

SKRIPSI

**OPTIMASI SISTEM STRUKTUR PERIMETER HIGHRISE
BUILDING UNTUK FLEKSIBILITAS OPEN PLAN**

Disusun dan diajukan oleh :

**APRIANTO YUNUS SERU
D51116519**



**PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

“Optimasi Sistem Struktur Perimeter Highrise Building Untuk Fleksibilitas Open Plan”

Disusun dan diajukan oleh

Aprianto Yunus Scru
D51116519

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 31 Mei 2023

Menyetujui

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Pratiwi Mushar, ST.,MT
NIP. 19860119 201404 2 001

Mengetahui



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Aprianto Yunus Seru
NIM : D51116519
Program Studi : Arsitektur
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Optimasi Sistem Struktur Perimeter untuk Fleksibilitas Open Plan”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 26 Maret 2023

Yang Menyatakan



Aprianto Yunus Seru

ABSTRAK

APRIANTO YUNUS SERU. (*Optimasi Sistem Struktur Perimeter Highrise Building untuk Fleksibilitas Open Plan*) dibimbing oleh Hartawan dan Pratiwi Mushar

Kepadatan penduduk yang tinggi di Indonesia, khususnya di kota Makassar, telah menyebabkan kelangkaan lahan dan harga lahan yang semakin mahal. Pembangunan bangunan vertikal menjadi salah satu solusi, tetapi memiliki kekurangan dalam mendesain open plan yang luas dan fleksibel. Perencanaan open plan dapat terjadi dengan sistem struktur yang tepat dan efektif, terutama pada area perimeter, untuk memungkinkan distribusi beban bangunan ke seluruh eksterior bangunan. Oleh karena itu, pemilihan sistem struktur menjadi hal penting dalam perencanaan bangunan vertikal yang tinggi dan mempengaruhi desain ruang dan fasad bangunan secara keseluruhan.

Perancangan bangunan tinggi yang menggunakan struktur perimeter eksoskeleton dengan metode pendekatan parametrik bertujuan untuk menciptakan sebuah acuan perancangan yang mampu mewadahi open plan apartemen yang luas dan fleksibel. Sistem struktur perimeter eksoskeleton dipilih untuk mendukung kebutuhan struktural dalam memfasilitasi open plan apartemen, terutama pada area perimeter. Tujuan perancangan ini memberikan panduan yang jelas bagi perancang dalam memulai proses perancangan bangunan tinggi yang modern dan dapat diaplikasikan pada bangunan apartemen masa kini.

Metode eksperimen digunakan untuk mengeksplorasi bentuk dan model sistem struktur perimeter eksoskeleton dalam perancangan highrise building menggunakan aplikasi grasshopper. Melalui pemodelan desain parametrik, variabel kontrol diatur untuk mempengaruhi variabel terikat dalam mencapai hasil yang diinginkan. Hasil eksperimen membantu dalam menemukan bentuk dan model sistem struktur perimeter eksoskeleton yang optimal, termasuk dalam mencapai open plan pada apartemen di bangunan tinggi. Penggunaan aplikasi grasshopper memungkinkan perancang untuk mengevaluasi variasi desain dan mendapatkan solusi yang efisien dan efektif dalam mencapai tujuan perancangan.

Sistem struktur perimeter eksoskeleton pada bangunan tinggi memungkinkan penggunaan *open plan* dan fleksibilitas tata letak ruangan tanpa kolom di area tengah bangunan. Hal ini menjadi solusi untuk perancangan bangunan tinggi yang membutuhkan ruang interior terbuka tetapi berdampak pada area perimeter yang selalu berubah. Desain parametrik membuat bentuk menjadi unik dan memudahkan perencana dalam mendesain kolom dan struktur yang dapat berintegrasi dengan aplikasi pembebanan.

Kata Kunci : Apartemen, Parametrik, Eksoskeleton

ABSTRACT

APRIANTO YUNUS SERU. (*Optimization of the Highrise Building Perimeter Structure System for Open Plan Flexibility*) supervised by Hartawan and Pratiwi Mushar

"The high population density in Indonesia, especially in the city of Makassar, has caused a scarcity of land and an increase in land prices. The development of vertical buildings has become one of the solutions, but it has limitations in designing spacious and flexible open plan layouts. Open plan design can be achieved with a proper and effective structural system, especially in the perimeter area, to allow the distribution of building loads to the entire exterior of the building. Therefore, the selection of the structural system is crucial in the planning of high-rise buildings as it influences the overall design of the space and facade.

The design of tall buildings that use a perimeter exoskeleton structure with a parametric approach aims to create a design reference that can accommodate spacious and flexible open plan apartments. The perimeter exoskeleton structural system is chosen to support the structural needs of facilitating open plan apartments, especially in the perimeter area. The goal of this design is to provide clear guidance for designers in starting the process of designing modern high-rise buildings that can be applied to contemporary apartment buildings.

The experimental method is used to explore the shape and model of the perimeter exoskeleton structural system in designing high-rise buildings using the Grasshopper application. Through parametric design modeling, control variables are set to influence dependent variables in achieving the desired results. The results of the experiment help in finding the optimal shape and model of the perimeter exoskeleton structural system, including achieving open plan apartments in high-rise buildings. The use of the Grasshopper application allows designers to evaluate design variations and obtain efficient and effective solutions in achieving the design objectives."

The perimeter exoskeleton structural system in tall buildings allows for the use of open plans and flexibility in spatial layouts without columns in the central area. This serves as a solution for the design of tall buildings that require open interior spaces but have a changing perimeter area. Parametric design creates unique shapes and facilitates designers in designing columns and structures that can integrate with load analysis applications.

Keywords: Apartment, Parametric, Exoskeleton

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
KATA PENGANTAR	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Perancangan	2
1.4 Manfaat Perancangan	2
1.5 Batasan Masalah dan Lingkup Pembahasan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Judul	4
2.2 Pendekatan Fleksibilitas Open Plan	5
2.3 Apartemen	6
2.4 Klasifikasi Apartemen	7
2.5 Pendekatan Parametrik Desain	11
2.6 Jenis Struktur High-Rise Building.....	14
BAB III METODE PERANCANGAN.....	28
3.1 Waktu dan Lokasi Perancangan	28
3.2 Variabel Perancangan.....	32
3.3 Instrument Perancangan.....	33
3.4 Teknik Pengumpulan Data	34
3.5 Teknik Analisis Data	34
3.6 Rumusan Rancangan Parametrik <i>Highrise Building</i>	35
3.7 Analisis Perencanaan.....	42
3.8 Analisis Fleksibilitas Open Plan.....	52
3.9 Analisis Struktur Eksoskeleton.....	65
3.10 Analisis Parametrik Desain	73
3.11 Analisis Beban.....	75
3.12 Analisis Utilitas	80
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	87
4.1 Ringkasan Proyek	87
4.2 Konsep Dasar Perancangan	93
4.3 Parametrik Desain Terhadap Struktur	104
4.4 Eksoskeleton Terhadap <i>Open Plan</i>	106
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	107
5.1 Kesimpulan.....	107
5.2 Saran	108
DAFTAR PUSTAKA	109
LAMPIRAN	110

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Luas daerah menurut kecamatan di Kota Makassar tahun 2019.....	29
Tabel 2 Laju pertumbuhan penduduk pertahun di Kota Makassar	30
Tabel 3 Jumlah penduduk tahun 2020 Kota Makassar	31
Tabel 4 Analisa calon pengguna apartemen.....	45
Tabel 5 Analisa kegiatan pengguna apartemen.....	46
Tabel 6 Analisa kegiatan pengelola apartemen.....	47
Tabel 7 Tipe hunian 2-3 orang	49
Tabel 8 Tipe hunian 3-5 orang	49
Tabel 9 Tipe hunian 5-8 orang	50
Tabel 10 Fasilitas pengelola.....	50
Tabel 11 Fasilitas publik	51
Tabel 12 Tipologi Layout.....	64
Tabel 13 Penilaian Struktur Interior.....	71
Tabel 14 Penilaian struktur eksterior	72
Tabel 15 Berat sendiri material konstruksi	75
Tabel 16 Berat sendiri komponen gedung	76
Tabel 17 Beban hidup pada lantai gedung	76
Tabel 18 Koefisien reduksi beban hidup.....	77
Tabel 19 Koefisien reduksi beban hidup dan jumlah lantai.....	77
Tabel 20 Koefisien angin	78
Tabel 21 Koefisien beban angin terhadap dinding.....	78
Tabel 22 Kebutuhan air bersih	80
Tabel 23 Kapasitas Pengguna	87
Tabel 24 Luas Apartemen	87
Tabel 25 Luas Tiap Lantai	88
Tabel 26 Jumlah Unit Apartemen	90
Tabel 27 : Volume Struktur Tower	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Potensi jumlah lantai berdasarkan struktur interior.....	15
Gambar 2 Jenis rangka kaku	16
Gambar 3 Jenis rangka penyangga atau braced frames	16
Gambar 4 Interaksi beban lateral pada shear wall	17
Gambar 5 Interaksi beban lateral pada struktur outrigger.....	18
Gambar 6 Tabel struktur interior.....	19
Gambar 7 Potensi jumlah lantai berdasarkan struktur eksterior	20
Gambar 8 Apartemen DeWitt Chestnut di Chicago.....	20
Gambar 9 <i>Shear lag</i>	21
Gambar 10 John Hancock Center	22
Gambar 11 Bundle tube Sears Tower, Chicago	22
Gambar 12 Denah One Shell Plaza, Texas	23
Gambar 13 St.Mary Axe dalam tahap pembangunan	24
Gambar 14 Bank of China Tower	25
Gambar 15 Morpheus hotel.....	26
Gambar 16 Tabel struktur eksterior	27
Gambar 17 : Peta administrasi Kota Makassar	28
Gambar 18 Peta Kecamatan Panakkukang, Makassar Sulawesi Selatan.....	31
Gambar 19 Parameter Layout Dasar	35
Gambar 20 Parameter Rotasi	36
Gambar 21 Parameter Jumlah Lantai	36
Gambar 22 Parameter Skala.....	37
Gambar 23 Parameter Titik Kolom.....	39
Gambar 24 Parameter Reform	39
Gambar 25 Parameter Titik Ke Garis.....	40
Gambar 26 Parameter Penebalan Plat Lantai.....	41
Gambar 27 Parameter Penebalan Garis Kolom	41
Gambar 28 Lokasi Site	42
Gambar 29 Site <i>Tapak</i>	43
Gambar 30 One Thousand Museum	52
Gambar 31 Denah Tipe Half floor – Duplex pada One Thousand Museum	53
Gambar 32 : Denah Tipikal Lantai 2 Half Floor – Duplex	54
Gambar 33 Denah Tipikal Half Floor - Simplex	55
Gambar 34 Denah Tipikal Penthouse – Full floor	57
Gambar 35 111 West 57th Tower	58
Gambar 36 Denah Layout 111 West 57th Street tipe A.....	58
Gambar 37 Denah Layout 111 West 57th Street tipe B.....	59
Gambar 38 Central Park Tower	60
Gambar 39 Denah Layout Central Park Tower.....	61
Gambar 40 : <i>432 Park Avenue</i>	62
Gambar 41 Denah Layout 432 Park Avenue	63
Gambar 42 Bentuk struktur Generali Tower.....	65
Gambar 43 Arah gaya pada struktur perimeter	66
Gambar 44 One Thousand Museum	67
Gambar 45 Perbedaan plat lantai	68

Gambar 46 Struktur One Thousand Museum	68
Gambar 47 Zonasi One Thousand Museum.....	69
Gambar 48 Gambaran <i>Bukaan Fasad</i>	70
Gambar 49 Tipikal Joints	70
Gambar 50 Denah Generali Tower	73
Gambar 51 Defenisi parametrik pada Generali Tower	74
Gambar 52 Rhinoceros (3D model) & Grasshopper (scripting)	74
Gambar 53 <i>Up feed system</i>	81
Gambar 54 <i>Down feed system</i>	81
Gambar 55 Total Luas Apartemen.....	87
Gambar 56 (Kiri) Zonasi berdasarkan lift,.....	89
Gambar 57 Tipikal Layout Apartemen	90
Gambar 58 Core	91
Gambar 59 Struktur Eksoskeleton	92
Gambar 60 : Struktur Horizontal.....	92
Gambar 61 Bentuk Dasar Persegi	94
Gambar 62 Plat Lantai Dasar	94
Gambar 63 Skala Bangunan.....	95
Gambar 64 Rotasi Bangunan	95
Gambar 65 Pembuatan Kolom Eksoskeleton.....	96
Gambar 66 Kolom Support Eksoskeleton.....	96
Gambar 67 Skema Air Bersih	97
Gambar 68 Skema air kotor	97
Gambar 69 Konsep Pondasi	98
Gambar 70 Core	98
Gambar 71 Kolom Eksoskeleton	99
Gambar 72 Struktur Kolom Eksoskeleton	100
Gambar 73 Balok Tower dan basement	100
Gambar 74 Plat Lantai	101
Gambar 75 Core Tower.....	101
Gambar 76 Tahap 1 kontruksi.....	101
Gambar 77 Tahap 2 konstruksi	102
Gambar 78 Tahap 3 konstruksi	102
Gambar 79 Tahap 4 konstruksi	102
Gambar 80 Tahap 5 konstruksi	103
Gambar 81 Tahap 6 konstruksi	103
Gambar 82 Tahap 7 konstruksi	103
Gambar 83 Tahap 8 konstruksi	103
Gambar 84 Tahap 9 konstruksi	104
Gambar 85 Perintah Grasshopper	104
Gambar 86 Nodes kolom eksoskeleton.....	104
Gambar 87 Hasil eksport grasshopper ke etabs	105
Gambar 88 Nodes balok tower.....	105
Gambar 89 Area <i>open plan</i> apartemen.....	106

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Waramatallahi Wabarakatuh dan salam sejahtera bagi kita semua yang saya ucapkan kepada semua pihak yang membaca tulisan ini. Segala puji dan syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan limpahan rahmat-Nyalah maka proposal tugas akhir ini dapat terselesaikan. Berikut penulis persembahkan sebuah proposal tugas akhir yang berjudul “Optimasi Sistem Struktur Perimeter Highrise Building untuk Fleksibilitas Open Floor” yang diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dalam memahami struktur highrise apartemen untuk mendapatkan fleksibilitas open floor. Melalui kata pengantar ini, penulis lebih dahulu meminta maaf dan memohon pemakluman apabila pada isi proposal terdapat kekurangan dan kesalahan dalam penulisan yang penulis buat. Dengan ini penulis mempersembahkan penulisan proposal tugas akhir dengan penuh rasa terima kasih dan tulus serta memanjatkan doa semoga Tuhan memberkahi proposal ini sehingga dapat memberi manfaat bagi kita semua.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kepadatan penduduk di Indonesia kian hari makin terus bertambah, khususnya di kota Makassar pada tahun 2018 mencapai angka 8.580 jiwa/km² dengan rata-rata jumlah penduduk per rumah tangga 4 orang. Salah satu kecamatan yang memiliki penduduk terpadat yaitu kecamatan Makassar dengan jumlah kepadatan terbesar 33.854 jiwa/km². Hal ini menyebabkan langkanya lahan, harga lahan makin bertambah dan daerah resapan menjadi berkurang.

Kelangkaan lahan menyebabkan harga lahan menjadi mahal terlebih di wilayah kota. Terbatasnya lahan kota memaksa pembangunan untuk membangun secara vertikal baik guna hunian tempat tinggal ataupun perkantoran. Apartemen menjadi bangunan vertikal yang dapat menampung banyak jiwa dalam lahan yang lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan lahan perumahan. Dengan membangun secara vertikal pun konflik ruang yang terjadi pada kota dapat diminimalisir dan mengendalikan kepadatan penduduk.

Salah satu kekurangan bangunan vertikal yang dapat ditemui yaitu kebebasan dalam membuat open plan. Disebabkan oleh kebutuhan struktur yang memaksa perancang untuk menempatkan kolom sesuai grid struktur yang diterapkan. Hal ini mengurangi fleksibilitas dalam mendesain denah yang dapat berubah sewaktu-waktu. Open plan sendiri merupakan desain interior yang memungkinkan ruang terbuka yang luas dan minim sekat dinding untuk memaksimalkan penggunaan ruang. Open plan menjadi populer karena memberikan kesan luas dan terbuka serta memungkinkan sirkulasi cahaya yang lebih baik.

Perencanaan open plan dapat terjadi jika didukung oleh sistem struktur yang dimaksimalkan pada area perimeter dan memungkinkan beban bangunan didistribusikan ke seluruh eksterior bangunan. Sistem struktur perimeter ini mendukung desain bangunan yang lebih tinggi dan memberikan lebih banyak ruang untuk digunakan. Untuk mendapatkan bangunan vertikal yang tinggi dibutuhkan sistem struktur yang saling terhubung antara struktur internal, struktur horizontal dan struktur perimeter guna mendapatkan kekakuan yang baik dalam melawan gaya lateral yang disebabkan oleh angin pada ketinggian tertentu. Pemilihan sistem struktur menjadi hal penting dalam perencanaan bangunan tinggi mengingat sistem struktur berdampak pada ruang dan fasad bangunan.

1.2 Rumusan Masalah

1.2.1 Permasalahan Non-Struktural

1. Bagaimana mengatasi masalah kepadatan penduduk yang berdampak pada kelangkaan lahan?
2. Bagaimana menciptakan open plan dalam bangunan high rise?

1.2.2 Permasalahan Struktural

1. Bagaimana metode pendekatan sistem struktur perimeter yang akan digunakan dalam mendesain ?
2. Bagaimana mengoptimalkan sistem struktur perimeter pada bangunan highrise guna mencapai open plan?

1.3 Tujuan Perancangan

Tujuan yang ingin dicapai dalam perancangan ini adalah membuat acuan perancangan highrise building menggunakan struktur perimeter eksoskeleton dengan metode pendekatan parametrik untuk mewadahi open plan apartemen.

1.4 Manfaat Perancangan

Memberikan ide dan gagasan bagaimana highrise building dapat dirancang serta pemahaman terkait metode parametrik yang diaplikasikan pada bangunan vertikal serta memahami sistem struktur perimeter khususnya struktur eksoskeleton.

1.5 Batasan Masalah dan Lingkup Pembahasan

1.5.1 Batasan masalah

Pembahasan dibatasi dan ditinjau berdasarkan disiplin ilmu arsitektur yang melingkupi konsep dasar perencanaan dan perancangan secara menyeluruh dan ditunjang berdasarkan data-data yang terdapat di lapangan maupun tidak langsung di lapangan. Daya dukung tanah dan damper dinilai stabil, parametrik sebagai metode *form finding* baik arsitektur beserta struktur.

1.5.2 Lingkup Pembahasan

Pembahasan pada penulisan ditekankan pada perencanaan dan perancangan highrise building berupa apartemen menggunakan sistem struktur eksoskeleton dengan metode pendekatan parametrik desain untuk mencapai open plan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Judul

2.1.1 Optimasi :

1. Proses menemukan nilai atau kondisi yang paling efektif atau menguntungkan (Lockhart & Johnson, 1996)
2. Tindakan membuat sesuatu sebaik mungkin. (Cambridge University Press, 2005)

2.1.2 Sistem

1. Sekumpulan elemen yang saling terkait atau terpadu yang dimaksudkan untuk mencapai suatu tujuan. (Abdul Kadir 2014:61)
2. Sekumpulan benda atau perangkat yang terhubung yang beroperasi bersama. (Cambridge University Press, 2005)

2.1.3 Struktur

1. Perangkat untuk menyalurkan beban yang dihasilkan dari penggunaan atau kehadiran bangunan dalam kaitannya dengan tanah. (Schodek & Bechthold, 2008)
2. Cara di mana bagian-bagian dari suatu sistem atau objek diatur. (Cambridge University Press, 2005)

2.1.4 Perimeter

1. Tepi luar suatu bidang tanah atau batas sekelilingnya. (Cambridge University Press, 2005)

2.1.5 Highrise

1. A tall modern building with many floor. (Cambridge University Press, 2005)

2.1.6 Building

1. Struktur dengan dinding dan atap, seperti rumah atau pabrik. (Cambridge University Press, 2005)

2.1.7 Fleksibilitas

1. Fleksibilitas arsitektur merupakan perancangan bangunan atau ruang yang mampu merespon dan menyesuaikan kebutuhan. (Kronenburg 1997)

2. Kemampuan untuk berubah atau diubah dengan mudah. (Cambridge University Press, 2005)

2.1.8 Open plan

1. Ruang atau bangunan terbuka memiliki sedikit atau tidak ada dinding di dalamnya, sehingga tidak dibagi menjadi ruangan yang lebih kecil. (Cambridge University Press, 2005)
2. Denah lantai yang tidak memiliki ruang tertutup sepenuhnya atau kamar yang berbeda.. (Ching, 1995, hlm. 216)

2.2 Pendekatan Fleksibilitas Open Plan

Fleksibel adalah lentur atau luwes, mudah dan cepat menyesuaikan diri (KBBI). Sedangkan fleksibilitas adalah penyesuaian diri secara mudah dan cepat. Prinsip open plan mengharuskan setiap ruangan dalam sebuah rumah memiliki satu kesatuan yang tidak tumpang tindih dengan ruangan lainnya, sehingga rumah dengan prinsip ini memiliki ruang yang tidak sepenuhnya tertutup atau terpisah (Ching, 1995, hlm. 216). Konsep ini memiliki kelebihan pada aspek estetika seperti aliran udara, pencahayaan dan sirkulasi yang bebas karena tidak ada dinding yang menghalangi. Namun, prinsip open plan hanya cocok untuk zona publik dan zona-zona privat masih memerlukan dinding sebagai pembatas agar kenyamanan pengguna dalam rana pribadi masih terpenuhi. Menurut Trisiana (Trisiana dkk., 2018) , open plan memungkinkan beberapa aktivitas digabungkan seperti dapur-ruang makan atau ruuang makan-ruang keluarga, bahkan ketiga ruangan tersebut bisa digabungkan sekaligus untuk memberikan kesan visual yang luas. Konsep open plan populer di era sekarang karena sedikitnya lahan yang tersedia, terutama bagi keluarga yang memiliki anak kecil. Konsep space within space, yaitu menggunakan partisi kaca untuk memisahkan zona privat tetapi tetap mempertahankan unsur open plan, juga bisa diterapkan dengan baik. Menurut Peter Zumthor (Pop, 2015, hlm. 375), komposisi ruangan terbagi menjadi dua dasar dalam arsitektur: yang pertama adalah ruangan tertutup dan mengisolasi setiap ruang yang didalamnya, sedangkan yang kedua adalah bangunan arsitektur yang terbuka dan menghubungkan setiap ruang tanpa memiliki batasan.

Beberapa keuntungan dari konsep open plan yakni:

1. Aliran udara yang lebih baik karena tidak ada dinding yang menghalangi sirkulasi udara.
2. Cahaya lebih banyak masuk ke dalam ruangan hingga posisi terdalam.
3. Tampilan visual yang lebih luas dan terbuka.

4. Tercapai multi fungsi ruang.

Konsep open plan berkaitan dengan konsep *space within space* dimana open plan mengacu pada desain ruang yang terbuka dan menggabungkan beberapa fungsi ruangan menjadi satu, sedangkan *space within space* mengacu pada cara-cara untuk menciptakan ruang yang lebih tertutup dalam ruangan yang terbuka. Konsep *space within space* digunakan untuk memisahkan zona publik dan zona privat dalam open plan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan partisi kaca atau elemen-elemen furnitur seperti rak buku yang berfungsi sebagai pembatas tanpa menghalangi aliran cahaya dan sirkulasi udara. Tetapi dibalik itu, konsep open plan memiliki kekurangan seperti kurangnya privasi, akustik ruang, sulit mengatur pencahayaan, perlu analisis lebih mendalam terkait pemilihan dan penempatan furniture.

2.3 Apartemen

2.3.1 Pengertian Apartemen

Apartemen merupakan sebuah hunian vertikal dimana penghuni harus membayar sewa bangunan atau biaya operasi serta perawatan bangunan dalam jangka waktu tertentu. Pada umumnya apartemen terletak di tengah kota karena terbatasnya lahan sehingga akan sangat efektif dan efisien dalam penggunaan lahan. Dalam buku *Apartments : Their Design and Development 1967* “*the apartment is a background for the series of emotional experience. It should be a relaxing haven from the tensions of earning a living, from noise and worry, and strain. It should provide beauty, convenience, security and privacy for the family living in it.*” (Paul S, 1967) Memberi pengertian bahwa apartemen bukan hanya sebuah hunian vertikal dimana keluarga dapat tinggal dengan aman, tetapi apartemen juga merupakan dasar dari kumpulan emosi pada tiap penghuni. Banyak aspek yang perlu di perhitungkan dan diharapkan bebas dari kebisingan, kecemasan, tekanan dan memberikan keindahan, kenyamanan, dan privasi bagi penghuni. Fasilitas juga menjadi faktor utama dalam memilih apartemen antara lain kebutuhan air dan listrik yang harus selalu ada, pembuangan sampah dan limbah yang terawat, sarana dan prasarana, tempat parkir, transportasi dari atau ke apartemen dan lainnya.

2.3.2 Fungsi Apartemen

Pada umumnya fungsi apartemen merupakan hunian bagi banyak orang dalam bentuk bangunan vertikal. Fungsi apartemen sebagai berikut (De Chiara J & Callender J. H, 1980)

1. Fungsi utama, sebagai permukiman vertikal dengan kegiatan yang relatif sama dengan permukiman pada umumnya. Penekanannya adalah pada aktifitas rutin

seperti tidur, makan, menerima tamu, interaksi sosial, melakukan hobi, bekerja dan lain-lain.

2. Fungsi sekunder, adalah fungsi yang menambah kenyamanan penghuni seperti:
 - a. Layanan olah raga: fitness center, aerobic, kolam renang dan lain-lain.
 - b. Layanan kesehatan: poliklinik, apotek dan lain-lain
 - c. Layanan komersial: minimarket, restoran, salon dan lain-lain.
 - d. Layanan anak: tempat penitipan anak, area bermain dan lain-lain.
3. Fungsi tersier, adalah fungsi pelengkap terkait kegiatan pengelolaan seperti administrasi, pemasaran, pemeliharaan kebersihan, pemeliharaan bangunan dan keamanan.

2.4 Klasifikasi Apartemen

1. Klasifikasi apartemen berdasarkan tipe pengelolaannya terdapat tiga jenis apartemen (Akmal, 2007), yaitu:
 - a. Serviced Apartment
Apartemen yang dikelola secara menyeluruh oleh manajemen tertentu. Biasanya menyerupai cara pengelolaan sebuah hotel, yaitu penghuni mendapatkan pelayanan menyerupai hotel bintang lima, misalnya unit berperabotan lengkap, house keeping, layanan kamar, laundry, business center.
 - b. Apartemen milik sendiri
Apartemen yang dijual dan dapat dibeli oleh pihak individu. Mirip dengan apartemen sewa, apartemen ini juga tetap memiliki pengelola yang mengurus fasilitas umum penghuninya.
 - c. Apartemen sewa
Apartemen yang disewa oleh individu tanpa pelayanan khusus. Meskipun demikian, tetap ada manajemen apartemen yang mengatur segala sesuatu berdasarkan kebutuhan bersama seperti sampah, pemeliharaan bangunan, lift, koridor, dan fasilitas umum lainnya.
2. Berdasarkan kategori jenis dan besar bangunan (Akmal, 2007), yaitu:
 - a. High-Rise Apartment
Bangunan apartemen yang terdiri lebih dari sepuluh lantai. Dilengkapi area parkir bawah tanah, sistem keamanan dan servis penuh. Struktur apartemen lebih kompleks sehingga desain unit apartemen cenderung standar. Jenis ini banyak dibangun di pusat kota.

- b. Mid-Rise Apartment
Bangunan apartemen yang terdiri dari tujuh sampai dengan sepuluh lantai. Jenis apartemen ini lebih sering dibangun di kota satelit.
 - c. Low-Rise Apartment
Apartemen dengan ketinggian kurang dari tujuh lantai dan menggunakan tangga sebagai alat transportasi vertikal. Biasanya untuk golongan menengah kebawah.
 - d. Walked-up Apartment
Bangunan apartemen yang terdiri atas tiga sampai dengan enam lantai. Apartemen ini kadang-kadang memiliki lift, tetapi dapat juga tidak menggunakan. Jenis apartemen ini disukai oleh keluarga yang lebih besar (keluarga inti ditambah orang tua). Gedung apartemen ini hanya terdiri atas dua atau tiga unit apartemen.
3. Jenis apartemen berdasarkan tipe unitnya (Akmal, 2007), yaitu:
- a. Studio
Unit apartemen yang hanya memiliki satu ruang. Ruang ini sifatnya multifungsi sebagai ruang duduk, kamar tidur dan dapur yang semula terbuka tanpa partisi. Satu-satunya ruang yang terpisah biasanya hanya kamar mandi. Apartemen tipe studio relatif kecil. Tipe ini sesuai dihuni oleh satu orang atau pasangan tanpa anak. Luas unit ini minimal 20-35 m².
 - b. Apartemen 1,2,3 kamar/apartemen keluarga
Pembagian ruang apartemen ini mirip rumah biasa. Memiliki kamar tidur terpisah serta ruang duduk, ruang makan, dapur yang biasanya terbuka dalam satu ruang atau terpisah. Luas apartemen tipe ini sangat beragam tergantung ruang yang dimiliki serta jumlah kamarnya. Luas minimal untuk satu kamar tidur adalah 25 m², 2 kamar tidur 30 m², 3 kamar tidur 85 m², dan 4 kamar tidur 140 m².
 - c. Loft
Loft adalah bangunan bekas gudang atau pabrik yang kemudian dialihfungsikan sebagai apartemen. caranya adalah dengan menyekat-nyekat bangunan besar ini menjadi beberapa unit hunian. keunikan loft apartment adalah biasanya memiliki ruang yang tinggi, mezzanine atau dua lantai dalam satu unit. Bentuk bangunannya cenderung berpenampilan industrial. Tetapi , beberapa pengembang kini menggunakan istilah loft untuk apartemen dengan mezzanine atau dua lantai dalam bangunan yang baru.

- d. Penthouse
Unit hunian ini berada di lantai paling atas sebuah bangunan apartemen. Luasnya lebih besar daripada unit-unit dibawahnya. Bahkan, kadang-kadang satu lantai hanya ada satu atau dua unit saja. Selain lebih mewah, penthouse juga sangat privat karena memiliki lift khusus untuk penghuninya. Luas minimumnya adalah 300 m².

4. Berdasarkan tujuan pembangunan (Akmal, 2007), yaitu:

- a. Komersial
Apartemen yang hanya ditujukan untuk bisnis komersial yang mengejar keuntungan atau profit.
- b. Umum
Apartemen yang ditujukan untuk semua lapisan masyarakat, akan tetapi biasanya hanya dihuni oleh lapisan masyarakat kalangan menengah kebawah.
- c. Khusus
Apartemen yang hanya dipakai oleh kalangan tertentu saja, dan biasanya dimiliki suatu perusahaan atau instansi yang dipergunakan oleh para pegawai maupun tamu yang berhubungan dengan pekerjaan.

5. Berdasarkan golongan sosial(Savitri dkk., 2007), yaitu:

- a. Apartemen sederhana
- b. Apartemen menengah
- c. Apartemen mewah
- d. Apartemen super mewah

Yang membedakan keempat tipe tersebut sebelumnya adalah fasilitas yang terdapat dalam apartemen tersebut. Semakin lengkap fasilitas dalam sebuah apartemen, maka semakin mewah apartemen tersebut. Pemilihan bahan bangunan dan sistem apartemen juga berpengaruh. Semakin baik kualitas material dan semakin banyak pelayanannya, semakin mewah apartemen tersebut.

6. Berdasarkan penghuni(Savitri dkk., 2007), yaitu:

- a. Apartemen keluarga
Apartemen ini dihuni oleh keluarga yang terdiri dari ayah, ibu, dan anaknya. Bahkan tidak jarang orang tua dari ayah atau ibu tinggal bersama. Terdiri dari 2 hingga 4 kamar tidur, belum termasuk kamar tidur pembantu yang tidak selalu ada. Biasanya dilengkapi dengan balkon untuk interaksi dengan dunia luar.
- b. Apartemen lajang

Apartemen ini dihuni oleh pria atau wanita yang belum menikah dan biasanya tinggal bersama teman mereka. Mereka menggunakan apartemen sebagai tempat tinggal, bekerja, dan beraktifitas lain diluar jam kerja.

c. Apartemen pebisnis/ekspatrial

Apartemen ini merupakan suatu hal yang baru di Indonesia, bahkan bisa dikatakan tidak ada meskipun sudah menjadi sebuah kebutuhan. Di luar negeri seperti Amerika, China, Jepang, dan lain-lain telah banyak dijumpai apartemen untuk hunian manusia usia lanjut. Desain apartemen disesuaikan dengan kondisi fisik para manula dan mengakomodasi manula dengan alat bantu jalan.

7. Klasifikasi apartemen berdasarkan kepemilikan (De Chiara J & Callender J. H, 1980), yaitu:

a. Apartemen sewa

Pemilik membangun dan membiayai operasi serta perawatan bangunan, penghuni membayar uang sewa selama jangka waktu tertentu.

b. Apartemen kondominium

Penghuni membeli dan mengelola unit yang menjadi haknya, tidak ada Batasan bagi penghuni untuk menjual kembali atau menyewakan unit miliknya. Penghuni biasanya membayar uang pengelolaan ruang bersama yang dikelola oleh pemilik gedung.

c. Apartemen koperasi

Apartemen ini dimiliki oleh koperasi, penghuni memiliki saham didalamnya sesuai dengan unit yang ditempatinya. Bila penghuni pindah, ia dapat menjual sahamnya kepada koperasi atau calon penghuni baru dengan persetujuan koperasi. Biaya operasional dan pemeliharaan ditanggung oleh koperasi.

8. Klasifikasi apartemen berdasarkan pelayanannya (De Chiara J & Callender J. H, 1980) yaitu:

a. Apartemen full servis

Apartemen yang menyediakan layanan standar hotel bagi penghuninya seperti laundry, catering, kebersihan dan sebagainya.

b. Apartemen fully furnished

Apartemen yang menyediakan furniture atau perabotan dalam unit apartemen.

c. Apartemen fully furnished and fully service

Gabungan kedua jenis apartemen yang tertulis sebelumnya.

d. Apartemen building only

Apartemen yang tidak menyediakan layanan ruang atau furniture.

9. Klasifikasi apartemen berdasarkan jumlah lantai per unit (De Chiara J & Callender J. H, 1980), yaitu:
 - a. Simpleks
Apartemen yang seluruh ruangnya terdapat dalam satu lantai.
 - b. Dupleks
Apartemen yang ruangnya terdapat dalam dua lantai.
 - c. Tripleks
Apartemen yang ruangnya terdapat dalam tiga lantai.

2.5 Pendekatan Parametrik Desain

2.5.1 Sejarah Desain Parametrik

Desain parametrik tidak lagi asing bagi arsitek. Dari piramida kuno hingga bangunan kontemporer, bangunan yang telah didesain dan dibangun sehubungan perubahan tekanan, iklim, teknologi, penggunaan, karakter, pengaturan, budaya dan suasana. Komputer tidak menciptakan desain parametrik, maupun mendefinisikan arsitektur atau pun profesi, tetapi sebagai penyedia alat yang dapat memfasilitasi arsitek untuk bisa melakukan desain dan membangun bangunan yang inovatif dengan kondisi kualitatif dan kuantitatif.

Pada saat konferensi yang diadakan di Boston Architectural Center pada 1964, sudah menjadi kejelasan bahwa era elektronik akan memiliki efek besar dalam desain bangunan. Industri penerbangan telah menggunakan komputer untuk menghitung perhitungan kompleks pada permukaan melengkung dan melakukan simulasi jalur terbang hingga membuat para arsitek tertarik. Raphael Roig dari institut UCLA dalam tesis masternya "The Continuous World of Frederick J. Kiesler" mengatakan "Hanya masalah waktu sebelum teknologi komputer dapat mereduksi batasan konstruksi yang melekat pada bentuk yang mirip dengan permukaan berujung ganda Kiesler". Kiesler dan seniman serta arsitek lain termasuk Antonio Gaudi, Erich Mendelsohn, Frei Otto dan Kiyonori Kikutake telah membayangkan dan membuat model struktur kompleks dan membentuk dengan berbagai variasi tingkat keahlian, dan Roig pada 1960-an menyadari teknologi baru komputer dapat membantu desain dan konstruksi mereka.

Namun pada tahun 1980an, terobosan dalam desain parametrik baru berguna bagi arsitek. Kemajuan dalam semi-ilmiah morfologi tumbuhan dan hewan mendukung inovasi yang dapat diaplikasikan dengan kecerdasan komputer untuk praktik tektonik.

Alam telah lama megembangkan sistem struktur kompleks dimana arsitek dan perancang telah menerapkan pada bentuk struktur bangunan dan pola perkotaan. Louis Sullivan, Mies van der Rohe, Lazlo Moholy-Nagy, Sir Patrick Geddes dan yang lain, terpengaruh oleh tulisan morfologi dari Goethe (*Metamorphosis of Plants*, 1790), E.S. Russel (*Form and Function*, 1916) dan R.H. Francé (*Plants as Investors*, 1920). Namun, terlepas dari kemajuan analisis penting D'Arcy Thompson's (*On Growth and Form*, 1917), disamping model matematika untuk membentuk pola biologis dikembangkan oleh Alan Turin pada 1952 dan Aristid Lindenmayer pada 1968, morfologi telah menjadi ilmu sains yang tertidur sepanjang pertengahan abad ke-20. Seperti bentuk aliran Kiesler, telah terbukti sulit untuk mengukur dan menggambar dengan akurasi detail struktur yang berevolusi dan pola fasad organik yang rumit. Tapi dalam penelitian Benoit Mandelbrot pada 1982 (*The Fractal Geometry of Nature*) dan K. J. Falconer 1990 mengembangkan teori fractal, komputer muncul sebagai alat untuk mensimulasikan pembentukan bentuk biologis. karang, bunga karang dan contoh lain kehidupan laut dapat di analisa dan direkonstruksi menggunakan model desain parametrik dalam komputer. menerapkan morfologis serupa dalam arsitektur, perancang pada akhir 1980an sampai pertengahan 1990an mulai menggunakan komputer bersama perangkat lunak yang dikembangkan untuk industri penerbangan dan industri gambar bergerak untuk menganimasikan bentuk. (Phillips, 2010)

2.5.2 Defenisi Parametrik Desain

Desain parametrik adalah pendekatan desain berbasis komputer yang merespon bentuk geometris sebagai variabel. Dimensi, sudut dan sifat geometris dapat terus di kembangkan secara *real-time* selama proses desain berlangsung sesuai dengan variabel yang di-*input*. Desain yang dilahirkan terbentuk dari hubungan antara elemen komposisi atau disebut sebagai variabel. Variabel inilah yang menjadi parameter dalam desain dan dapat diubah seiring proses desain berlangsung. Cara ini memiliki keuntungan seperti mengolah desain kompleks dan memiliki tingkat detail yang tinggi yang dapat berkembang beradaptasi sesuai dengan perubahan variabel yang telah dibuat ataupun menambahkan variabel baru. Opsi dan variasi juga dapat diciptakan melalui desain yang sudah ada dan menutup kemungkinan gagalnya desain sebelumnya sehingga waktu mendesain lebih efisien. Model parametrik dapat dipahami sebagai geno-type yaitu gambaran bentuk secara umum untuk menghasilkan banyak versi atau feno-type yaitu desain yang berbeda dan berdiri sendiri.

Pada parametrik desain terdapat 3 karakteristik utama dalam berpikir (Oxman & Gu, 2015) yaitu:

1. Abstrak
Berpikir secara abstrak adalah dasar yang memungkinkan desain parametrik sebagai pendekatan generative untuk menghasilkan alternatif desain secara paralel dan juga memungkinkan model parametrik lain ini untuk digunakan kembali.
2. Matematis
Berpikir secara matematis merujuk pada teorema dan konstruksi yang digunakan untuk mendefinisikan bahasa pemrograman untuk merepresentasikan dan mengembangkan desain.
3. Algoritmik
Berpikir algoritmik berarti terdapat bahasa pemrograman yang menyediakan fungsi-fungsi yang dapat menambah, mengulang, memodifikasi atau menghapus bagian-bagian pada desain parametrik.
Proses desain parametrik terdiri dari 3 (Oxman & Gu, 2015) yaitu
 1. Desainer membuat dan menentukan hubungan secara logis dalam pembuatan model visualisasi 3D
 2. Desainer dapat mengubah dan memodifikasi desain dalam tahap apapun.
 3. Desain alternatif dapat dikembangkan secara paralel.

2.5.3 Jenis Pemodelan Parametrik

Ada 4 jenis garis besar pemodelan parametrik (Janssen & Stouffs, 2015) sebagai berikut:

1. Pemodelan objek
2. Pemodelan asosiatif
3. Pemodelan aliran data
4. Pemodelan procedural

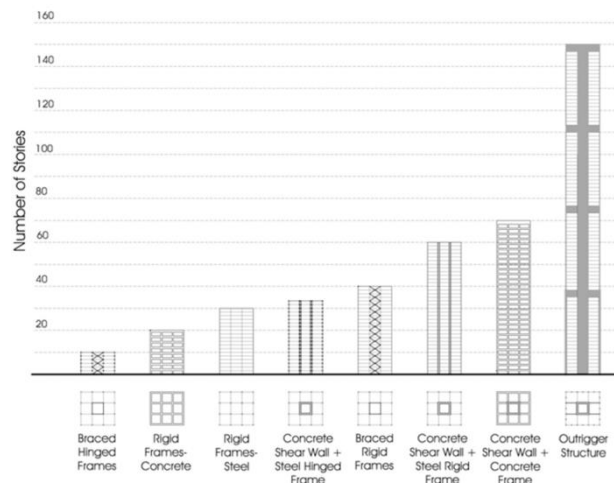
Faktor yang membedakan untuk beberapa metode pemodelan ini adalah bagaimana sistem mendukung iterasi. Pemodelan objek tidak mendukung iterasi dan grafiknya hanya didefinisikan sebagai implisit. Pemodelan asosiatif didefinisikan sebagai pendukung iterasi operasi tunggal, pemodelan aliran data sebagai pendukung iterasi operasi banyak-implisit, dan pemodelan procedural sebagai pendukung iterasi multi-operasi eksplisit. Sistem pemodelan parametrik saat ini mendukung ketiga jenis iterasi hingga berbagai tingkatan. Sistem yang memungkinkan pengguna untuk secara langsung membangun dan memanipulasi grafik adalah yang terkuat. Seperti sistem berbasis grafik yaitu Bentley's Generative Components dan Rhino Grasshopper. Kedua aplikasi ini mendukung iterasi multi operasi-implisit menggunakan daftar bersarang dengan berbagai algoritma pengatur data. Operasi lalu diiterasikan dalam data dalam daftar bersarang dengan berbagai algoritma pengatur data. Sistem berbasis grafik yang juga mendukung iterasi operasi banyak-eksplisit yaitu Sidefx Houdini dan Autodesk Dynamo. Kedua aplikasi ini mendukung iterasi operasi banyak-eksplisit. Houdini mendukung iterasi menggunakan data sink sedangkan Dynamo mendukung iterasi menggunakan pengulangan. Pada rancangan apartemen berkelanjutan dengan sistem parametrik akan menggunakan jenis parametrik sistem grafik. Sistem berbasis adegan dan sistem berbasis fitur memungkinkan pengguna memanipulasi grafik melalui representasi. Tipe ini mendukung iterasi tunggal, tetapi tidak mendukung iterasi operasi banyak. Sistem berbasis adegan umumnya digunakan pada pembuatan animasi dan industri film. Contoh aplikasi yaitu Autodesk Maya dan Autodesk 3DS Max. Sistem berbasis fitur umumnya dikembangkan untuk teknik mesin. Contohnya aplikasi Dassault Solidworks, Dassault Catia dan Autodesk Inventor. Jenis lain yang lebih mendasar dan tidak mendukung iterasi. Contohnya Sketchup 'komponen dinamis'. Komponen dinamis adalah kelompok geometri dengan parameter yang ditentukan. Operasi dapat ditambahkan untuk mengulang bagian dari komponen, untuk menambahkan perilaku kesuatu bagian atau untuk menentukan hubungan spasial antara bagian.

2.6 Jenis Struktur High-Rise Building

Sistem struktur pada bangunan tinggi dibagi atas 2 yaitu struktur interior dan struktur eksterior (Ali & Moon, 2007). Klasifikasi ini didasarkan pada distribusi komponen-komponen sistem gaya beban lateral primer pada bangunan.

Sebuah sistem dikategorikan sebagai struktur interior ketika sebagian besar sistem penahan beban lateral terletak pada interior bangunan. Sedangkan, jika Sebagian besar sistem penahan beban terletak pada keliling bangunan, sistemnya dikategorikan sebagai struktur eksterior.

2.6.1 Struktur Interior

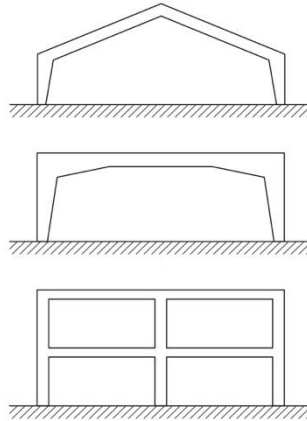


Gambar 1 Potensi jumlah lantai berdasarkan struktur interior
(Ali & Moon, 2007)

Dua tipe sistem struktur standar penahan beban lateral dalam kategori struktur interior adalah struktur frame dan shear trusses/shear walls. Sistem ini biasa tersusun atas planar yang terpasang dalam 2 arah orthogonal utama dan biasanya digunakan bersama sebagai sebuah sistem tergabung sebagaimana mereka berinteraksi. Sistem yang sangat penting lainnya dalam kategori ini adalah struktur core dibantu dengan struktur outrigger.

Rangka pemikul beban atau disebut juga the moment-resisting frame (MRF) terdiri dari elemen horizontal atau balok dan elemen vertikal atau kolom yang dihubungkan secara kaku berbentuk grid planar. Ukuran kolom ditentukan oleh gaya gravitasi yang semakin besar ke arah dasar bangunan sehingga memperbesar kolom pada dasar bangunan. Ukuran dari balok ditentukan oleh kekakuan dari rangka untuk dapat memastikan goyangan (beban) lateral dapat diterima oleh bangunan. Meskipun gaya gravitasi pada beberapa bangunan kurang lebih sama, ukuran balok tetap perlu dibesarkan untuk meningkatkan kekakuan pada rangka. Demikian pula pada kolom perlu dibesarkan untuk menahan beban gravitasi dan meningkatkan kekakuan antar rangka. MRF dapat ditemukan didalam atau sekitar inti bangunan, pinggiran luar bangunan dan pada interior pada garis grid pada bangunan.

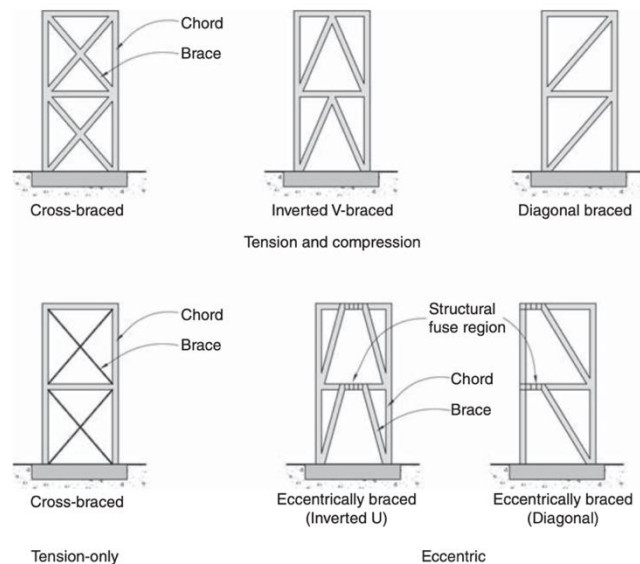
1. Rigid Frames



Gambar 2 Jenis rangka kaku
(Ali & Moon, 2007)

Struktur rigid frames atau juga disebut struktur rangka kaku adalah struktur rangka yang tercipta dari elemen linier antara balok dan kolom yang saling terkoneksi satu sama lain dan pada ujungnya terdapat sambungan dimana tidak memungkinkan terjadinya rotasi pada ujung komponen yang saling terhubung. Namun, sambungan bisa saja berotasi sebagai sebuah unit. Rangka akan menerus melalui sambungan ini, seperti halnya pada balok yang menerus yang bisa saja melendut akibat beban, struktur rangka kaku juga tidak dapat dibuat statis.

2. Braced Hinged Frames



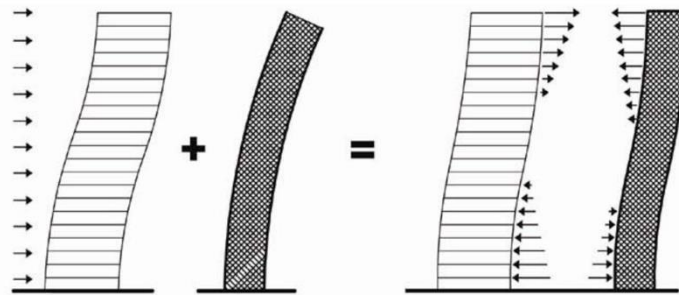
Gambar 3 Jenis rangka penyangga atau braced frames
(Ali & Moon, 2007)

Struktur braced frames atau rangka penyangkang merupakan rangka yang sangat kuat menerima gaya lateral seperti angin dan gempa bumi. Terdiri dari rangka baja yang

bekerja efektif terhadap tekanan dan tarikan pada bangunan. Kolom dan balok berfungsi menahan beban vertikal sedangkan pada rangka penyangga (bracing system) berfungsi menahan gaya lateral. Rangka penyangga berbentuk K,V atau X.

3. Shear Wall/Hinged Frames

Dinding geser planar beton atau dinding geser (shear wall) merupakan salah satu sistem yang paling populer digunakan untuk konstruksi bertingkat tinggi untuk menahan gaya lateral yang disebabkan oleh angin atau gempa bumi. Inti ini layaknya sebuah kantilever vertikal yang pada dasar bangunan merupakan titik tetap.



Gambar 4 Interaksi beban lateral pada shear wall

(Ali & Moon, 2007)

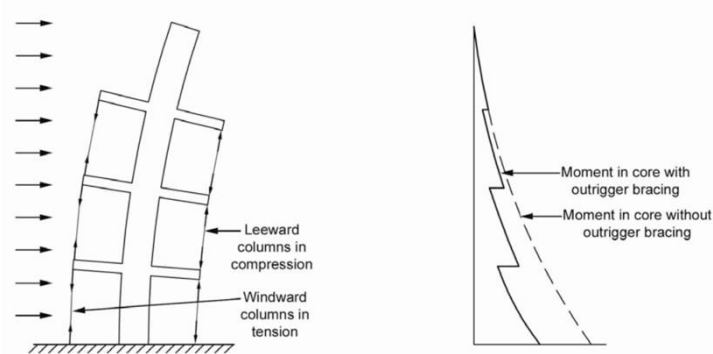
Ketika dua atau lebih dinding geser dalam sebuah bidang yang sama dihubungkan oleh balok atau plat lantai, seperti halnya dinding pada bukaan pintu atau jendela, kekakuan total tetap berlaku. Hal ini terjadi karena balok penghubung memaksa dinding menjadi satu kesatuan terhadap planar yang tercipta. Dinding geser ini umumnya terletak di wilayah inti seperti lift, tangga atau ruang service pada bangunan tinggi. Kenyataannya, beberapa bangunan tinggi yang menggunakan struktur inti ini dapat menstabilkan dan menguatkan bangunan terhadap beban lateral. Kemungkinan pada bangunan tinggi dapat menggunakan core tunggal atau pun ganda tergantung pada lokasi, bentuk dan pengaturannya. Dinding core pada dasarnya adalah dinding geser yang dapat dianalisis sebagai elemen planar disetiap arah utama atau sebagai sebuah elemen tiga dimensi menggunakan perangkat komputer.

4. Shear Wall/Frame Interaction System

Rangka kaku (rigid frame) dapat dikombinasikan dengan rangka baja vertikal (vertical steel trusses) atau dinding geser beton (reinforced concrete shear walls) untuk menciptakan dinding geser sistem interaksi rangka (shear wall-frame interaction systems). Sistem rangka kaku tidak efisien untuk bangunan lebih dari 30 lantai karena dapat terjadi penggeseran komponen terdefleksi menyebabkan kolom dan balok bergoyang secara berlebihan. Disamping itu, rangka baja vertikal atau

shear wall sendiri dapat menjadi penahan untuk bangunan dengan jumlah lantai 10 sampai 35 lantai, tergantung dari rasio tinggi dan lebar dari sistemnya. Ketika shear trusses atau shear wall digabungkan dengan MRF (moment-resisting frame), maka tercipta sistem shear trusses (or shear wall)-frame interaction.

5. Outrigger Structures



Gambar 5 Interaksi beban lateral pada struktur outrigger
(Ali & Moon, 2007)

Sistem cadik atau outrigger system telah lama digunakan dalam sejarah berlayar membantu perahu menahan gaya angin dalam berlayar, dengan membuat tiang kapal tinggi dan ramping membuatnya lebih stabil dan kuat. Inti (core shear wall) dari bangunan tinggi merupakan analogi dari tiang perahu, dengan cadik berperan sebagai penyebar gaya seperti sebuah kolom pada umumnya. Pada perahu, outrigger membantu mengurangi momen guling pada perahu dan bertindak seperti kantilever vertikal, lalu meneruskan momen kearah luar melalui cadik menghubungkan inti kapal dengan kolom ini. Intinya dapat terletak ditengah dengan cadik memanjang kearah dua sisi atau beberapa kasus inti terletak pada salah satu sisi dan cadik memanjang pada sisi yang lain diperkuat oleh kolom.

Struktur outrigger biasanya menggunakan rangka baja atau dinding beton, yang secara efektif menjadi induksi tekanan pada kolom terluar. Belt trusses atau rangka sabuk biasanya membantu mendistribusikan gaya tarik dan tekan kekolom terluar. Rangka sabuk juga membantu mengurangi diferensial pemanjangan dan perpendekan kolom. Struktur outrigger juga dapat dibantu oleh megacolumns pada area perimeter bangunan. Meskipun struktur ini merupakan struktur interior, rangka sabuk atau megacolumns memberikan perimeter yang lebih luas untuk menahan dan menyebarkan gaya lateral pada kaki bangunan.

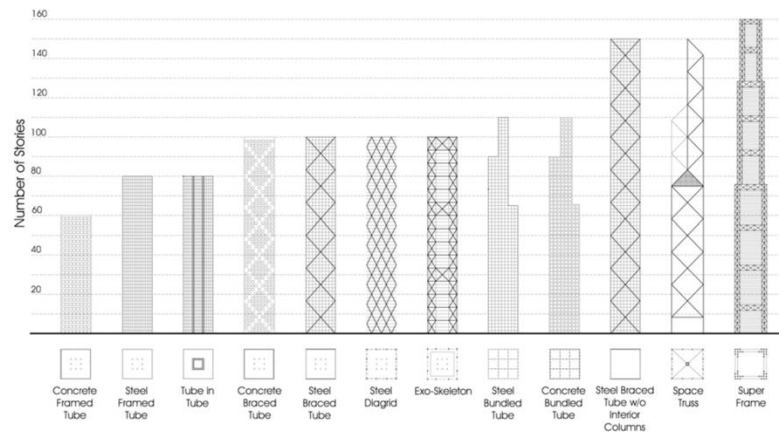
Setiap jenis struktur interior bangunan memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing yang perlu disesuaikan dengan kebutuhan bangunan. Berikut tabel yang menjelaskan *properties* dari setiap jenis struktur interior :

Category	Sub-Category	Material / Configuration	Efficient Height Limit	Advantages	Disadvantages	Building Examples
Rigid Frames	-	Steel	30	Provide flexibility in floor planning. Fast construction.	Expensive moment connections. Expensive fire proofing.	860 & 880 Lake Shore Drive Apartments (Chicago, USA, 26 stories, 82 m), Business Men's Assurance Tower (Kansas City, USA, 19 stories), Seagram Building, 30th to the top floor (New York, USA, 38 stories, 157 m)
		Concrete	20	Provide flexibility in floor planning. Easily moldable.	Expensive formwork. Slow construction.	Ingalls Building (Cincinnati, USA, 16 stories, 65 m)
Braced Hinged Frames	-	Steel Shear Trusses + Steel Hinged Frames	10	Efficiently resist lateral loads by axial forces in the shear truss members. Allows shallower beams compared with the rigid frames without diagonals.	Interior planning limitations due to diagonals in the shear trusses. Expensive diagonal connections.	Low-rise buildings
Shear Wall / Hinged Frames	-	Concrete Shear Wall + Steel Hinged Frame	35	Effectively resists lateral shear by concrete shear walls.	Interior planning limitations due to shear walls.	77 West Wacker Drive (Chicago, USA, 50 stories, 203.6 m), Casselden Place (Melbourne, Australia, 43 stories, 160 m)
Shear Wall (or Shear Truss) - Frame Interaction System	Braced Rigid Frames	Steel Shear Trusses + Steel Rigid Frames	40	Effectively resists lateral loads by producing shear truss - frame interacting system.	Interior planning limitations due to shear trusses.	Empire State Building (New York, USA, 102 stories, 381 m), Seagram Building, 17th to 29th floor (New York, USA, 38 stories, 157 m)
	Shear Wall / Rigid Frames	Concrete Shear Wall + Steel Rigid Frame	60	Effectively resists lateral loads by producing shear wall - frame interacting system.	Interior planning limitations due to shear walls.	Seagram Building, up to the 17th floor (New York, USA, 38 stories, 157 m)
		Concrete Shear Wall + Concrete Frame	70	"	"	311 South Wacker Drive (Chicago, USA, 75 stories, 284 m), Cook County Administration Building, former Brunswick Building (Chicago, USA, 38 stories, 145 m)
Outrigger Structures	-	Shear Cores (Steel Trusses or Concrete Shear Walls) + Outriggers (Steel Trusses or Concrete Walls) + (Belt Trusses) + Steel or Concrete Composite (Super) Columns	150	Effectively resists bending by exterior columns connected to outriggers extended from the core.	Outrigger structure does not add shear resistance.	Taipei 101 (Taipei, Taiwan, 101 stories, 509 m), Jin Mao Building (Shanghai, China, 88 stories, 421 m)

Gambar 6 Tabel struktur interior

(Ali & Moon, 2007)

2.6.2 Struktur Eksterior



Gambar 7 Potensi jumlah lantai berdasarkan struktur eksterior
(Ali & Moon, 2007)

Perbedaan antara bangunan tinggi dan bangunan biasa terletak pada ketinggiannya, dimana bangunan tinggi lebih rentan terhadap beban lateral, khususnya beban angin. Sehingga sebanyak mungkin harus difokuskan pada sistem struktur penahan beban lateral pada bangunan tinggi untuk meningkatkan kedalaman struktur dan sekaligus daya tahan terhadap beban gaya lateral.

1. Struktur tabung (Tube)



Gambar 8 Apartemen DeWitt Chestnut di Chicago
(<https://www.som.com/projects/dewitt-chestnut-apartments/>)

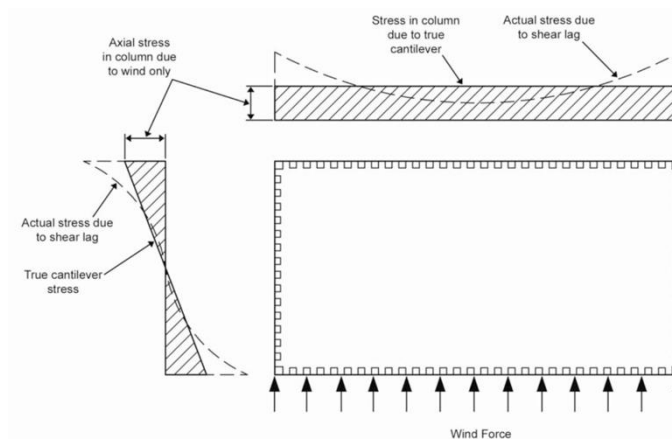
Salah satu struktur eksterior yang paling khas adalah struktur tabung, yang didefinisikan sebagai sistem struktur 3 dimensi yang memanfaatkan seluruh keliling bangunan utuh menahan beban lateral pada bangunan. Penerapan struktur tabung paling pertama diterapkan oleh Fazlur Khan yang mengenalkan konsep ini pada

tahun 1961 (Ali, 2001) dan merancang apartemen DeWitt-Chestnut di Chicago sebanyak 43 lantai. Gedung lain yang menggunakan konsep struktur ini yaitu Sears Tower (110 lantai), John Hancock Center (100 lantai), Amoco (83 lantai) dan World Trade Center

Struktur tabung memiliki beberapa jenis bentuk tergantung dari efisiensi struktur yang disediakan dan memberikan jumlah lantai yang berbeda.

a. Frame tube

Struktur frame tube atau rangka tabung merupakan struktur tabung yang paling umum digunakan, dengan kolom-kolom berjarak rapat dan balok dalam dihubungkan secara kaku diseluruh rangka luarnya. Tergantung pada struktur geometri dan proporsinya, kolom eksterior berjarak mulai dari 1,5m hingga 4.5m. Secara praktis balok memiliki kedalaman yang bervariasi mulai dari 60cm hingga 120cm). Struktur yang disusun bukan hanya memberikan ekspresi pada struktur pada fasad, tetapi juga memotong biaya rangka kusen pada bangunan.



Gambar 9 *Shear lag*
(Ali & Moon, 2007)

Ketika struktur rangka tabung menerima beban lateral, gaya axial pada kolom sudut merupakan gaya terbesar dan distribusinya tidak linier terhadap rangka sejajar dengan angin dan rangka tegak lurus terhadap angin. Ini karena gaya axial pada kolom menuju tengah rangka tegak lurus tertinggal di dekat sudut karena sifat alami rangka tabung yang berbeda dengan dinding padat. Fenomena ini dikenal sebagai shear lag atau efek geser jeda. Tujuan dari desain rangka tabung adalah untuk membatasi efek geser jeda dan bertujuan untuk menambah jenis perilaku struktur kantilever yang sewajarnya yaitu defleksi sebesar 50%-80% dari total goyangan lateral.

b. Braced tube

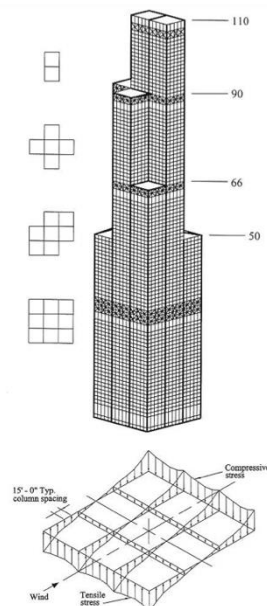


Gambar 10 John Hancock Center

(<https://www.archdaily.com/67599/ad-classics-john-hancock-center-som>)

Braced tube merupakan variasi dari rangka tabung dan pertama kali diaplikasikan pada gedung John Hancock Center tahun 1970 di Chicago dengan jumlah 100 lantai. Konsep ini terbentuk oleh ide menghubungkan kolom secara luas dengan sabuk secara diagonal daripada menggunakan kolom diparameter dan menciptakan karakteristik seperti dinding. Rangka tabung menjadi kurang efisien saat mencapai 60 lantai sejak jaringan rangka mulai berperilaku sebagai rangka kaku konvensional.

c. Bundled tube

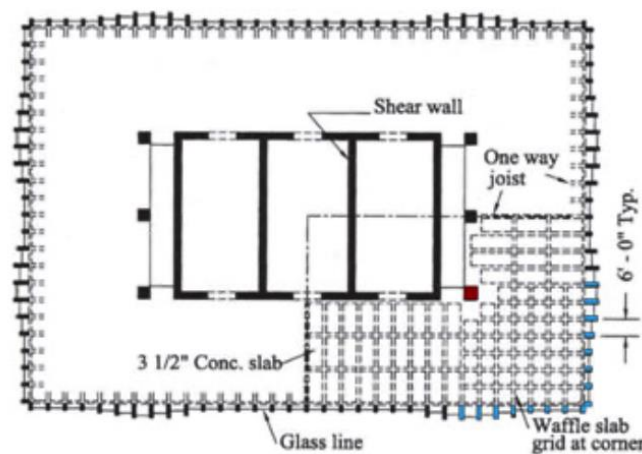


Gambar 11 Bundle tube Sears Tower, Chicago

(Ali & Moon, 2007)

Bundled tube atau struktur kumpulan tabung adalah gabungan dari beberapa individu tabung yang terhubung bersama dan menjadi satu kesatuan. Dalam struktur bangunan tinggi, satu rangka tabung tidak memadai karena lebar alas bangunan harus besar untuk mempertahankan rasio kelangsingan yang wajar (perbandingan tinggi terhadap lebar) sehingga bangunan tidak terlalu fleksibel dan tidak terlalu bergoyang. Efisiensi didapatkan dari gabungan kumpulan tabung karena mengurangi efek geser jeda. Respon 3 dimensi dari struktur dapat ditingkatkan untuk mendapatkan kekuatan dan kekakuan dengan menyediakan dinding silang atau rangka silang dalam bangunan.

d. Tube in tube



Gambar 12 Denah One Shell Plaza, Texas
(Ali & Moon, 2007)

Kekakuan dari framed tube dapat ditingkatkan menggunakan core untuk menahan gaya lateral dan menghasilkan sistem struktur tube in tube atau tabung dalam tabung. Lantai yang menghubungkan inti dan sisi terluar tabung mengirimkan gaya lateral pada kedua sistem. Inti bangunan dapat terbuat dari rangka utuh, rangka sabuk atau rangka tabung. Salah satu contoh bangunan yang menggunakan struktur ini adalah One Shell Plaza berlantai 52 tahun 1971 di Houston, Texas. Sangat memungkinkan bila terdapat lebih dari satu inti pada bangunan.

2.6.3 Diagrid



Gambar 13 St.Mary Axe dalam tahap pembangunan
(Ali & Moon, 2007)

Jenis struktur eksterior yang lain adalah sistem diagrid. Dengan efisiensi strukturnya sebagai variasi dari struktur berbentuk tabung, struktur diagrid telah menjadi sebuah estetika terbaru untuk bangunan tinggi. Desain awal bangunan tinggi menyadari efektifitas dari struktur diagonal menahan gaya lateral. Kebanyakan sistem struktur yang digunakan diawal era pembangunan highrise menggunakan rangka baja dengan sabuk diagonal dari beberapa bentuk seperti X, K dan chevron. Meskipun struktur diagonal sangat terorganisir, potensi estetika kurang dihargai karena mengurangi pandangan untuk melihat kearah luar bangunan. Sistem diagonal ini biasanya tertanam di dalam inti bangunan yang terletak pada interior bangunan.

Pada gedung John Hancock Center di Chicago, balok diagonal terletak sepanjang bidang perimeter eksterior bangunan untuk memaksimalkan efektifitas struktur dan menjadi sebuah estetika pada bangunan. Hal ini jauh lebih efektif daripada menempatkan balok diagonal di dalam bangunan mengurangi ruang.

Perbedaan struktur diagrid dengan konvensional rangka sabuk eksternal adalah sebagian besar kolom struktur vertikal dihilangkan. Hal ini dapat terjadi karena struktur diagrid dapat menahan beban gravitasi sebaik menahan gaya lateral disebabkan oleh bentuk segitiga dalam mendistribusikan gaya. Dibandingkan dengan rangka tabung konvensional tanpa diagonal, struktur diagrid lebih efektif dalam meminimalisir gaya geser penyebab deformasi karena diagrid membawa gaya geser melalui arah axis dari balok diagonal, sedangkan struktur berbentuk tabung membawa gaya geser melalui pembengkokan kolom vertikal dan sprandel horisontal.

Diagrid juga dapat dibandingkan dengan dengan sistem struktur lain yaitu struktur outrigger. Struktur outrigger efektif dalam mengurangi momen guling dan deformasi struktur. Namun, penambahan struktur outrigger antara core dan kolom eksterior tidak menambah kekakuan lateral ke inti bangunan. Dengan demikian, bangunan tinggi yang menggunakan struktur outrigger masih membutuhkan core yang memiliki kekakuan momen geser secara signifikan. Sistem diagrid memberikan keduanya yaitu kelenturan dan kekakuan momen geser. Tidak seperti struktur outrigger, diagrid tidak membutuhkan core dengan kekakuan momen geser yang tinggi karena momen geser dapat ditahan oleh diagrid yang terletak pada perimeter, meskipun bangunan super tinggi dengan sistem diagrid dapat diperkuat dan lebih diperkaku dengan menambahkan core, menciptakan sistem mirip seperti sistem tabung dalam tabung.

2.6.4 Space Truss



Gambar 14 Bank of China Tower

(<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/space-truss>)

Tipe lain dari sistem struktur penahan gaya lateral dalam kategori eksterior adalah rangka ruang atau space trusses. Struktur rangka ruang adalah struktur braced tubes yang dimodifikasi dengan penghubung diagonal antara eksterior dan interior. Pada umumnya pada struktur braced tube semua elemen diagonal yang menghubungkan anggota rangka (chord member) dengan kolom vertikal pada umumnya terletak pada bidang sejajar dengan fasad. Namun pada rangka ruang, beberapa diagonal menembus bagian dalam bangunan.

2.6.5 Superframe

Superframe biasanya berbentuk kotak besar yang saling berhubungan, tiap kotak terdiri dari beberapa lantai, diletakkan di atas satu sama lain. Tiap kotak memiliki balok besar dan kolom yang didalamnya diperkuat oleh kisi atau rangka. Superframe dapat memiliki bentuk berbeda.



Gambar 15 Morpheus hotel

(<https://www.architecturaldigest.com/story/zaha-hadid-architects-latest-design-worlds-first-free-form-exoskeleton-skyscraper>)

2.6.6 Eksoskeleton

Eksoskeleton merupakan sistem struktur yang meletakkan struktur bangunan pada area terluar bangunan mengikuti fasad bangunan. Struktur ini memiliki karakteristik yang kuat karena fasad ditentukan oleh bentuk strukturnya. Keuntungan dari sistem ini yaitu tahan terhadap kebakaran sejak struktur terletak pada luar bangunan. Sedangkan dalam interior bangunan, ruang dapat dibebaskan dari kolom karena struktur tidak berada di dalam bangunan. Hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan struktur ini yaitu material pada struktur perlu dipertimbangkan karena terpapar cuaca diluar bangunan.

Category	Sub Category	Material / Configuration	Efficient Height Limit	Advantages	Disadvantages	Building Examples
Tube	Framed Tube	Steel	80	Efficiently resists lateral loads by locating lateral systems at the building perimeter.	Shear lag hinders true tubular behavior. Narrow column spacing obstructs the view.	Aon Center (Chicago, USA, 83 stories, 346 m)
		Concrete	60	"	"	Water Tower Place (Chicago, USA, 74 stories, 262 m)
	Braced Tube	Steel	100 (With Interior Columns) – 150 (Without Interior Columns)	Efficiently resists lateral shear by axial forces in the diagonal members. Wider column spacing possible compared with framed tubes. Reduced shear lag.	Bracings obstruct the view.	John Hancock Center (Chicago, USA, 100 stories 344 m)
		Concrete	100	"	"	Onterie Center (Chicago, 58 stories, 174 m), 780 Third Avenue (New York, USA, 50 stories, 174 m)
	Bundled Tube	Steel	110	Reduced shear lag.	Interior planning limitations due to the bundled tube configuration.	Sears Tower (Chicago, USA, 108 stories, 442 m)
		Concrete	110	"	"	Carnegie Hall Tower (New York, USA, 62 stories, 230.7 m)
	Tube in Tube	Ext. Framed Tube (Steel or Concrete) + Int. Core Tube (Steel or Concrete)	80	Effectively resists lateral loads by producing interior shear core - exterior framed tube interacting system.	Interior planning limitations due to shear core.	181 West Madison Street (Chicago, USA, 50 stories, 207 m)
Diagrid	–	Steel	100	Efficiently resists lateral shear by axial forces in the diagonal members.	Complicated joints.	Hearst Building (New York, USA, 42 stories, 182 m), 30 St Mary Axe, also known as Swiss Re Building (London, UK, 41 stories, 181 m)
		Concrete	60	"	Expensive formwork. Slow construction.	O-14 Building (Dubai)
Space Truss Structures	–	Steel	150	Efficiently resists lateral shear by axial forces in the space truss members.	Obstruct the view. May obstruct the view.	Bank of China (Hong Kong, China, 72 stories, 367 m)
Superframes	–	Steel	160	Could produce supertall buildings.	Building form depends to a great degree on the structural system.	Chicago World Trade Center (Chicago, USA, 168 stories, Unbuilt)
		Concrete	100	"	"	Parque Central Tower (Caracas, Venezuela, 56 stories, 221 m)
Exo-skeleton	–	Steel	100	Interior floor is never obstructed by perimeter columns.	Thermal expansion / contraction. Systemic thermal bridges.	Hotel de las Artes (Barcelona, Spain, 43 stories, 137 m)

Gambar 16 Tabel struktur eksterior
(Ali& Moon, 2007)