inti dan dinding pendukung fasade (Core and fasade bearing wall)
3. Boks Berdiri sendiri (Self support box)
4. Plat terkantilever (Cantilevered slab)
5. Plat rata (Flat slab)
6. Interspasial (interspatial)
7. Gantung (Suspention)
8. Rangka Selang Seling (Staggered truss)
9. Rangka Kaku (Rigid frame)
10. Rangka Kaku dan Inti (Rigid frame and core)
11. Rangka Trussed (Trussed frame)
12. Rangka Belt trussed dan inti (Belt trussed frame and core)
13. Tabung dalam tabung (Tube in tube)
14. Kumpulan tabung (Bundled tube)

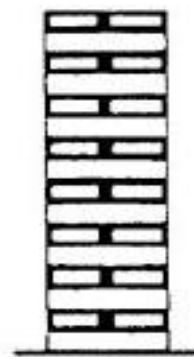




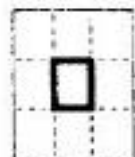
g. (PARALLEL)  
BEARING WALLS



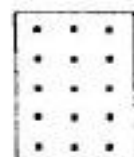
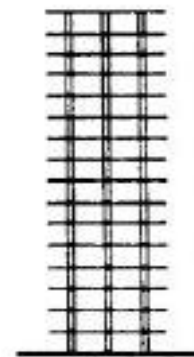
h. CORES AND  
BEARING WALLS



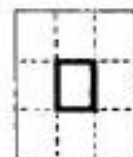
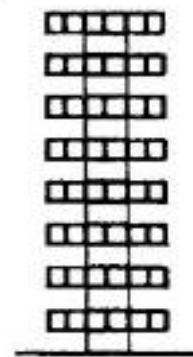
c. BOXES  
(SELF SUPPORTING)



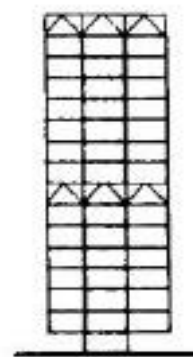
d. CANTILEVERED  
SLAB



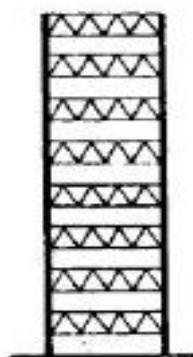
e. FLAT SLAB



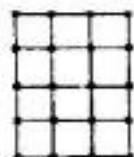
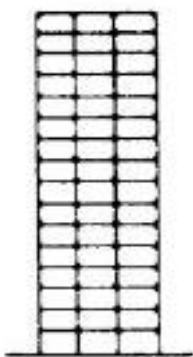
f. INTERSPATIAL



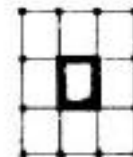
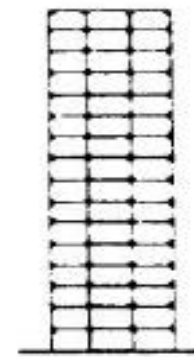
g. SUSPENDED



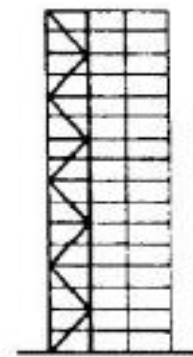
h. STAGGERED  
TRUSS



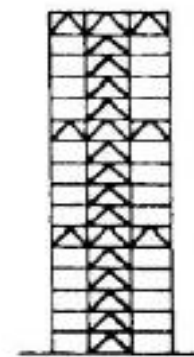
i. RIGID FRAME



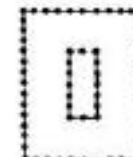
j. CORE AND  
RIGID FRAME



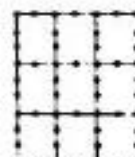
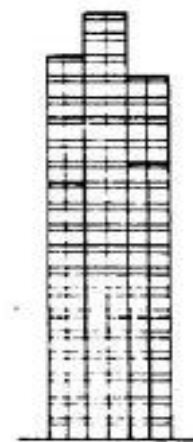
k. TRUSSED  
FRAME



l. BELT-TRUSSED  
FRAME AND  
FRAMED CORE

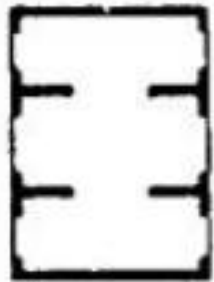


m. TUBE IN  
TUBE



n. BUNDLED TUBE

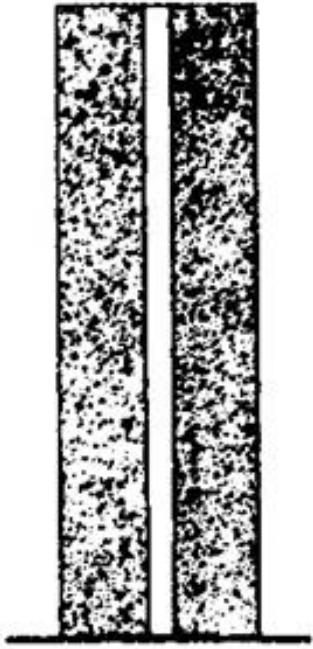




**a. (PARALLEL)  
BEARING WALLS**

## **Dinding penduduk sejajar (parallel bearing walls)**

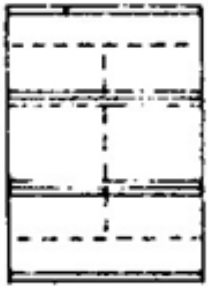
- Sistem ini terdiri dari unsur-unsur bidang vertikal yang diprategkan oleh berat sendiri, sehingga menyerap gaya aksi lateral secara efisien.
- Sistem dinding sejajar ini terutama digunakan untuk bangunan apartemen yang tidak memerlukan ruang bebas yang luas dan sistem – sistem mekanisnya tidak memerlukan struktur inti.



D. CORES AND  
BEARING WALLS

## Inti dan dinding pendukung fasade (core and facade bearing walls)

- Unsur bidang vertikal membentuk dinding luar yang mengelilingi sebuah struktur inti.
- Hal ini memungkinkan ruang interior yang terbuka, yang bergantung pada kemampuan bentangan dari struktur lantai.
- Inti ini memuat sistem-sistem transportasi mekanis vertikal serta menambah kekakuan bangunan.

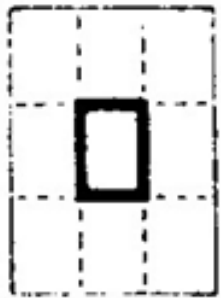
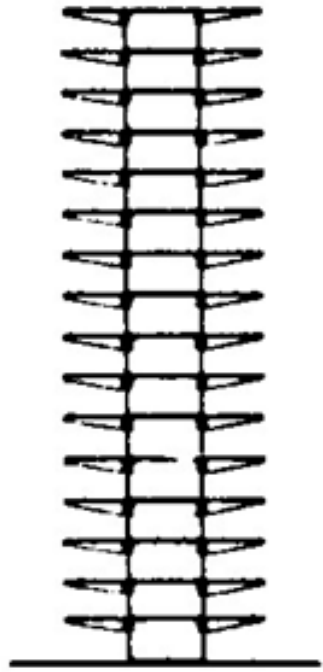


c. BOXES  
(SELF SUPPORTING)

## Boks berdiri sendiri ( self supporting boxes)

- Boks merupakan unit tiga dimensi prefabrikasi yang menyerupai bangunan dinding pendukung yang diletakkan di suatu tempat dan digabung dengan unit lainnya.
- Dalam contoh tersebut boks-boks ini ditumpuk seperti bata dengan " pola *English bond*" sehingga terjadi susunan balok dinding berselang-seling.

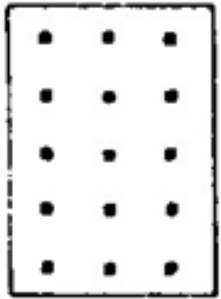
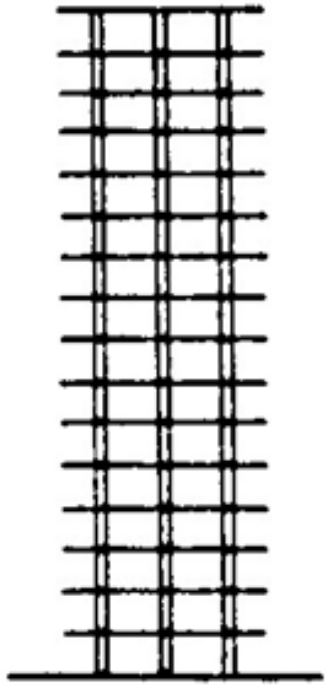




d. CANTILVERED  
SLAB

### Plat terkantilever (cantilevered slab)

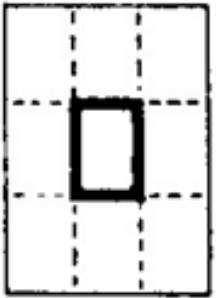
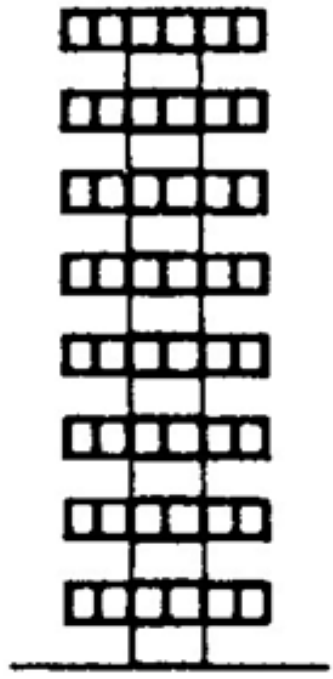
- Pemikulan sistem lantai dari sebuah inti pusat akan memungkinkan ruang bebas kolom yang batas kekuatan platnya adalah batas besar ukuran bangunan.
- Besi akan banyak diperlukan ,terutama apabila proyeksi pelat adalah besar.
- Kekakuan pelat dapat di tingkatkan dengan menggunakan teknik-teknik pratekan.



g. FLAT SLAB

### Plat rata (flat slab)

- Sistem bidang horizontal pada umumnya terdiri dari plat lantai beton tebal rata yang ditumpu pada kolom.
- Apabila tidak terdapat penebalan plat dan atau kepala pada bagian atas kolom, maka sistem ini dikatakan sisitem plat rata.
- Pada kedua sistem ini tidak terdapat balok yang dalam (deep beam) sehingga tinggi lantai bisa minimu.

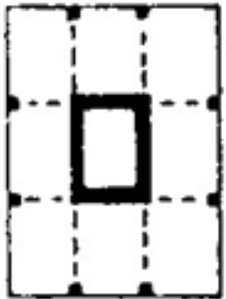
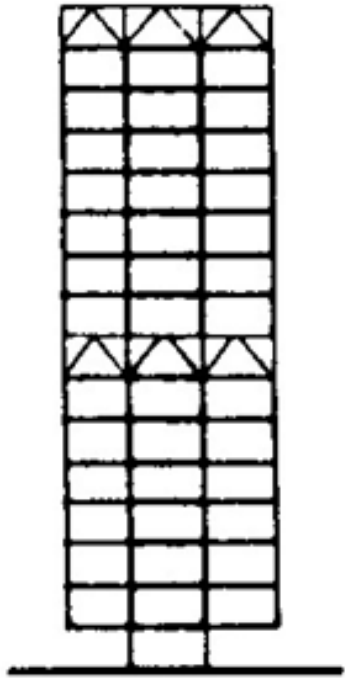


1. INTERSPATIAL

## Interspasial (Interspasial)

- Struktur rangka tinggi selantai yang terkantilever diadakan pada setiap lantai antara untuk memungkinkan ruang fleksibel didalam dan di atas rangka.
- Ruangan yang berada di dalam lantai rangka di atasnya dapat digunakan untuk kegiatan lainnya.

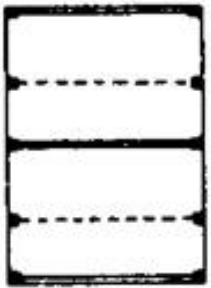
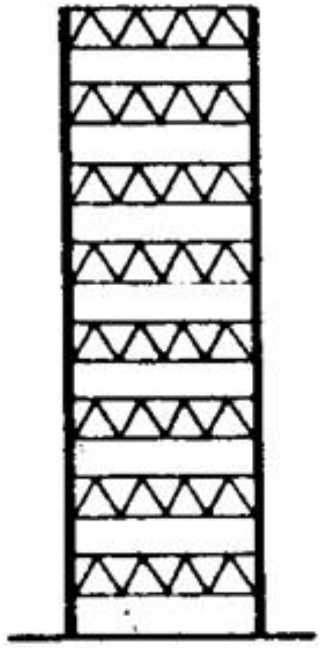




9. SUSPENDED

## Gantung (suspension)

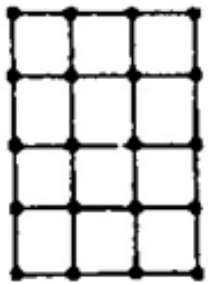
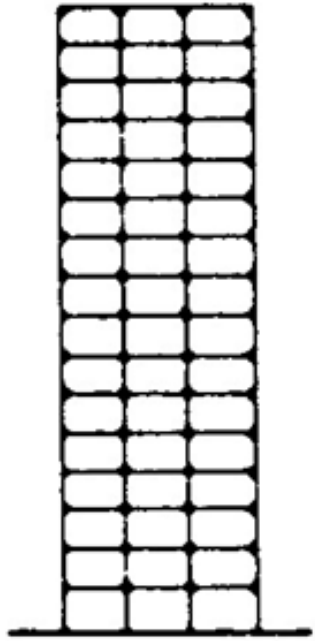
- Sistem ini memungkinkan penggunaan bahan secara efisien dengan menggunakan penggantung sebagai pengganti kolom untuk memikul beban lantai.
- Kekuatan unsur tekan harus dikurangi karena adanya bahaya tekuk, berbeda dengan unsur tarik, yang dapat mendayagunakan kemampuannya secara maksimal.
- Kabel-kabel ini meneruskan beban gravitasi ke rangka di bagian atas yang terkantilever dari inti pusat.



**N. STAGGERED  
TRUSS**

### Rangka selang –seling (staggered truss)

- Rangka tinggi selantai disusun sedemikian rupa sehingga setiap lantai bangunan menumpangkan di bagian atas suatu rangka dan di bawah rangka di atasnya.
- Selain memikul beban vertikal, susunan rangka akan mengurangi tuntutan kebutuhan ikatan angin dengan cara mengarahkan beban angin ke dasar bangunan melalui balok-balok dan plat lantai.

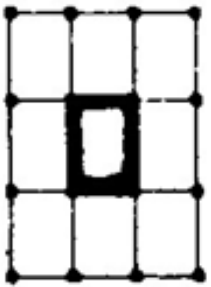
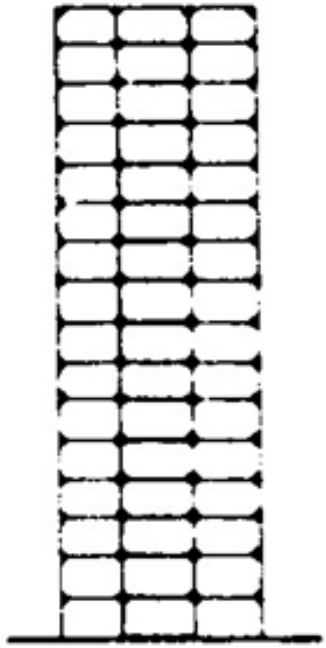


1. RIGID FRAME

## Rangka Kaku ( rigid frame )

- Sambungan kaku digunakan antara susunan unsur linear untuk membentuk bidang vertikal dan horizontal.
- Bidang vertikal terdiri dari kolom dan balok, biasanya pada grid persegi.
- Organisasi grid serupa juga digunakan untuk bidang horizontal yang terdiri atas balok dan gelagar.
- Dengan keterpaduan rangka spasial yang bergantung pada kekuatan kolom dan balok, maka tinggi lantai ke lantai dan jarak antara kolom menjadi penentu pertimbangan rancangan.

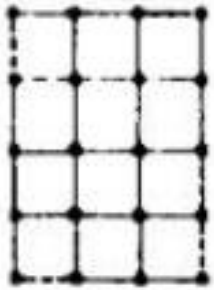
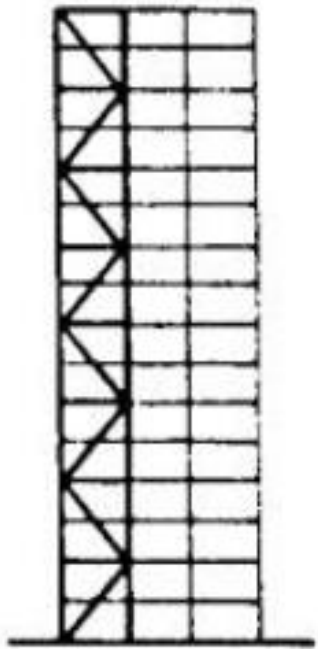




J. CORE AND RIGID FRAME

## Rangka kaku dan inti ( rigid frame and core )

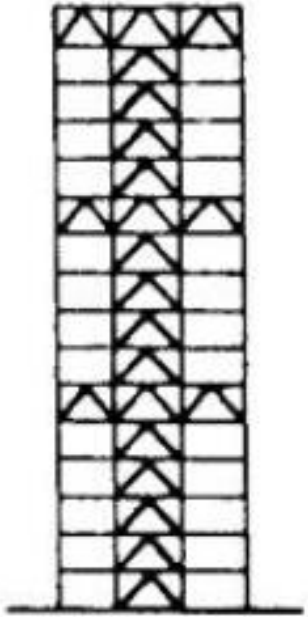
- Rangka kaku bereaksi terhadap beban lateral, terutama melalui lentur balok dan kolom.
- Perilaku demikian berakibat ayunan ( drift ) lateral yang besar pada bangunan dengan ketinggian tertentu.
- Akan tetapi, apabila dilengkapi dengan struktur inti, ketahanan lateral bangunan akan sangat meningkat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



k. TRUSSED  
FRAME

## Rangka trussed ( trussed frame )

- Gabungan rangka kaku (atau bersendi ) dengan rangka geser vertikal akan memberikan peningkatan kekuatan dan kekakuan struktur.
- Rancangan struktur dapat berdasarkan penggunaan rangka untuk menahan beban gravitasi dan rangka vertikal untuk beban angin,yang serupa dengan rangka kaku dan inti.



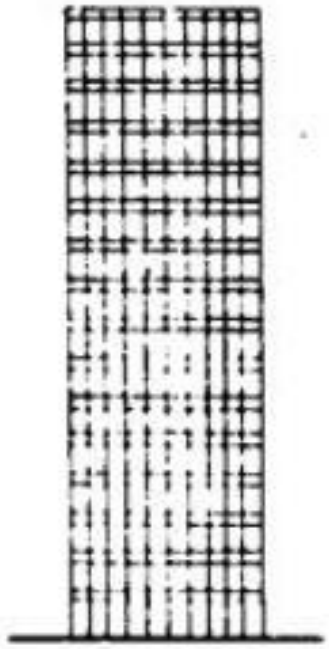
## Rangka belt-trussed dan inti (belt-trussed frame and core )

- *Belt truss* mengikat kolom fasade ke inti sehingga meniadakan aksi terpisah rangka dan inti.
- Pengakuan ini dinamai *cap trussing* apabila berada pada bagian atas bangunan, dan *belt trussing* apabila berada di bagian bawahnya.



1. BELT-TRUSSED  
FRAME AND  
FRAMED CORE

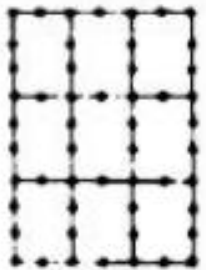
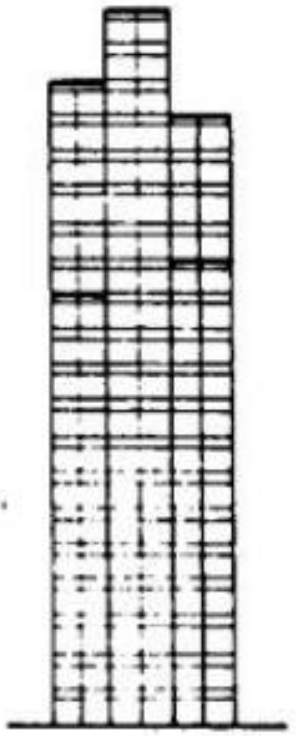




m. TUBE IN  
TUBE

## Tabung dalam tabung ( tube in tube )

- Kolom dan balok eksterior ditempatkan sedemikian rapat sehingga fasade menyerupai dinding yang diberi pelubangan ( untuk jendela ).
- Seluruh bangunan berlaku sebagai tabung kosong yang terkantilever dari tanah. Inti interior ( tabung ) meningkatkan kekakuan bangunan dengan ikut memikul beban bersama kolom-kolom fasade.



A. BUNDLED TUBE

## Kumpulan tabung ( bundled tube )

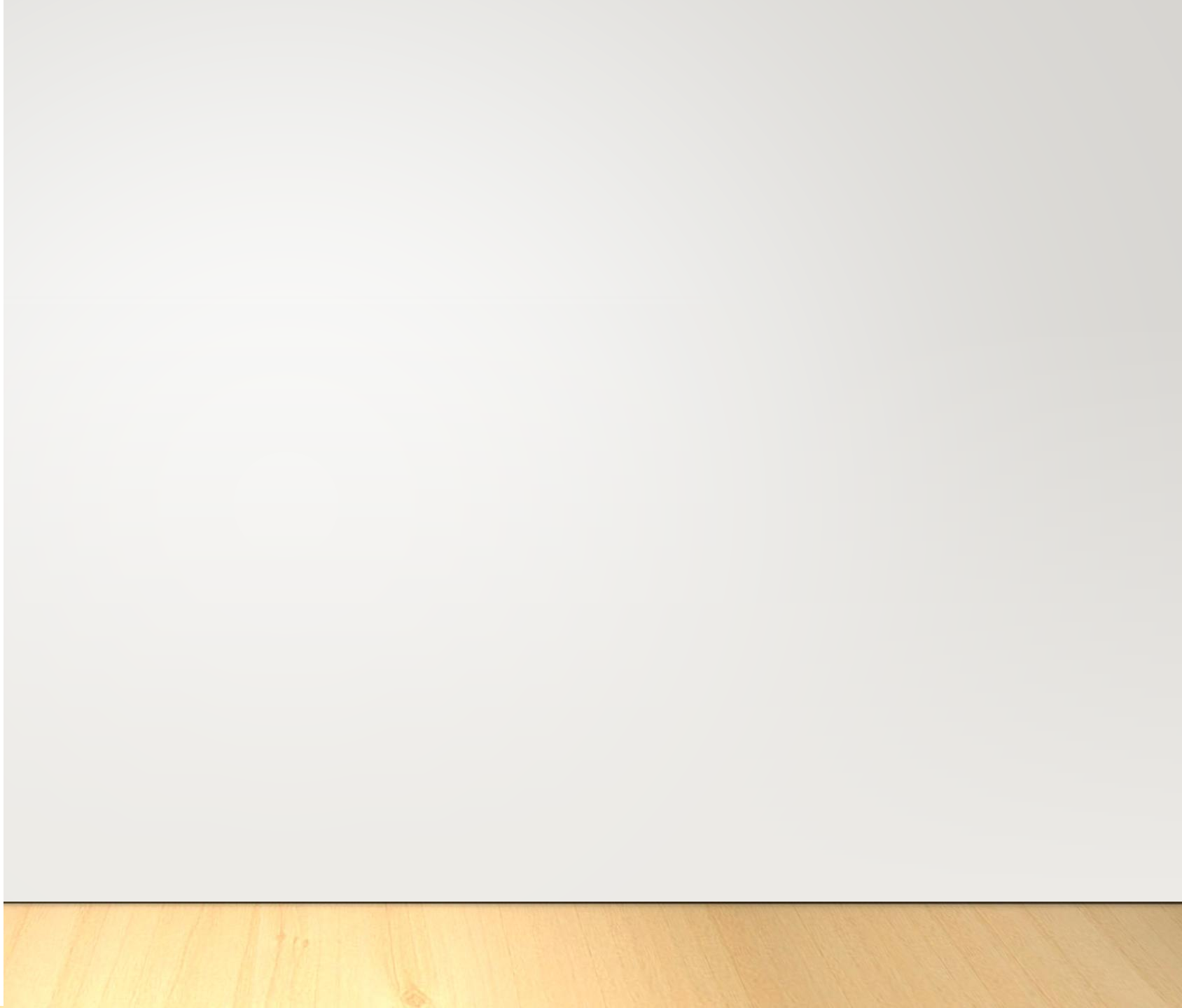
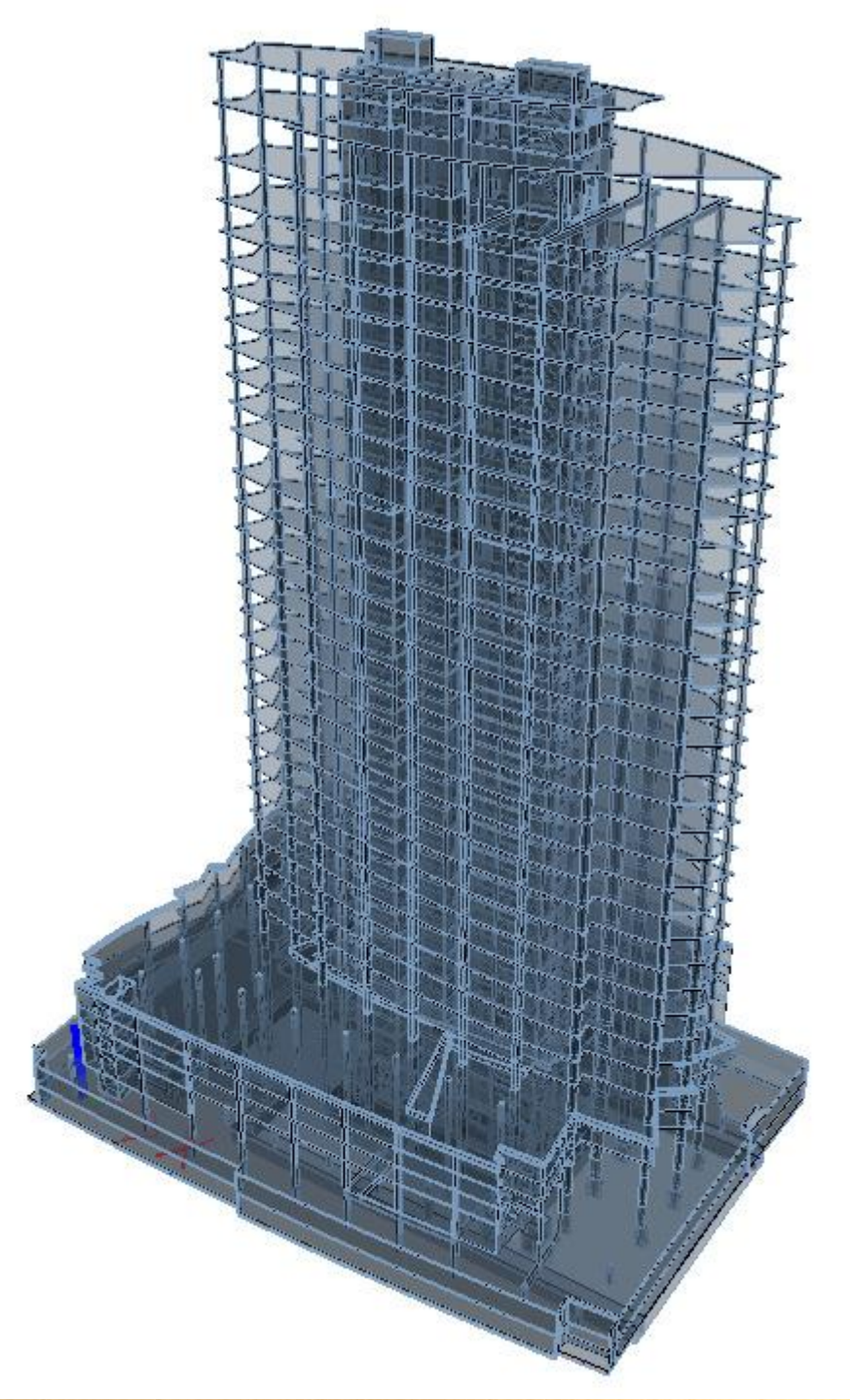
- Sistem kumpulan tabung dapat digambarkan sebagai suatu himpunan tabung-tabung terpisah yang membentuk tabung multise.
- Pada sistem ini kekakuan bertambah.
- Sistem ini memungkinkan bangunan mencapai bentuk yang paling tinggi dan daerah lantai yang paling luas.

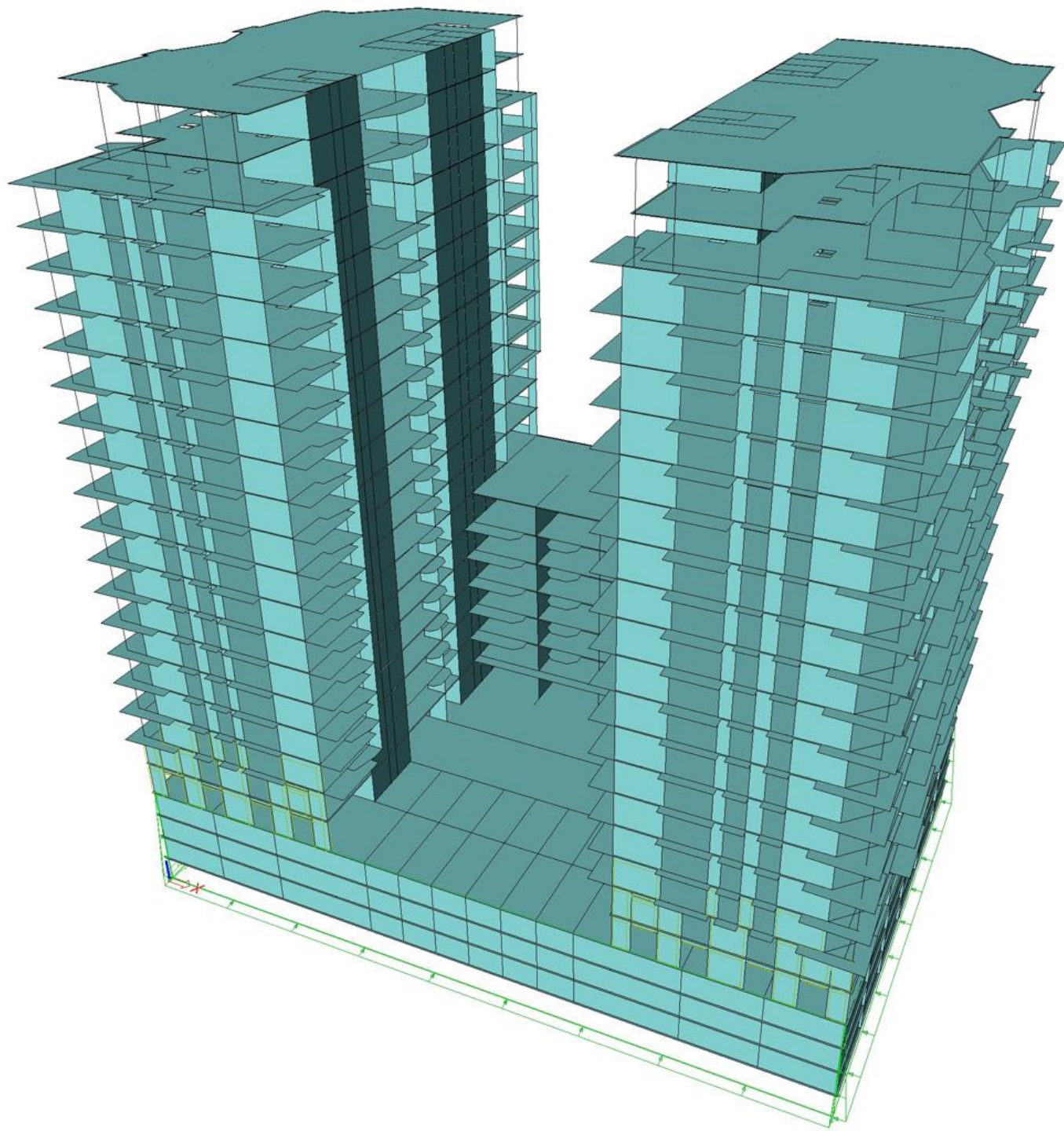


# 3b

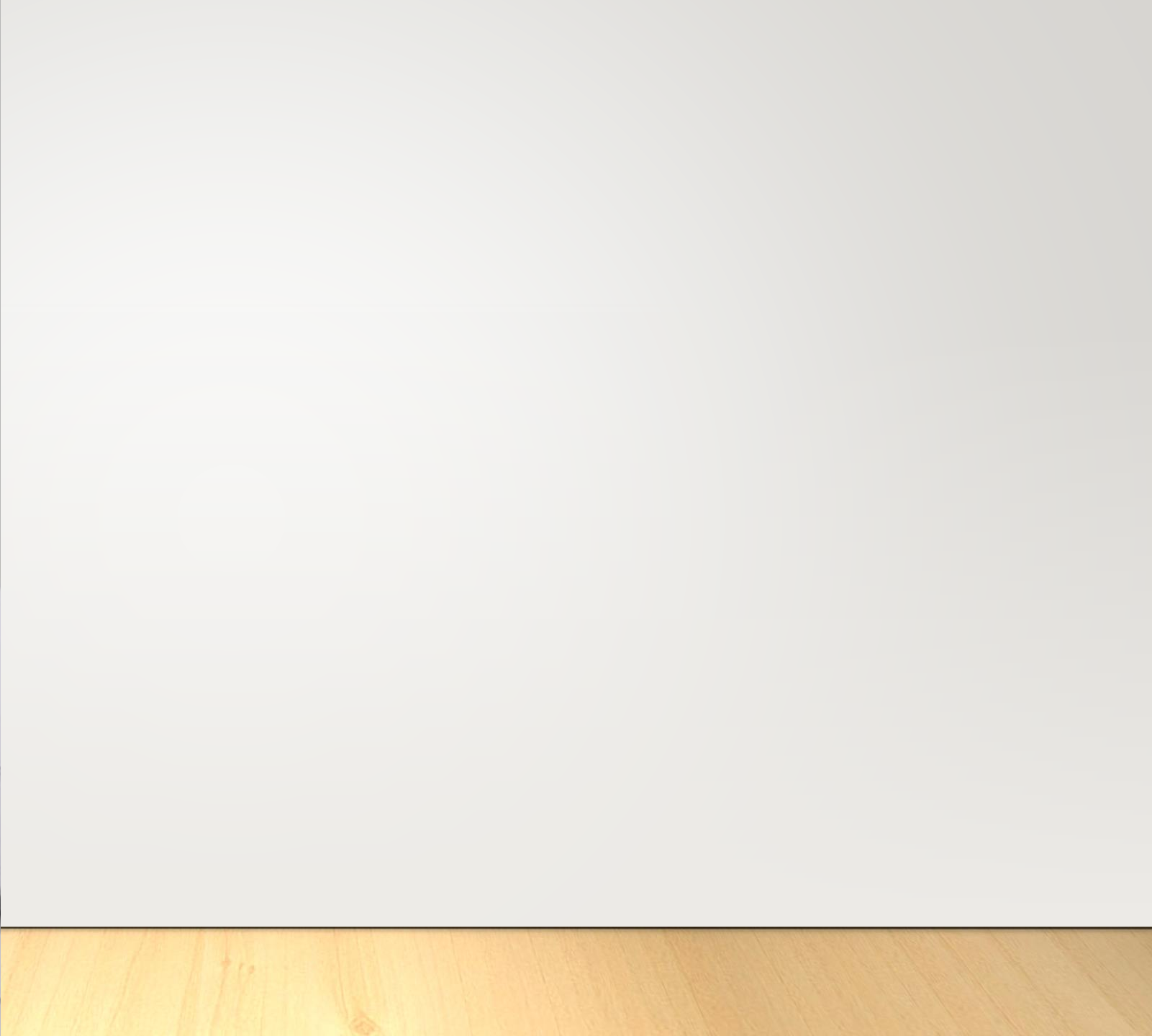
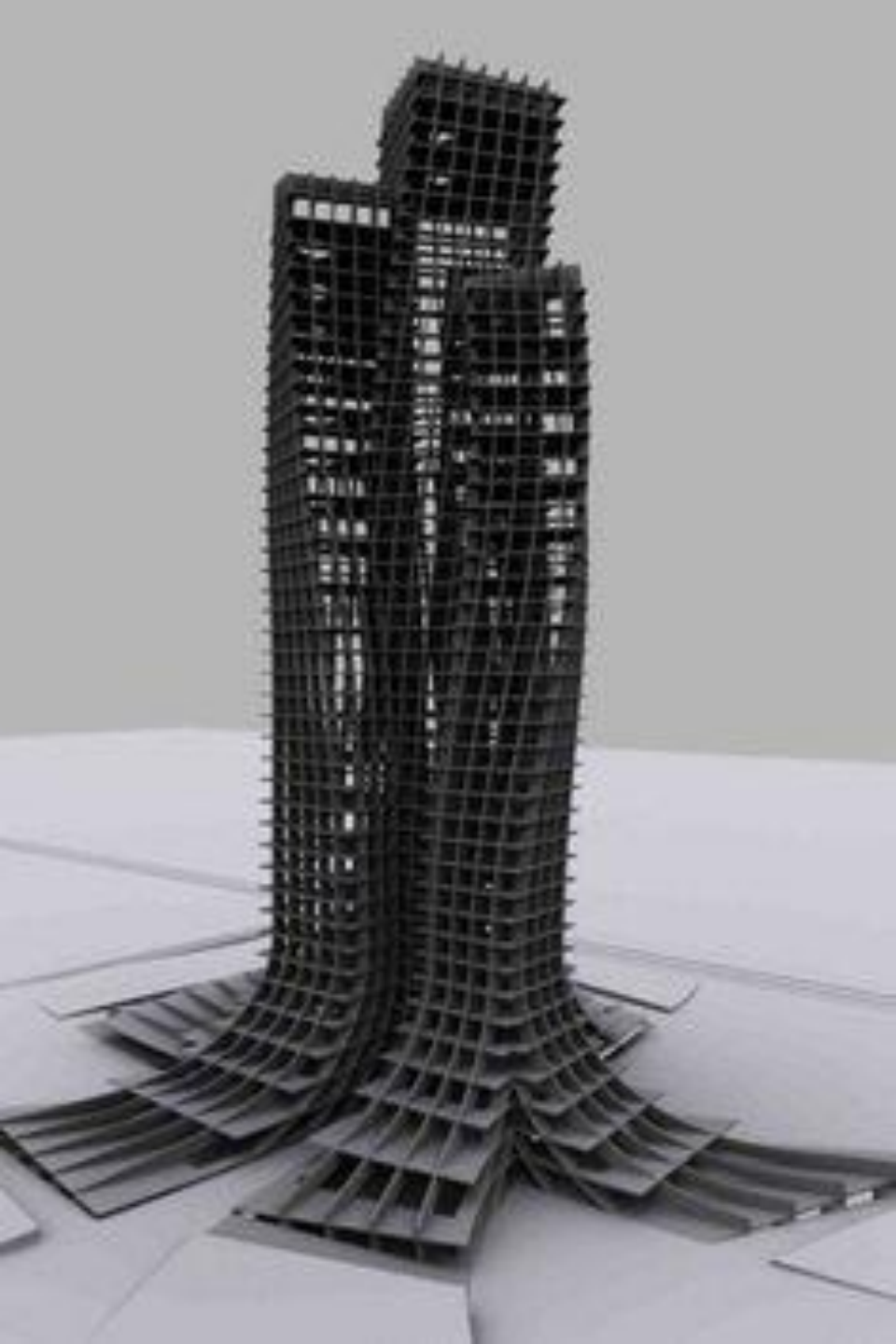
IDENTIFIKASI SISTEM STRUKTUR  
KONSTRUKSI UTAMA



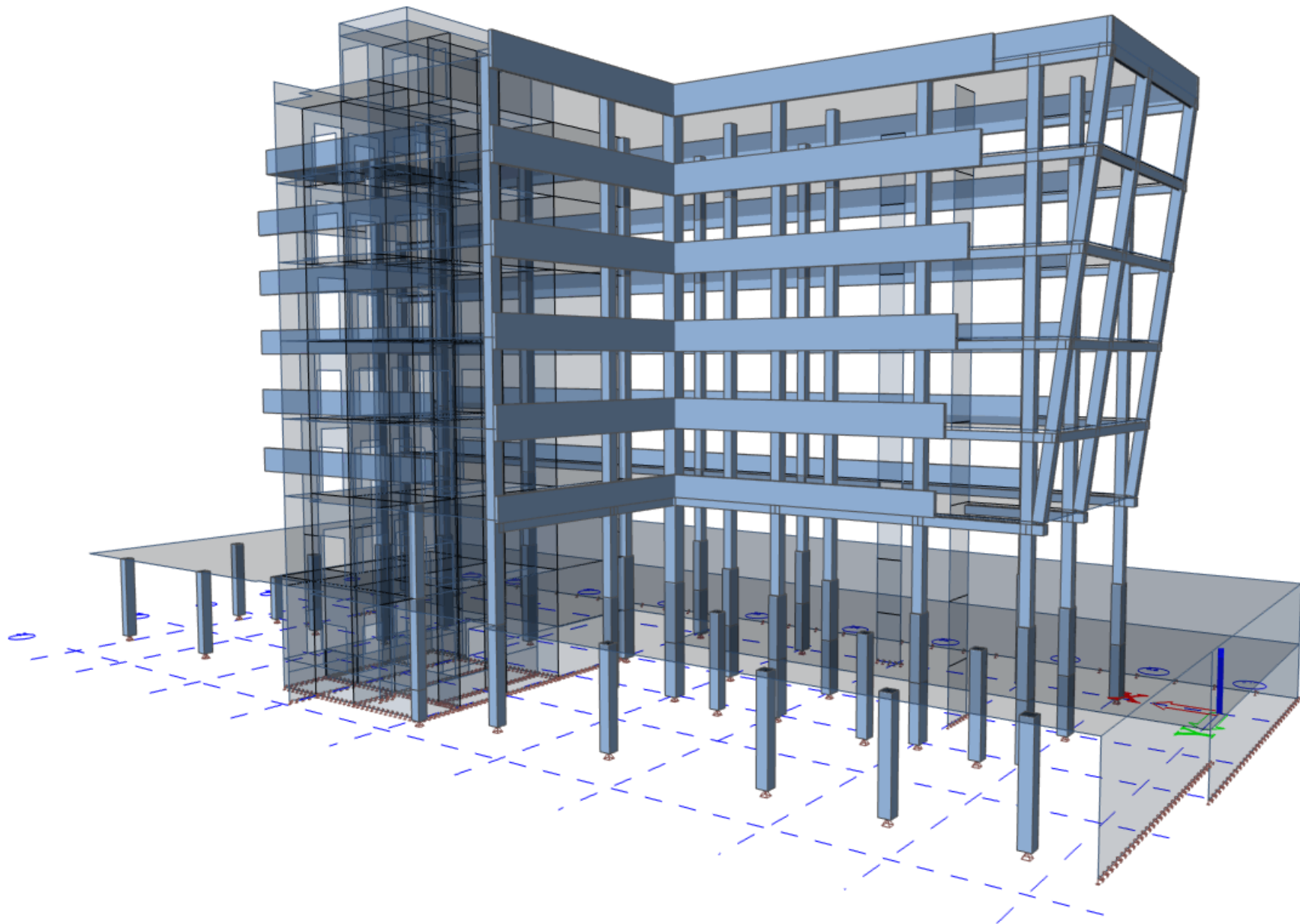


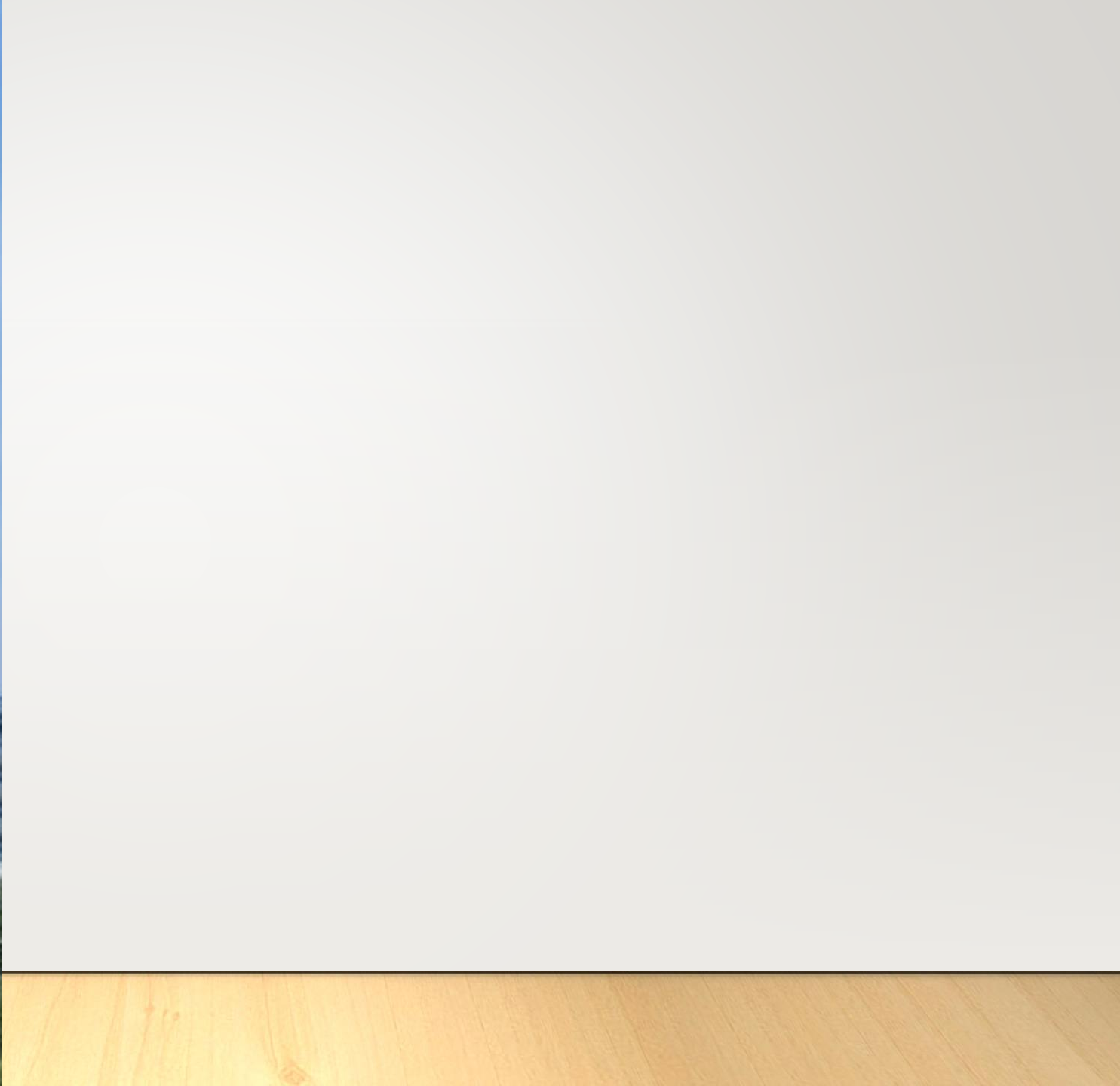




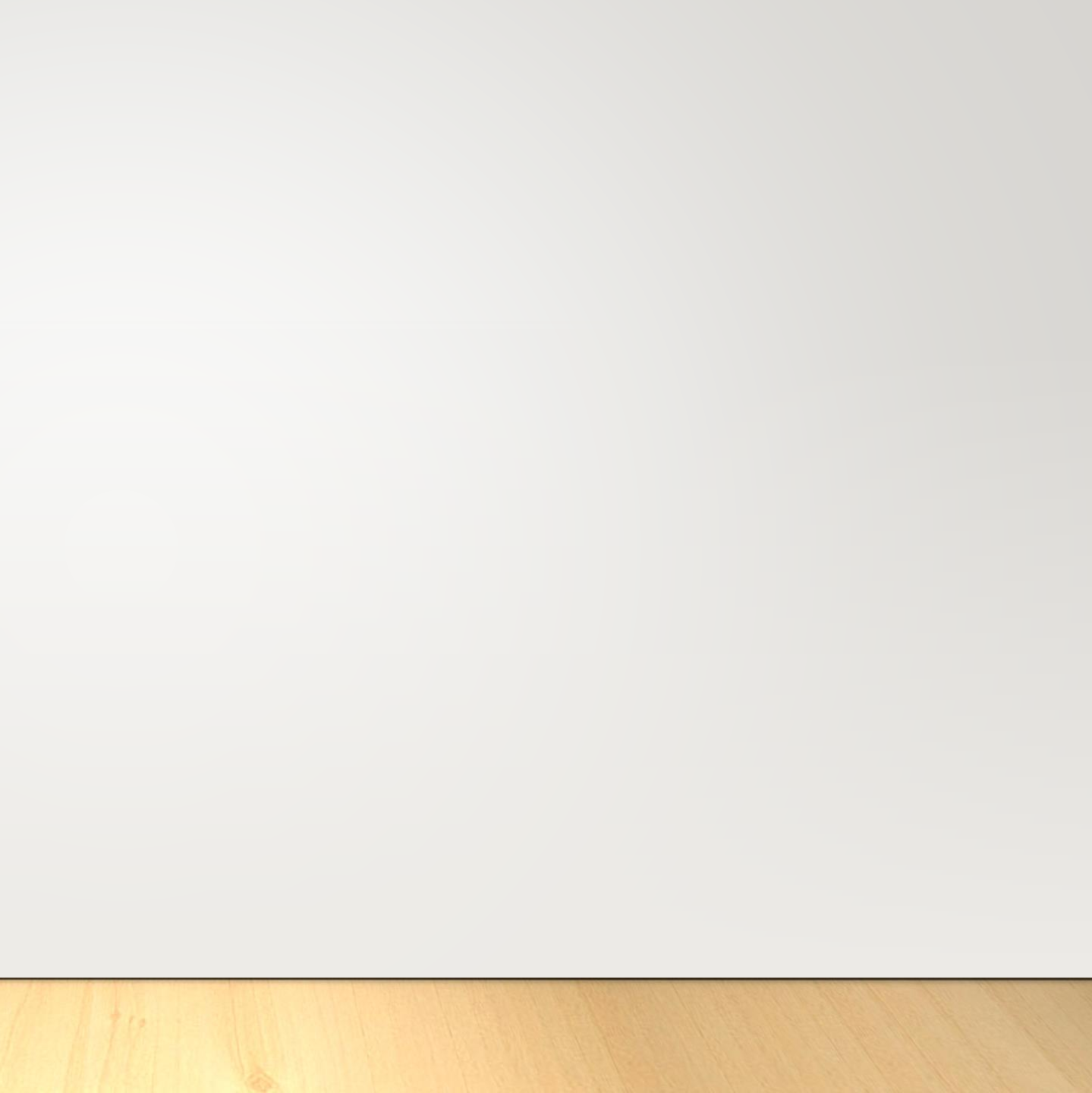


























# 4

## APLIKASI SISTEM STRUKTUR KONSTRUKSI PONDASI

# Daya Dukung Tanah



Dapat diketahui dengan cara:

- 1) Pengeboran dengan bor mesin untuk mengetahui lapisan tanah.
- 2) Standar Penetration Test (SPT) menggunakan pukulan palu untuk menentukan kepadatan relief lapisan tanah dan memperoleh data kepadatan tanah.
- 3) Dutch Cone Penetrometer Test (DCPT, Sondir) dengan memasukkan alat sondir tegak lurus kedalam tanah untuk mengetahui kedalaman dan kekuatan lapisan tanah, menentukan profil dan karakteristik tanah, menentukan daya dukung pondasi dan memberikan gambaran jenis tanah.

# Konstruksi Pondasi

Pemilihan tipe pondasi didasarkan atas :

- 1) Fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut.
- 2) Besarnya beban dan berat dari bangunan atas.
- 3) Kondisi tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan.
- 4) Biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan atas.





```
graph TD; A[Tipe Pondasi] --> B[Pondasi Dangkal]; A --> C[Pondasi Dalam]; B --> D[Pondasi Setempat (Tapak)]; B --> E[Pondasi Menerus (Batu Gunung)]; B --> F[Pondasi Plat Beton Lajur]; C --> G[Pondasi Sumuran (Pier Foundation)]; C --> H[Pondasi Tiang Pancang (Pile Foundation)];
```

## Tipe Pondasi

### Pondasi Dangkal

Pondasi Setempat  
(Tapak)

Pondasi Menerus  
(Batu Gunung)

Pondasi Plat  
Beton Lajur

### Pondasi Dalam

Pondasi Sumuran  
(Pier Foundation)

Pondasi Tiang  
Pancang  
(Pile Foundation)

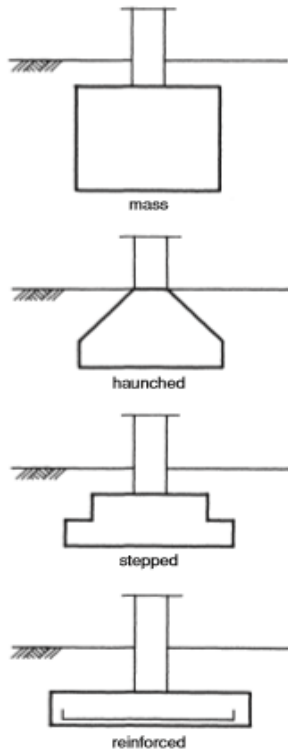
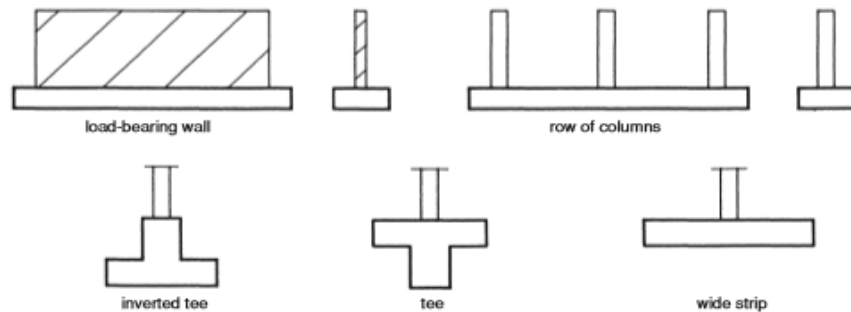


Fig. 1.5 Pad foundations.

economics of scale of the contract and construction costs, buildability, durability – as is all structural design choice. Only a brief description is given in this section to help understand the soil behaviour.



### 1.7.1 Pad foundations

Pad foundations tend to be the simplest and cheapest foundation type and are used when the soil is relatively strong or when the column loads are relatively light. They are usually square or rectangular on plan, of uniform thickness and generally of reinforced concrete. They can be stepped or haunched, if material costs outweigh labour costs. The reinforcement can vary from nothing at one extreme through to a heavy steel grillage at the other, with lightly reinforced sections being the most common. Typical types are shown in Fig. 1.5.

### 1.7.2 Strip footings

Strip footings are commonly used for the foundations to load-bearing walls. They are also used when the pad foundations for a number of columns in line are so closely spaced that the distance between the pads is approximately equal to the length of the side of the pads. (It is usually more economic and faster to excavate and cast concrete in one long strip, than as a series of closely spaced isolated pads.) They are also used on weak ground to increase the foundation bearing area, and thus reduce the bearing pressure – the weaker the ground then the wider the strip. When it is necessary to stiffen the strip to resist differential settlement, then *tee* or *inverted tee* strip footings can be adopted. Typical examples are shown in Fig. 1.6.

### 1.7.3 Raft foundations

When strips become so wide (because of heavy column loads or weak ground) that the clear distance between them is about the same as the width of the strips (or when the depth to suitable bearing capacity strata for strip footing loading becomes too deep), it is worth considering raft foundations. They are useful in restricting the differential settlement on variable ground, and to distribute variations of superstructure loading from area to area. Rafts can be stiffened (as strips can) by the inclusion of tee beams.

Rafts can also be made *buoyant* by the excavation (displacement) of a depth of soil, similar to the way that seagoing rafts are made to float by displacing an equal weight of

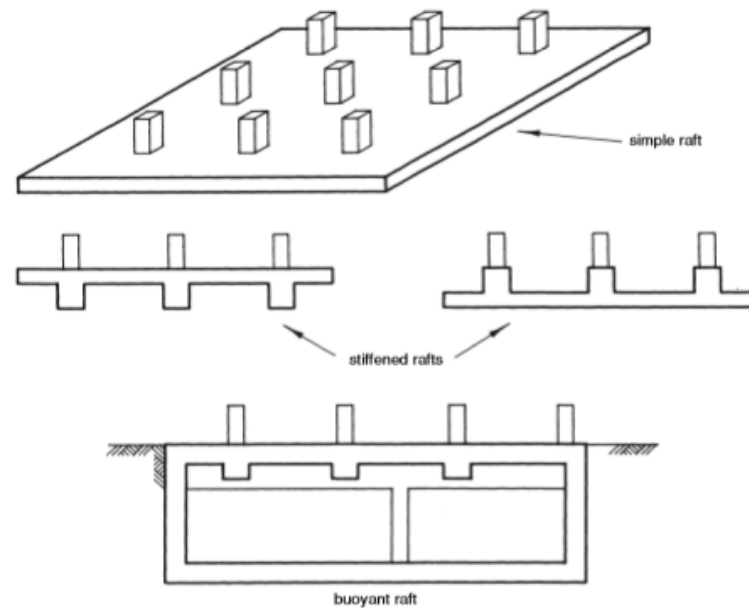


Fig. 1.7 Raft foundations.

water. A cubic metre of soil can weigh as much as three floor loads per square metre, so a deep basement excavation can *displace* the same weight of soil as the weight of the proposed structure. However where there is a high water-table then *floatation* of the raft can occur, if the water pressures exceed the self-weight! Typical examples of rafts are shown in Fig. 1.7.

### 1.7.4 Piled foundations

Piles are used when they are more economical than the alternatives, or when the ground at foundation level is too weak to support any of the previously described foundation types. Piles are also used on sites where soils are particularly affected by seasonal changes (and/or the action of tree roots), to transfer the structural loads below the level of such influence. Piles can transfer the structure load to stronger soil, or to bedrock and dense gravel. The structural load is supported by the pile, acting as a column, when it is end-bearing on rock (or driven into dense gravel), or alternatively by skin friction between the peripheral area of the pile and the surrounding soil (similar to a nail driven into wood) or by a combination of both.

Rapid advances in piling technology have made piling on many sites a viable alternative economic proposition and not necessarily a last resort. The reduction in piling costs has also made possible the use of land which previously

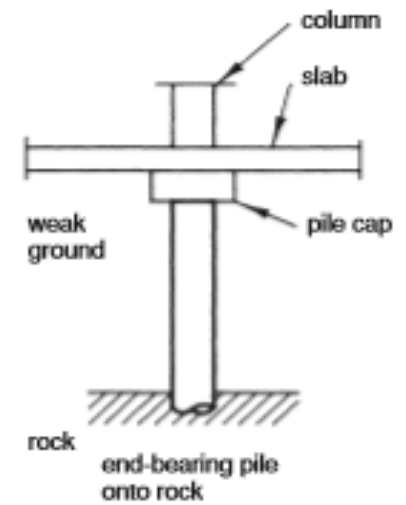
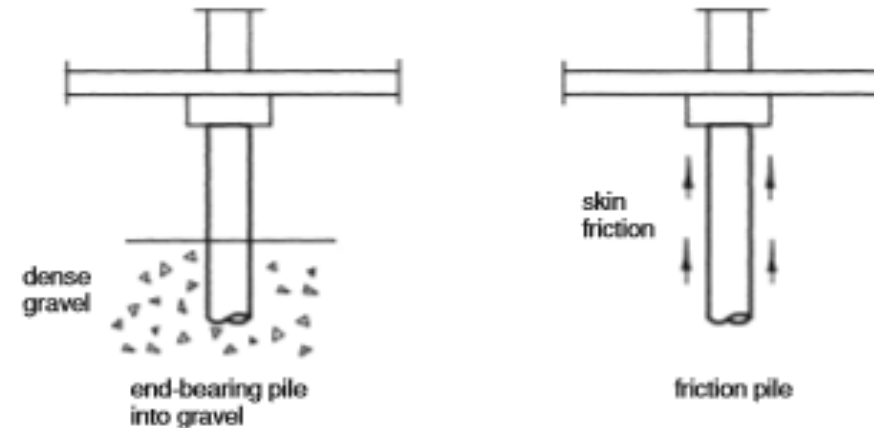


Fig. 1.8 Piled foundations.



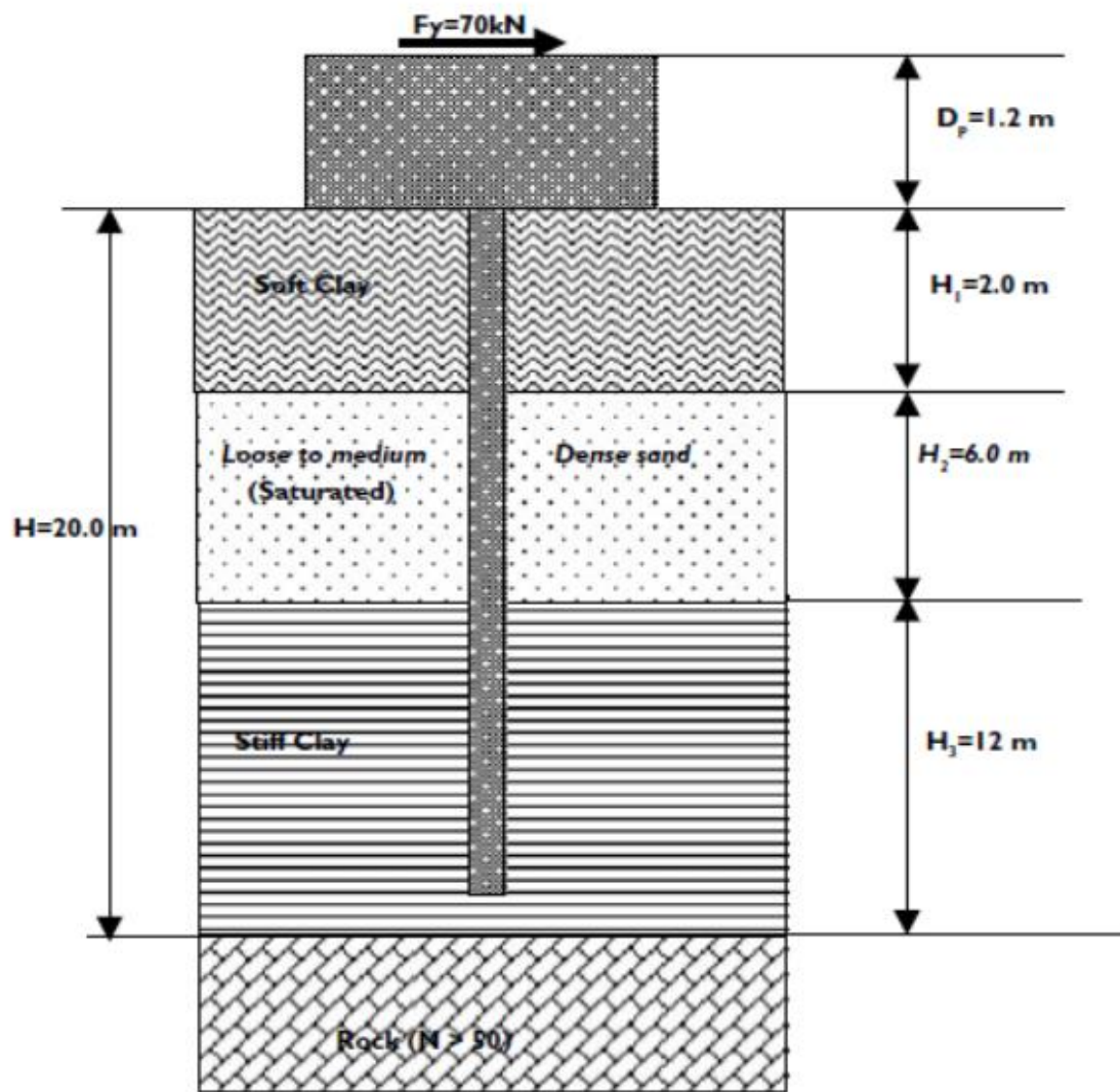


Figure 2.11.7 Pile and pile cap embedded in layered soil.

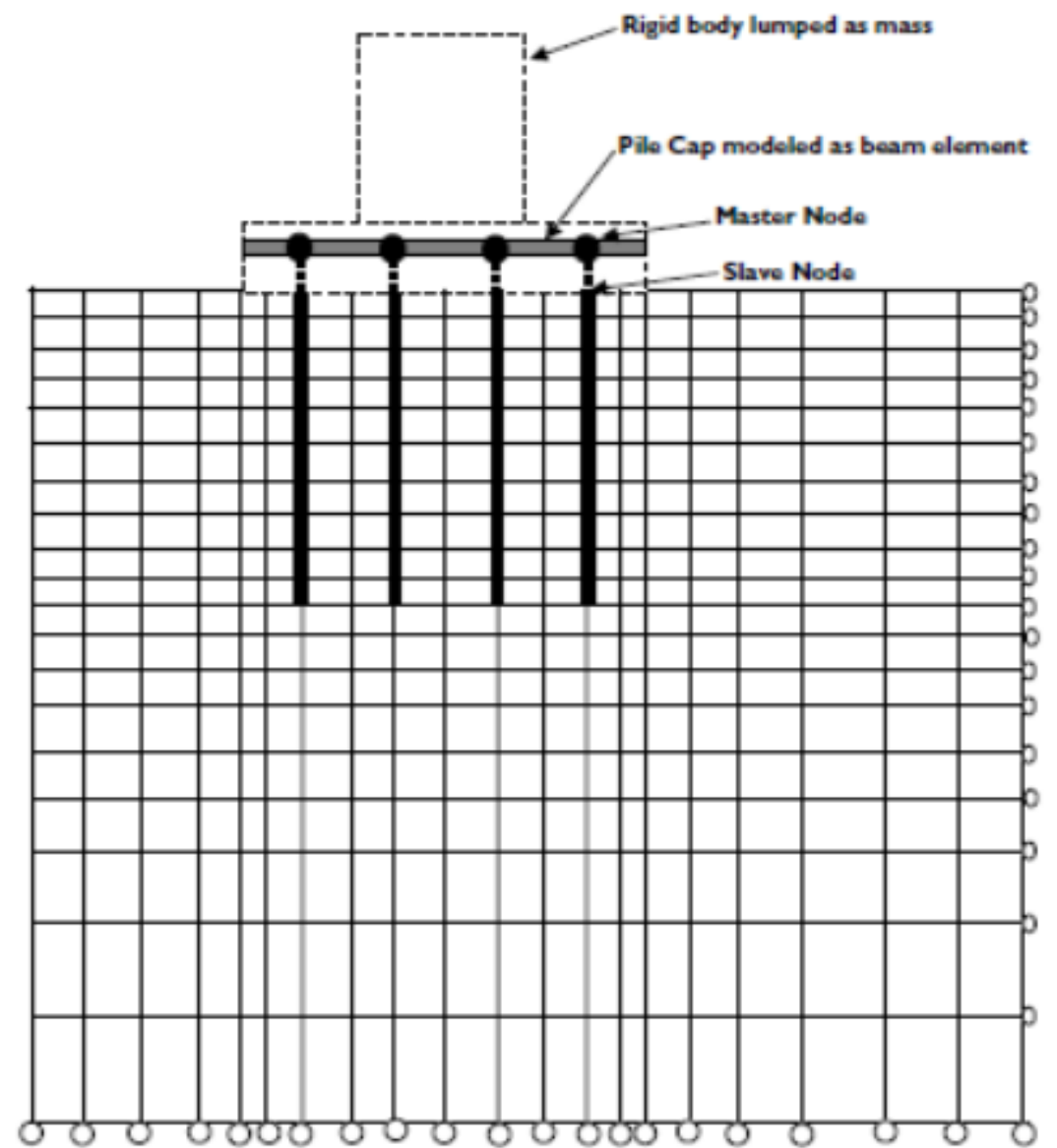


Figure 2.5.2 Finite element model of machine foundation with pile and soil.



TERIMA KASIH



Baju Arie Wibawa, ST, MT.  
Kaprodi Arsitektur  
Fakultas Teknik  
Universitas PGRI Semarang  
E-mail: *bayu.ariwibawa@gmail.com*