

BOOK CHAPTER

KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR YANG BERKELANJUTAN DAN BERKESELAMATAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TARUMANAGARA

16 SEPTEMBER 2021



KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR YANG BERKELANJUTAN DAN BERKESELAMATAN

BOOK CHAPTER

PENULIS UTAMA

Jemy Wijaya
Sunarjo Leman
Daniel Christianto
Hendy Wijaya
Widodo Kushartomo
Edison Leo
Dewi Linggasari
Arif Sandjaya
Giovanni Pranata
Aniek Prihatiningsih
Alfred J. Susilo
Gregorius S. Sentosa
Ni Luh Shinta Eka Setyarini
Leksmono S. Putranto
Najid
Wati A. Pranoto
Vittorio Kurniawan
Basuki Anondho
Hendrik Sulistio
Wahyu Indra Sakti
Mega Waty
Arianti Sutandi
Henny Wiyanto
Agustinus Purna Irawan

EDITOR:

Widodo Kushartomo; Christopher Kevin Sidharta

DESAIN COVER:

Dewi Linggasari

PENERBIT:

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan yang Penuh Kasih, karena penyertaanNya *book chapter* dengan judul “Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan” telah terbit. Sebanyak 24 paper hasil penelitian dan kajian pustaka dibukukan dalam *book chapter*. *Book chapter* ini diterbitkan merupakan bagian dari rangkaian kegiatan memperingati *Dies Natalis* ke 62 Universitas Tarumanagara. Topik *book chapter* merujuk keunggulan Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara yaitu Unggul dalam Konstruksi Bangunan Gedung dan atau Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan. Secara garis besar cakupan materi *book chapter* terdiri dari tiga bidang utama yaitu **1. Perencanaan** bangunan gedung, meliputi struktur bawah, struktur atas, peraturan atau *code* yang berlaku secara nasional maupun internasional dan infrastrukturnya berupa perparkiran, jalan lingkungan, audit, prasarana pejalan kaki dan kinerja jalan. Bagian perencanaan infrastruktur juga merencanakan drainase bangunan Gedung dan pengelolaan air limbah, **2. Pelaksanaan**, terintegrasi dalam *Building Information Management* (BIM), komunikasi dalam proyek, pengelolaan sumber daya manusia, *change order* dan pembiayaan, **3. Pemeliharaan**, didalamnya memuat metode penilaian kondisi bangunan Gedung.

Semua paper yang ditulis merupakan rangkaian proses pembangunan bangunan Gedung dan Infrastrukturnya, dari tahap perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan berdasarkan peraturan atau *code* yang berlaku dengan menitik beratkan pada faktor berkelanjutan dan berkeselamatan. Harapan Program Studi Sarjana Teknik sipil, dengan terbitnya *book chapter* ini semoga dapat menambah referensi dan wawasan bagi pembacanya tentang proses pembangunan dengan memperhatikan faktor berkelanjutan dan berkeselamatan.

Koordinator *Book Chapter* Jurusan Teknik Sipil

Dr. Widodo Kushartomo

PRAKATA

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara terdiri dari Program Studi Sarjana Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr. Widodo Kushartomo dan Sekprodi Ir. Dewi Linggasari, MT., Program Studi Magister Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr. Ir. Wati A. Pranoto, MT., Program Studi Doktor Teknik Sipil dengan Kaprodi Dr. Ir. Najid, MT. *Book Chapter* Jurusan Teknik Sipil mewakili semua bidang keahlian (kompetensi keilmuan) yang ada pada Jurusan Teknik Sipil yaitu Ilmu Struktur, Konstruksi, Geoteknik, Transportasi, Keairan dan Manajemen Konstruksi, dan ditulis masing-masing oleh dosen-dosen sesuai keahliannya.

Hadirnya *book chapter* dengan judul “Konstruksi Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang Berkelanjutan dan Berkeselamatan” yang disusun oleh dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, sangat penting untuk dibaca dan diterapkan. *Book Chapter* ini terdiri atas dua puluh tiga bab, yang ditulis oleh Ir. Jemy Wijaya, M.T., Ir. Sunarjo Leman, M.T., Ir. Daniel Christianto, M.T., Hendy Wijaya, S.T., M.T., Dr. Widodo Kushartomo, Ir. Edison Leo, M.T., Ir. Dewi Linggasari, M.T., Ir. Arif Sandjaya, M.T., Ir. Geovanni Pranata, M.T., Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M., Alfred J. Susilo, S.T., M.Eng., Ph.D., Ir. Gregorius S. Sentosa, M.T., Ir. Ni Luh Putu Shinta E. Setyarini, M.T., Prof. Ir. Leksmono S. Putranto, M.T., Ph.D., Dr. Ir. Najid, M.T., Dr. Ir. Wati A. Pranoto, M.T., Vittorio Kurniawan, S.T., M.Sc., Dr. Ir. Bsuki Anondho, M.T., Dr. Ir. Hendrik Sulistio, M.T., Dr. Ir. Wahyu Indra S., ST., M.Sc. I.P.U., Dr. Mega Wati, S.T., M.T., Ir. Arianti Sutandi, M. Eng., Ir. Henny Wiyanto, M.T. Prof. Dr. Ir. Agustinus Purna Irawan, I.P.U., ASEAN Eng

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terbitnya *book chapter* ini

1. Rektor, Wakil Rektor, Kepala Lembaga dan staf Universitas Tarumanagara
2. Dekan, Wakil Dekan dan staf Fakultas Teknik
3. Humas Universitas Tarumanagara
4. Tim *Book Chapter* Universitas Tarumanagara
5. Tim *Book Chapter* Jurusan Teknik Sipil
6. Penulis, semua dosen dan karyawan di lingkungan Jurusan Teknik Sipil
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Akhir kata segenap Civitas Akademik Program Studi Sarjana Teknik Sipil mengucapkan Dirgahayu Universitas Tarumanagara ke 62, UNTAR Untuk Indonesia, selalu dihati dan menjadi kebanggaan kita semua

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ttd

Dr. Ir. Najid, M.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v-vii
PENDAHULUAN	viii-ix
 BAB 1 KONSEP MEKANIKA TEKNIK <i>Jemy Wijaya</i>	 1-10
 BAB 2 PEMODELAN ANALISIS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG <i>Sunarjo Leman</i>	 11-25
 BAB 3 KONSEP BETON BERTULANG PADA BANGUNAN GEDUNG <i>Daniel Christianto, Vryscilia Marcella, Channy Saka</i>	 26-37
 BAB 4 PERENCANAAN RANGKA BETON BERTULANG PEMIKUL MOMEN KHUSUS SESUAI SNI 2847-2019 <i>Hendy Wijaya</i>	 38-50
 BAB 5 MUTU DAN KUALITAS BETON DALAM KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG DAN INFRASTRUKTUR <i>Widodo Kushartomo</i>	 51-62
 BAB 6 KONSEP BETON PRATEGANG PADA BANGUNAN GEDUNG <i>Edison Leo</i>	 63-73
 BAB 7 KONSEP PERENCANAAN KONSTRUKSI BAJA BANGUNAN GEDUNG <i>Dewi Linggasari, Vincent, Kharistio Xavira</i>	 74-87
 BAB 8 PERENCANAAN KONSTRUKSI BAJA BANGUNAN GEDUNG <i>Arif Sandjaya, Maria Kevinia Sutanto</i>	 88-98
 BAB 9 PERENCANAAN BANGUNAN GEDUNG TAHAN GEMPA <i>Giovanni Pranata</i>	 99-109
 BAB 10 PENYELIDIKAN TANAH UNTUK BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT <i>Aniek Prihatiningsih, Monica Michelle Susanto</i>	 110-124

BAB 11 KLASIFIKASI TANAH UNTUK PENENTUAN RESPONS SPEKTRUM <i>Alfred J. Susilo, Kenny Erick</i>	125-138
BAB 12 DESAIN FONDASI BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT <i>Gregorius Sandjaja Sentosa, Hansel Adisurya</i>	139-151
BAB 13 PERENCANAAN PRASARANA PARKIR DI GEDUNG DAN JALAN LINGKUNGAN <i>Ni Luh Putu Shinta Eka Setyarini</i>	152-167
BAB 14 PERENCANAAN PRASARANA PEJALAN KAKI <i>Leksmono Suryo Putranto, Benedictus Yosia Tingginehe, Farah Rizkia Ananda, Reynaldo Bernard Khuana</i>	168-178
BAB 15 PENGARUH BEROPERASINYA GEDUNG BERTINGKAT TERHADAP KINERJA LALU LINTAS <i>Najid</i>	179-187
BAB 16 PERENCANAAN DRAINASE GEDUNG YANG BERKELANJUTAN <i>Wati Asriningsih Pranoto</i>	188-196
BAB 17 PENGELOLAAN AIR PADA GEDUNG SECARA BERKELANJUTAN <i>Vittorio Kurniawan</i>	197-206
BAB 18 PERKEMBANGAN BUILDING INFORMATION MODELING DI BIDANG PENDIDIKAN TINGGI TEKNIK SIPIL <i>Basuki Anondho, Sunarjo Leman, Afriska Suwarni, Raymond Jonathan</i>	207-218
BAB 19 MANAJEMEN KOMUNIKASI PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG TINGGI <i>Hendrik Sulistio</i>	219-232
BAB 20 SUMBERDAYA MANUSIA DAN ORGANISASI DALAM PEMBANGUNAN SUPERBLOK <i>Wahyu Indra Sakti</i>	233-243
BAB 21 <i>CHANGE ORDER</i> PADA INFRASTRUKTUR GEDUNG <i>Mega Waty</i>	244-255

BAB 22 PEMBIAYAAN PROYEK KONSTRUKSI <i>Arianti Sutandi</i>	256-263
BAB 23 PENILAIAN KONDISI KERUSAKAN BETON PADA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG <i>Henny Wiyanto</i>	264-274
BAB 24 PENGANTAR SISTEM TRANSPORTASI VERTIKAL DALAM GEDUNG UNTUK MENDUKUNG LALU LINTAS ORANG DAN BARANG <i>Agustinus Purna Irawan</i>	275-285
PROFIL PENULIS	286-295

PENDAHULUAN

Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan adalah bangunan yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kebutuhan generasi di masa mendatang. Didirikan untuk memenuhi keinginan pengguna dengan memperhatikan daya dukung lingkungan, pencapaian keadilan sosial, berkelanjutan ekonomi, lingkungan dan keselamatan, selama proses pemanfaatan dan pemeliharaan. Pembangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan dapat dicapai jika ada kepedulian dari pihak pemilik, perencana, pelaksana, pengawas dan pengguna dalam merencanakan dan mengelola bangunan. Berkelanjutan dan berkeselamatan berarti mengurangi kerusakan lingkungan tanpa mengorbankan kebutuhan pembangunan ekonomi dan keadilan sosial serta memperhatikan kaidah keselamatan yang telah diatur dalam *code* atau peraturan yang berlaku secara nasional maupun internasional.

Bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan merupakan bangunan yang mengarah pada proses yang bertanggung jawab terhadap lingkungan, hemat sumber daya sepanjang siklus hidup bangunan tersebut. Pemilihan tempat atau lokasi sesuai peruntukan hingga desain, konstruksi, pengoperasian, perawatan, renovasi, peruntukan harus sesuai *standard code* atau peraturan yang berlaku.

Indikator bangunan Gedung dan Infrastruktur yang berkelanjutan dan berkeselamatan dapat dilihat dari:

1. Keberlanjutan ekologis menjamin keberlanjutan ekosistem bumi.

Hal yang dapat diupayakan adalah memanfaatkan sumber daya alam secara bijaksana sehingga tidak terjadi pemborosan selama proses pembangunan dan pemanfaatan bangunan diantaranya berupa semen, air, pasir, kerikil, kayu, logam, plastik serta lainnya, sehingga menjamin sistem penunjang kehidupan bumi tetap terjamin. Tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan sehingga menyebabkan terjadinya pencemaran, kerusakan atau bencana. Menjamin tersedianya sistem pengelolaan limbah saluran pembuangan atau peresapan. Bijaksana dalam arti kata semua proses telah direncanakan dengan baik dan benar sesuai dengan prosedur baku yang ditetapkan.

2. Keberlanjutan Ekonomi menjamin kesejahteraan masyarakat.

Hal yang dapat diupayakan adalah pembangunan Gedung dan Infrastruktur dapat menggerakkan perekonomian masyarakat. Memberikan manfaat secara ekonomi kepada pekerja, pengguna dan masyarakat luas. Pembiayaan selama persiapan, proses dan pemeliharaan bangunan merupakan bagian dari ekonomi rekayasa yang harus dipersiapkan dengan benar untuk menunjang keberlanjutan ekonomi.

3. Keberlanjutan sosial budaya menjamin stabilitas penduduk.

Hal yang dapat diupayakan adalah pembangunan Gedung dan infrastruktur tidak merubah tatanan kehidupan sosial budaya. Menjamin terpenuhinya kebutuhan sosial masyarakat diantaranya sarana pejalan kaki, motor dan mobil, tempat parkir, tataguna lahan sesuai peruntukan dan fasilitas Gedung lainnya.

4. Berkeselamatan

Hal yang dapat diupayakan adalah memenuhi *standard code* internasional maupun nasional dalam proses perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, penggunaan dan pemelihara. Menjamin terpenuhinya seluruh aspek keselamatan Gedung saat difungsikan termasuk didalamnya rambu-rambu, perlengkapan K3, tersedia sistem peringatan dini dan pemeliharaan. Perencanaan menggunakan *Building Information Management* (BIM) memudahkan proses pembangunan. Perencanaan struktur bawah, struktur atas memerlukan *code* atau standar yang berlaku untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur dan meminimalisir terjadinya kerusakan ketika terjadi bencana, sehingga pengguna bangunan dapat terselamatkan. Pemeliharaan bangunan dengan metode yang baku yang dikembangkan dapat memberikan peringatan awal terhadap kondisi bangunan sehingga meminimalisir terjadinya kerusakan yang dapat berakibat fatal.

BAB 1

KONSEP MEKANIKA TEKNIK

Ir. Jemy Wijaya, M.T
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Sebagaimana kita ketahui mekanika teknik adalah pelajaran dasar yang harus dipelajari dan dipahami oleh mahasiswa teknik sipil karena mata pelajaran ini menunjang mata kuliah lain yang ada pada program studi teknik sipil seperti struktur beton, baja, kayu dan sebagainya. Tanpa menguasai mekanika teknik, mahasiswa teknik sipil akan sulit menyelesaikan pendidikan sebagai sarjana teknik sipil. Untuk itu dalam tulisan ini membahas apa itu mekanika teknik, perkembangan ilmu mekanika teknik ini mulai dari teori secara klasik sampai perkembangan penggunaan program-program komputer dimulai dari dua dimensi (2D), bahkan sekarang sudah sampai pada tiga dimensi (3D). Bila kita sudah menguasai mekanika teknik dari dasar maka kita akan mengetahui hasil yang dianalisis oleh program komputer apakah terjadi kesalahan atau tidak.

Kata kunci: Mekanika teknik, klasik, dimensi, program

1.1 Pendahuluan

Sebagaimana kita ketahui, mengapa mata pelajaran mekanika teknik sangat penting didalam pendidikan teknik sipil. Mekanika teknik adalah perluasan dari cabang mekanika yang mencakup hubungan antara gaya-gaya luar yang bekerja pada benda dengan gaya yang ditimbulkannya sehingga dapat diketahui kekuatan bahan dan deformasi dari benda tersebut. Mekanika teknik membahas tentang keseimbangan/statika dan reaksi perletakan dari suatu Struktur, gaya-gaya dalam , masalah regangan elastis dan non elastis, tegangan normal, geser, lentur, puntir dan lenturan balok/kekakuan balok, dan sebagainya [1][2]. Reaksi perletakan merupakan gaya-gaya reaksi yang terjadi akibat dari suatu struktur dibebani oleh beban-beban luar (aksi) dan akan timbul reaksi perletakan, yang dikenal dengan Hukum Aksi Reaksi [3]. Gaya-gaya reaksi perletakan tersebut adalah sebagai berikut:

- Gaya reaksi vertikal disimbolkan dengan huruf V
- Gaya reaksi horisontal disimbolkan dengan huruf H
- Gaya reaksi momen disimbolkan dengan huruf M

Selain reaksi perletakan, penting juga untuk dipahami beban-beban secara umum, beban-beban pada rekayasa struktur dibagi dalam empat katagori yaitu sebagai berikut : [3][4]

a. Beban Mati

Yaitu beban yang tidak berpindah-pindah letaknya, contoh seperti beban struktur itu sendiri (kolom dan balok) dan elemen-elemennya (pelat lantai, tembok, partisi, atap) dan lain-lain, mesin-mesin dan peralatan tetap.

b. Beban Hidup

Yaitu beban yang dapat berpindah-pindah, contoh : manusia, hewan, barang yang berpindah-pindah/bukan tetap (meja,kursi,lemari, komputer, dan lain-lain).

c. Beban Angin

Yaitu beban yang bekerja pada struktur (bagian struktur) yang disebabkan oleh selisih tekanan udara.

d. Beban Gempa

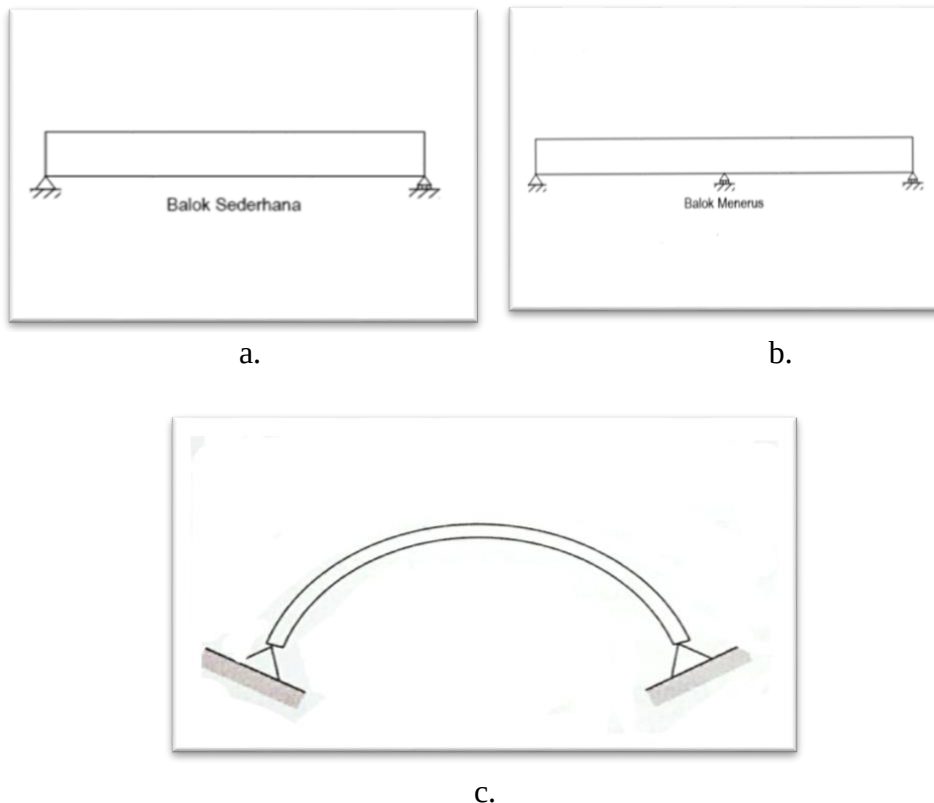
Yaitu beban yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh gerakan tanah, gempa bumi tektonik atau vulkanik yang dapat mempengaruhi struktur tersebut.

1.2 Pembahasan

Secara garis besar, struktur dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu struktur dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D). Berdasarkan prinsip pemikulan gaya yang dilakukan oleh masing-masing tipe sistim struktur, maka struktur dapat dibedakan menjadi beberapa tipe dasar seperti diuraikan berikut ini :[3]

1.2.1 Balok (BEAM) :

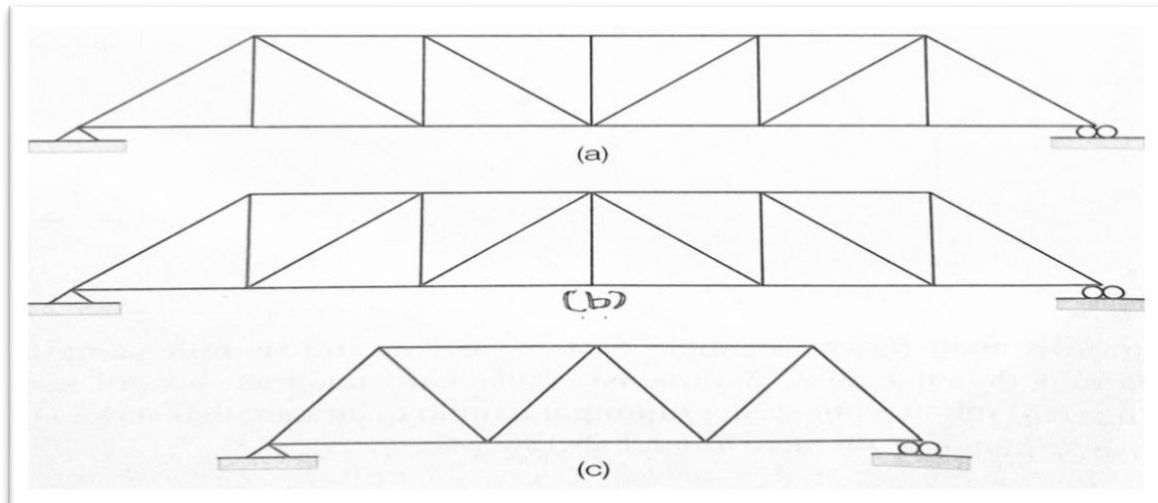
Elemen balok merupakan elemen struktur paling sederhana yang banyak digunakan sebagai pemikul beban. Balok dapat berupa balok sederhana yang tertumpu pada dua tumpuan (Gambar 1.1a), atau balok menerus yang tertumpu di beberapa tumpuan (Gambar 1.1b), balok kadangkala juga dijumpai dalam bentuk lengkungan (Gambar 1.1c).



Gambar 1.1 a. Balok sederhana b. Balok menerus c. Balok melengkung [3]

1.2.2 Rangka Batang Bidang (*Plane Truss*):

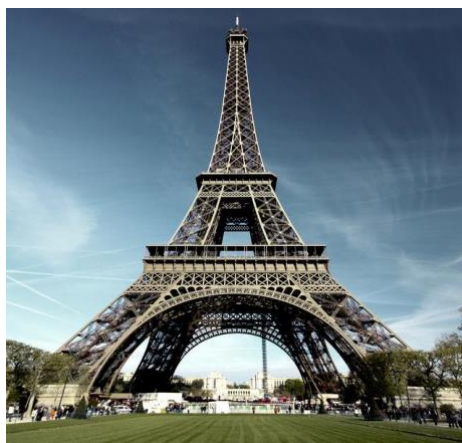
Tipe struktur dua dimensi (2D) ini memiliki ciri khas tersendiri, rangka batang bidang terdiri dari beberapa batang yang saling terhubung sehingga membentuk elemen-elemen segitiga., dimana titik-titik hubungan berupa hubungan sendi dan batang-batang tersebut hanya memikul gaya aksial. Contoh sistem elemen rangka batang bidang diperlihatkan pada (Gambar 1.2a), (Gambar 1.2b) dan (Gambar 1.2c).



Gambar 1.2 a. Rangka Batang PRATT b. Rangka Batang HOWE c. Rangka Batang WARREN [3]

1.2.3 Rangka Batang Ruang (*Space Truss*):

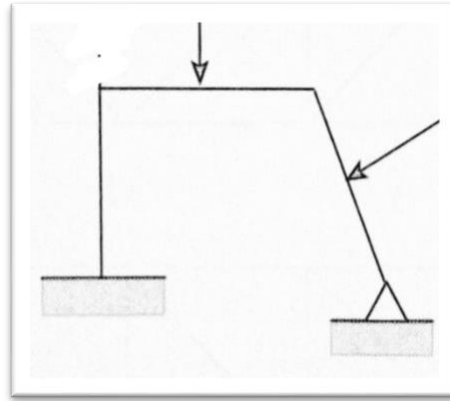
Merupakan struktur rangka dalam bentuk tiga dimensi (3D) sama seperti halnya struktur rangka batang bidang, elemen-elemen rangka batang ruang hanya memikul gaya aksial saja.[3][5][6] Contoh rangka batang ruang seperti yang terlihat pada (Gambar 1.3)



Gambar 1.3 Rangka Batang Ruang [7]

1.2.4 Portal Bidang(*Plane Frame*):

Sistim struktur portal bidang (Gambar 1.4) terdiri dari elemen-elemen horisontal, vertikal atau terkadang memiliki kemiringan tertentu, dan antar elemen terhubung dengan kaku/*rigid*. Elemen-elemen horisontal merupakan elemen **balok**, sedangkan elemen vertikal sering disebut dengan **kolom**, elemen miring disebut sebagai **balok miring**. [3][4]



Gambar 1.4 Portal Bidang [3]

1.2.5 Portal Ruang (*Space Frame*):

Sistim struktur ini hampir sama dengan portal bidang, namun dalam bentuk 3 dimensi, pada kenyataannya sistim struktur portal ruang inilah yang sering kita jumpai, namun dalam analisis terkadang pemodelan struktur disederhanakan menjadi model 2 dimensi, sebelum berkembangnya analisis 3 dimensi [5][6] (Gambar 1.5)



Gambar 1.5 Portal Ruang [8]

1.2.6 JENIS – JENIS BEBAN

Menurut cara bekerjanya beban dibagi menjadi sebagai berikut : [4]

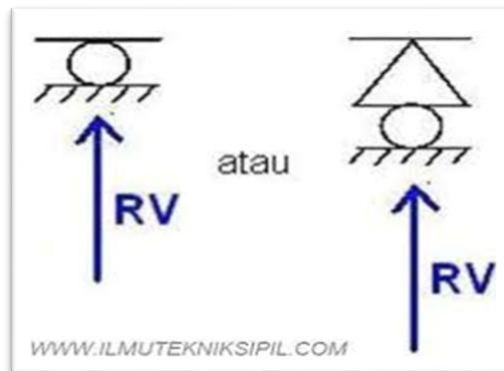
- Beban terpusat dengan satuan Kg, ton, kN dan sebagainya.
- Beban merata dengan satuan Kg/m, t/m, kN/m dan sebagainya.
- Beban tidak merata misal beban segitiga dan beban trapesium.
- Beban momen dengan satuan Kg m, ton m, kN m dan sebagainya.

1.2.7 JENIS –JENIS TUMPUAN

Semua beban yang bekerja pada struktur pada akhirnya akan dipikul oleh tumpuan.[3]

a. Tumpuan Rol

Jenis Tumpuan ini bebas berotasi dan bertranslasi sepanjang permukaan rol ini berada. Tumpuan rol hanya mampu menyalurkan gaya vertikal yang memiliki arah tegak lurus terhadap bidang landasan. Dalam analisis struktur jenis tumpuan ini sering disimbolkan seperti pada (Gambar 1.6) dan juga ditunjukkan arah reaksi yang dihasilkan oleh tumpuan rol. [9][10]



Gambar 1.6 Tumpuan Rol [9]

Untuk gambar Tumpuan Rol dalam bentuk aplikasi pada Struktur Jalan ditunjukkan dalam (Gambar 1.7)



Gambar 1.7 Tumpuan Rol pada Jembatan [11]

b. Tumpuan Sendi (*HINGE*) :

Jenis tumpuan ini hanya dapat berotasi, namun tak dapat bertranslasi dalam arah vertikal maupun horisontal. Tumpuan sendi dapat memberikan reaksi dalam arah

horisontal maupun vertikal. [9][10] (Gambar 1.8) memperlihatkan notasi untuk tumpuan sendi, berikut dengan reaksi tumpuan yang timbul pada tumpuan sendi.



Gambar 1.8 Tumpuan Sendi [9]

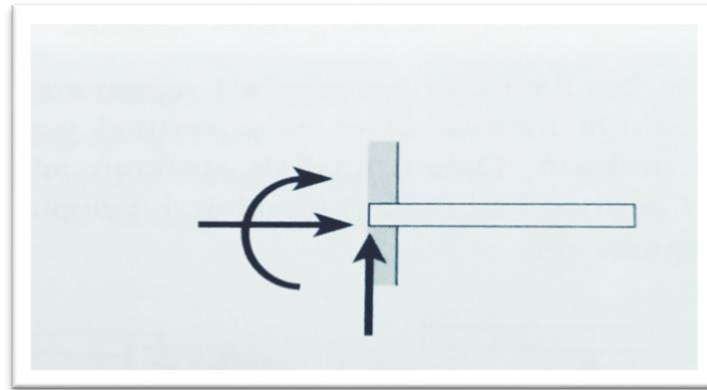
(Gambar 1.9) Memperlihatkan aplikasi dari tumpuan sendi pada suatu struktur jembatan baja



Gambar 1.9 Tumpuan Sendi pada Jembatan [11]

c. Tumpuan Jepit (*FIXED/RIGID*)

Tumpuan jenis ini dapat menahan gaya dalam arah vertikal, horisontal serta dapat pula memikul momen, jenis tumpuan jepit tidak mengalami rotasi (putaran sudut) dan translasi vertikal maupun horisontal, sehingga sering juga disebut tumpuan kaku (*rigid*) [4][13], Gambar 1.10a memperlihatkan notasi Tumpuan Jepit.

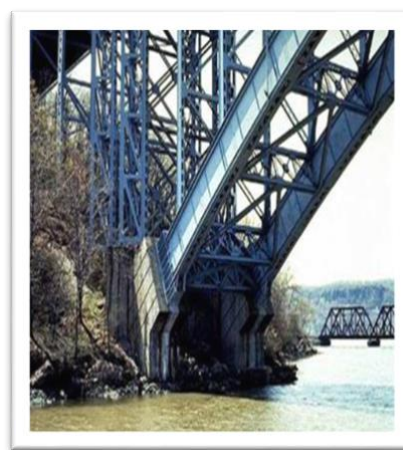


a

Dibawah ini memperlihatkan aplikasi tumpuan Jepit pada struktur beton (Gambar.1.10b) dan baja (Gambar.1.10c)



b



c

Gambar 1.10 a. Tumpuan Jepit [13], b. Tumpuan Keping pada Beton [13], c. Tumpuan Jepit pada Baja [14]

1.2.8 STRUKTUR STATIS TERTENTU

Suatu struktur dikatakan statis tertentu bila semua reaksi pada tumpuan-tumpuan dapat dihitung dengan persamaan keseimbangan yang ada yaitu penjumlahan gaya-gaya horizontal sama dengan nol ($\sum H = 0$), penjumlahan gaya-gaya vertikal sama dengan nol ($\sum V = 0$), penjumlahan momen pada satu titik sama dengan nol ($\sum M = 0$), [16][13]

Jenis –Jenis Struktur Statis Tertentu :

- Struktur balok,portal, rangka batang di atas 2 tumpuan sederhana (Sendi- Rol).
- Struktur balok,portal, rangka batang di atas tumpuan jepit bebas.
- Struktur balok *GERBER*.
- Struktur pelengkung/portal tiga sendi.[4][13]

1.2.9 STRUKTUR STATIS TAK TENTU

Suatu struktur dikategorikan sebagai struktur statis tak tentu bila reaksi perletakannya tidak dapat dicari hanya dengan persamaan keseimbangan biasa $\sum H = 0$, $\sum V = 0$ dan $\sum M = 0$, tetapi diperlukan tambahan persamaan deformasi. [16][13]

a. Derajat Statis Tak Tentu:

Suatu struktur balok dan portal statis tak tentu bisa ditentukan derajat ketidak statisan dengan rumus sebagai berikut : [17]

$$^{\circ}S = 3F + 2H + 1R + 3m - 3j$$

Dimana : $^{\circ}S$ = derajat statis tak tentu

F = jumlah perletakan Jepit/Fixed

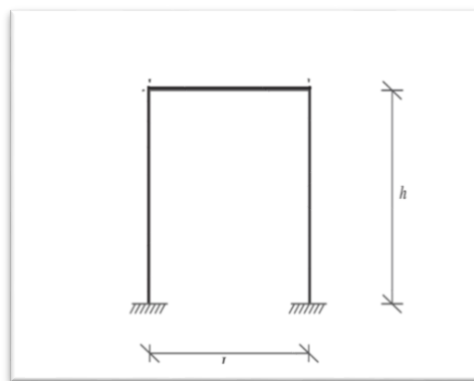
H = jumlah perletakan HINGE/Sendi

R = jumlah perletakan Rol

m = jumlah member/batang

j = jumlah joint/titik

Catatan : Bagian balok Kantilever tidak dihitung sebagai batang/balok



Gambar 1.11 Gambar struktur statis tak tentu derajat tiga [3]

Suatu struktur balok dan portal statis tak tentu derajat tiga bisa diselesaikan dengan cara : [5][16][17][13][16]

- Metode *Consistent Deformation*
- Metode *Clapeyron* (Persamaan Tiga Momen)
- Metode *Slope Deflection*
- Metode *Column Analogy*
- Metode *Elastic Center*
- Metode Cross (*Moment Distribution Method*)
- Metode Matrix (*Force & Displacement Method*)

Untuk derajat statis tak tentu lebih besar dari 3 sebaiknya diselesaikan dengan Metode matrix *Displacement* / kekakuan/*Stiffness*.

Untuk rangka batang bidang statis tak tentu ,derajat ketidak statisan dapat ditentukan dari rumus sebagai berikut : [14]

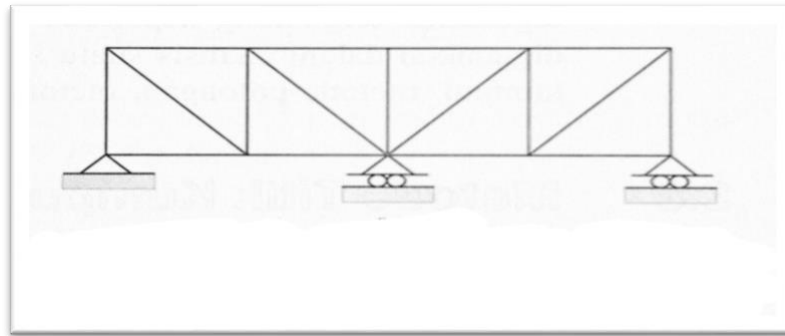
$$^{\circ}S = e + r - 2n$$

Dimana : $^{\circ}S$ = derajat statis tak tentu

e = jumlah elemen batang

r = jumlah reaksi perletakan

n = jumlah joint/titik kumpul



Gambar 1.12 Struktur statis tak tentu derajat satu [9]

Untuk derajat statis tak tentu sampai tingkat tiga bisa diselesaikan dengan *Metode Consistent Deformation* dan *Forced Method*, tetapi untuk derajat statis tak tentu lebih besar dari tiga digunakan matrix *Displacement/Stifness Method*.

Untuk analisis bangunan bertingkat banyak pada awalnya digunakan cara *CROSS*, *KANI* dan *TAKABEYA*, sedang analisis gempa digunakan cara *MUTO*. Dalam mencari momen-momen max lapangan dan tumpuan pada bangunan bertingkat banyak akibat kombinasi pembebanan hidup dan mati sering kali digunakan cara *TWO CYCLE MOMENT DISTRIBUTION*. [14]

1.2.10 Perkembangan Program Komputer

Seiring dengan berkembangnya program komputer untuk perhitungan struktur balok, portal dan rangka batang yang dimulai sekitar tahun 1980an yang berupa program buatan sendiri yang disalin dari buku-buku analisis struktur, seperti *PLANE FRAME* dua dimensi (2D) yang ditulis dalam bahasa Fortran [5] [6], disini mulai dikenal kata-kata *DOF* (*DEGREE OF FREEDOM* dari titik) atau derajat kebebasan gerak dari titik dan untuk memperkecil *DOF* yang terjadi, diasumsikan gaya aksial diabaikan dan sebagainya.

Sekitar tahun 1985-1990 baru populer dengan program *CAL 90*, *GRASP 2D GRAFIS INTERAKTIF*, *SAP* dan *ETABS*, kemudian tahun 2000an berkembang program *ETABS* yang sudah dimodifikasi, *SAP 2000*, *GT STRUDL NON LINEAR* untuk *advance* model dalam struktur tiga dimensi (3D). Terakhir sekitar tahun 2015 berkembang program *MIDAS* dengan berbagai macam jenisnya dan program lainnya.

1.3 Penutup

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang Teknik Sipil, sekarang banyak program –program Software yang sudah sangat maju, dapat digunakan untuk perencanaan pekerjaan infrastruktur seperti proyek-proyek jalan,

terowongan, jembatan, pelabuhan, offshore, bangunan bertingkat banyak dan sebagainya.

Berdasarkan itu semua, maka pelajaran konsep Mekanika Teknik yang merupakan dasar dari peminatan Teknik Sipil tetap harus dipelajari dan dipahami, dari gaya-gaya dalam yang didapat dari perhitungan mekanika teknik, dalam perencanaan struktur harus dipenuhi segi kekuatan, kekakuan, dan lain-lain, sesuai dengan peraturan yang berlaku.[16][17]

REFERENSI

- [1]. Singer Ferdinand L, Pytel Andrew, Sebayang Darwin, Kekuatan Bahan, 1985, Edisi kedua, Penerbit ERLANGGA
- [2]. Popov E.P., Astamar Zainul, Mekanika Teknik, 1989, Edisi Kedua, Penerbit ERLANGGA
- [3]. Setiawan Agus, 2015, Analisis Struktur, Penerbit ERLANGGA
- [4]. Soemono, 1980 , Statika 1, Penerbit ITB
- [5]. Weaver, JR William, Gere James.M. Wira, Analisa Matriks unuk Struktur Rangka, 1986 Edisi kedua, Penerbit ERLANGGA
- [6]. Laursen Harold I, 1988, *1st Printing McGRAW-HILL International Editions*
- [7]. <https://images.app.goo.gl/Nv8TBhWtFXybNiei9>
- [8]. <https://ohmysituation.blogspot.com/2014/02/struktur-dan-konstruksi-bangunan.html?m=1>
- [9]. <http://ilmutekniksipil.com/mechanika-struktur/jenis-tumpuan-dan-beban-pada-struktur-bangunan>
- [10]. <http://kampita.com/2020/10/macam-macam-perletakan=pada-struktur.html>
- [11]. <http://gurusipil.com/jenis-jenis-tumpuan-dalam-mekanika-teknik/>
- [12]. Todd, Liong The Houw, Teori Dan Analisis Struktur, 1984, Edisi Kedua, Penerbit ERLANGGA
- [13]. <http://pdfslide.tips/document/pengertian-dan-macam-tumpuan.html>
- [14]. <http://myjihadsoul.wordpress.com/2011/07/24/mechanika-rekayasa-pendahuluan/>
- [15]. Wang C.K, *Intermediate Structural Analysis*, 1985, *2nd Printing, International Student Edition*, McGRAW-HILL
- [16]. Wijaya Jemy, 2021, Diktat Kuliah Analisis Struktur 1, UNIVERSITAS TARUMANAGARA
- [17]. Soemono, 1980, Statika 2, Penerbit ITB

BAB 2

PEMODELAN ANALISIS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG

Sunarjo Leman, Ir., M.T.
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Abstrak

Simulasi pembuatan model dalam analisis pada struktur gedung merupakan teknik tersendiri yang penting saat ini, dengan semakin banyak bangunan-bangunan baru dan spektakuler tersebar di penjuru dunia sekarang. Tentu dalam analisis perlu dilakukan pemodelan yang tepat untuk mendapatkan hasil analisis yang baik dan benar sebelum dilanjutkan ketahap desain komponen struktur dan fondasi. Pemodelan secara tepat tahap demi tahap dilakukan dari penentuan awal sistem struktur gedung sampai ketahap akhir untuk menentukan hasil analisis yang tepat untuk digunakan ketahap selanjutnya.

Pengalaman seorang insinyur menjadi bagian penting dalam melakukan pemodelan struktur gedung ini karena semakin banyak permasalahan yang ditemukan dan ditangani atau diselesaikan maka akan semakin baik dalam melakukan pemodelan untuk simulasi perencanaan bangunan berkelanjutan dan berkeselamatan.

Kata kunci: simulasi, pemodelan, analisis, sistem, gedung

2.1 Pendahuluan

Simulasi dari pemodelan saat ini merupakan pilar ketiga ilmu pengetahuan bersama dengan teori-teori dan eksperimen yang dilakukan di laboratorium secara uji fisik benda dengan skala penuh ataupun tidak [1], [2], [3], [4]. Perkembangan pesat teknologi konstruksi modern telah merubah cakrawala kota-kota besar dunia secara dramatis. Semakin banyak bangunan kompleks, seperti Burj Khalifa di Dubai, *Bird Nest Stadium* (Stadion Sarang Burung) di Beijing dan *London Aquatic* telah dibangun selama dekade terakhir. Persaingan sengit di pasar desain saat ini juga membutuhkan insinyur struktur untuk menangani peningkatan kesulitan dalam merancang proyek yang lebih rumit dibutuhkan oleh klien dan arsitek. Tantangan ini hanya dapat diatasi dengan menggunakan teknologi komputer modern. Ini juga menimbulkan perubahan besar dalam peran insinyur struktur, selain itu pengetahuan tentang prinsip-prinsip desain dasar dan metode analisis struktur, seorang insinyur juga harus memiliki pemahaman penuh tentang teknik pemodelan terbaru. Salah satu alasan mengapa keterampilan pemodelan dengan menggunakan komputer tingkat lanjut baru-baru ini menjadi penting untuk perekrutan insinyur dengan meningkatkan jumlah konsultan desain [5].

Pada kenyataannya analisis yang tepat dari suatu struktur hampir tidak pernah dapat dilakukan dengan tepat sekali. Mengidealisasikan struktur merupakan seni dalam teknik sipil untuk dapat memodelkan bentuk nyata sebuah perencanaan ke dalam model matematis agar dapat dilakukan analisis. Idealisasi adalah metode penyederhanaan secara konservatif komponen-komponen sistem struktur dengan tetap mengusahakan menjaga perilaku struktur yang tepat di bawah pembebanan yang sama. Proses ini dilakukan untuk menyederhanakan waktu analisis dan desain perhitungan. Tanpa pemodelan struktur yang ideal dan tepat sesuai dengan perilaku struktur tersebut,

desain dapat memakan waktu lebih lama dalam analisis dan terkadang menjadi tidak mungkin karena timbul kesalahan-kesalahan karena pemodelan yang terlalu kompleks atau tidak tepat.

Salah satu tahap yang paling penting dalam melakukan perencanaan struktur bangunan gedung bertingkat adalah dalam tahap melakukan pemodelan/idealisasi untuk analisis struktur sebelum melakukan desain terhadap elemen-elemen struktur seperti pelat, balok, kolom, shear wall, fondasi dan komponen elemen struktur lainnya. Pembebanan yang terjadi pada struktur sebaiknya dapat diakomodasi semua dalam pemodelan agar semua kondisi pada kenyataan dapat semua dianalisis, sehingga semua kemungkinan terjadi sudah dapat diprediksi sebelum sampai ketahap desain. Disamping itu yang perlu menjadi perhatian para perencana adalah perkiraan perilaku struktur bangunan hasil analisis atau simulasi dari pemodelan sebaik mungkin dapat sesuai dengan prediksi atau kenyataan yang terjadi, dalam hal ini *feeling engineering* dari insinyur perencana sangat penting sesuai dengan pengalaman profesional yang sudah dialami. Semuanya ini tentu tidak dapat lepas dari waktu lama bekerja dan tingkat permasalahan pengalaman penyelesaian proyek-proyek yang pernah dihadapi.

2.2 Pemodelan Simulasi Analisis Struktur Bangunan Gedung

Sebelum dapat melakukan pemodelan matematis dari suatu kasus perencanaan struktur bangunan gedung maka perlu diketahui pemahaman tentang sistem bangunan gedung yang ada saat ini. Sistem bangunan gedung merupakan pengetahuan langkah awal sebelum melakukan tahapan simulasi pemodelan dan analisis selanjutnya.

2.2.1 Sistem Struktur Bangunan Gedung

Sistem struktur utama gedung tinggi terdiri dari sistem penahan beban gravitasi dan sistem penahan beban lateral. Dalam praktik desain nyata, gaya lateral utama yang perlu diperhatikan adalah angin dan gempa bumi. Karena memiliki periode yang lebih lama dari yang rendah gedung bertingkat, beban gempa lebih ringan. Oleh karena itu, dalam banyak kasus, angin adalah beban pengatur dalam desain

a. Sistem Penahan Beban Gravitasi

Komponen utama yang terkait dengan sistem penahan beban vertikal pada bangunan bertingkat tinggi adalah sistem lantai, balok, kolom, dan dinding geser. Dinding geser terutama biasa digunakan untuk menahan gaya lateral tetapi juga digunakan untuk menahan beban vertikal.

Sistem lantai merupakan bagian dari sistem penahan beban gravitasi yang relatif tetap serupa di gedung-gedung bertingkat dan rendah. Namun, untuk gedung-gedung tinggi, sangat penting untuk meminimalkan berat seluruh struktur. Oleh karena itu, sistem lantai ringan, seperti *flat slab*, pelat *precast*, dan *prestress* menjadi pilihan dalam desain.

Sistem lantai juga berperan penting dalam mendistribusikan beban akibat gaya lateral. Karenanya kekakuan dalam bidang yang besar, beban lateral ditransfer melalui pelat lantai melalui sistem diafragma kaku atau fleksibel ke sistem penahan lateral, seperti dinding geser dan penyangga lainnya. Oleh karena itu, desain lantai sebagai diafragma yang memadai merupakan masalah penting dalam desain gedung tinggi. Beberapa

pelat lantai dengan bukaan besar memerlukan perhatian khusus karena dapat melemahkan aksi diafragma di pelat lantai, sehingga distribusi gaya lateral tidak sepenuhnya sempurna ke dinding penahan geser.

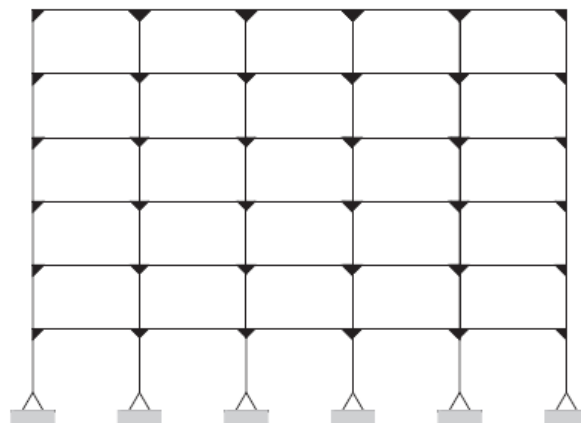
b. Sistem Struktur Penahan Beban Lateral

Ada berbagai sistem penahan lateral yang saat ini digunakan dalam praktik konstruksi desain gedung tinggi. Mengurangi penyimpangan lateral merupakan pertimbangan desain penting untuk gedung tinggi. Penyimpangan lateral yang berlebihan, terutama simpangan antar lantai, dapat merusak sistem sekunder seperti partisi atau dinding tirai. Penghuni gedung juga akan mengalami ketidaknyamanan di bawah penyimpangan siklus yang berkepanjangan [6] dan kekuatan angin dinamis merupakan penyebab alasan utama untuk ini. Beberapa program komersial seperti ETABS, SAP2000, Midas GEN, Autodesk ROBOT dan Staad.Pro semuanya memiliki kemampuan untuk memeriksa *drift* (simpangan) keseluruhan atau pergeseran antar lantai.

Ada beberapa tipe struktur penahan beban lateral yang sudah digunakan saat ini sebagai berikut:

- *Moment resisting frames (MRF)*

Sistem rangka penahan momen (MRF) adalah sistem yang memanfaatkan kekakuan struktur untuk memberikan tahanan lateral. Koneksi balok dan kolom dihubungkan secara kaku, sehingga disebut juga rangka kaku. Desain kolom dan balok harus dirancang agar kuat saat ditekuk. Hubungan detail sambungan balok ke kolom juga perlu didesain secara khusus untuk mengakomodasi momen lentur disebabkan oleh beban lateral. Material Baja dan beton merupakan paling umum digunakan untuk MRF, karena keduanya dapat memberikan fleksibilitas dalam perencanaan.



Gambar 2.1 Sistem Rangka Penahan Momen [5]

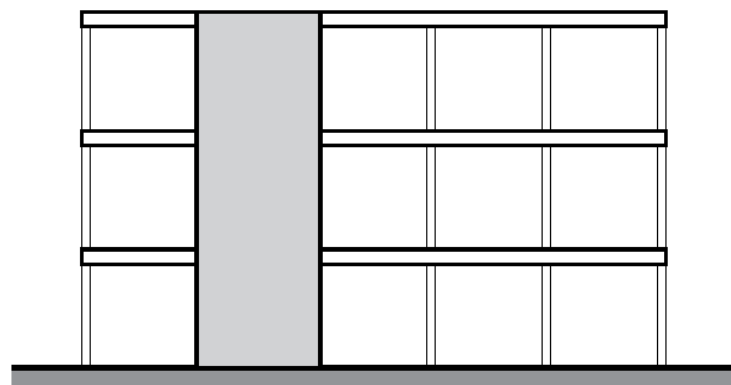
Salah satu kerugian dari sistem MRF adalah bahwa kerangka yang kaku membutuhkan biaya yang mahal pada jenis koneksi momen, akibatnya akan menghasilkan bangunan yang mahal secara keseluruhan. Selain itu, itu adalah sulit untuk mengontrol penyimpangan lateral karena efek *P-Delta*. Peningkatan goyangan bangunan menyebabkan tambahan defleksi pada balok dan kolom. Oleh

karena itu, tinggi desain yang efisien tanpa sistem penahan beban lateral tambahan yang diperlukan adalah 30 lantai untuk struktur baja dan 20 lantai untuk struktur beton [7].

Di tempat-tempat di mana aktivitas seismik lebih tinggi atau ada risiko gempa bumi yang lebih besar, MRF harus didesain untuk memastikan bahwa daktilitas balok ke sambungan kolom memiliki ketahanan yang cukup terhadap gerakan berlebihan dan goyangan struktur. Persyaratan sifat daktilitas dan pengontrolan terjadinya sendi plastis yang baik dalam desain sekarang dilihat sebagai kunci sukses dalam menahan gerakan berlebihan dari suatu struktur.

- **Kombinasi *Shear Walls* dan *Moment Resisting Frames***

Struktur dinding geser banyak digunakan untuk gedung tinggi dan gedung bertingkat rendah sebagai bagian struktural penting dalam sistem penahan lateral. Dinding geser bekerja sebagai balok kantilever vertikal dalam yang ditopang di fondasi pada tanah. Dinding geser juga memikul beban vertikal bersama dengan kolom-kolom lainnya pada struktur tersebut. Pada bangunan tinggi, dinding geser umumnya terletak di tengah bangunan, biasanya berupa sistem dinding inti, karena sistem translasi vertikal seperti lift biasanya terletak di tengah bangunan.



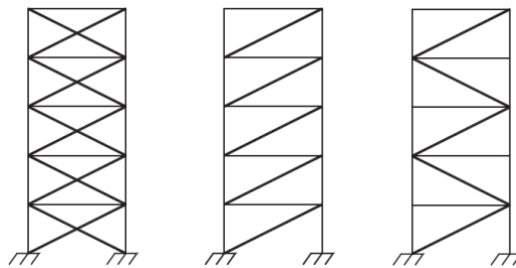
Gambar 2.2 Sistem Kombinasi *Shear Wall* dan *Moment Resisting Frames* [8]

MRF juga cukup umum untuk dihubungkan dengan dinding geser beton bertulang atau rangka baja, sehingga menghasilkan sistem interaksi rangka geser yang memberikan kekakuan lateral yang luar biasa untuk struktur tinggi, karena setiap sistem mengontrol stabilitas lateral bangunan di lokasi yang berbeda, yang menyediakan sistem penahan lateral yang lebih efisien. Jenis sistem ini memiliki potensi maksimum untuk mencapai ketinggian 65 lantai.[5]

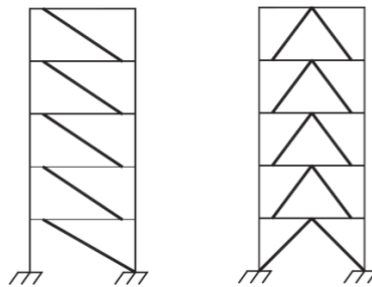
- **Sistem Rangka *Bracing* (*Bracing Systems*)**

Bracing adalah salah satu sistem penahan lateral yang paling penting, dan banyak digunakan di berbagai jenis bangunan bertingkat rendah serta bangunan tinggi. Untuk tujuan estetika, rangka *bracing* biasanya ditempatkan di antara rongga dinding dan pertemuan dengan elemen balok dan kolom pada satu garis kerja yang sama. Model penempatan seperti ini dapat dikategorikan menjadi bracing konsentris. Perbedaan dengan *bracing* eksentrik adalah penempatan ujung-ujung

bracing tidak bertemu pada satu titik kerja. Penggunaan *bracing* ini banyak dipakai pada struktur bangunan di zona gempa karena memberikan daktilitas tinggi pada struktur.



Gambar 2.3 Tipe *Bracing* Konsentrik [5]

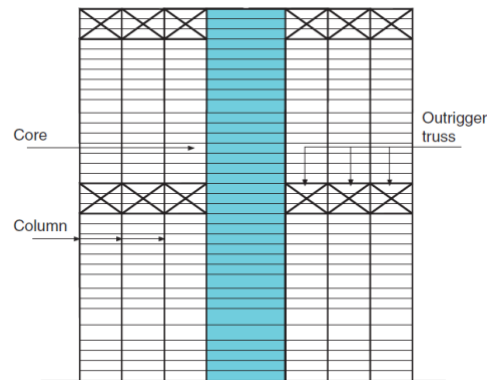


Gambar 2.4 Tipe *Bracing* Eksentrik [5]

- ***Outrigger Structures***

Inti biasanya terletak di tengah dalam sebuah bangunan, sedangkan *outrigger* merupakan komponen struktur yang berbentuk lengan umumnya merupakan struktur rangka memanjang ke kolom bagian luar bangunan. *Outrigger* ini menopang pada dinding inti bangunan dan kolom bagian sisi luar yang memberikan kombinasi gaya tarik dan tekan pada dinding tengah dan kolom luar.

Momen lentur, gaya aksial tarik dan tekan pada kolom bagian luar yang terhubung dengan *outrigger* membantu menahan momen bagian luar dari struktur bangunan. Ketika pembebanan lateral, seperti angin atau gempa bekerja pada struktur, rotasi inti juga dapat dikontrol karena adanya tahanan dari *outrigger*. Tahanan ini membantu mengurangi defleksi dan momen lateral yang terjadi, yang jika tidak akan menyebabkan ketidakstabilan struktural dari banyak komponen struktur.



Gambar 2.5 Tipe Struktur *Outrigger* [5]

- ***Tube Structures***

Struktur tabung adalah salah satu sistem struktur penahan lateral utama di gedung-gedung tinggi yang dirancang untuk bertindak seperti silinder berongga kantilever tegak lurus ke tanah untuk menahan beban lateral angin, gempa dan sebagainya. Sistem ini diperkenalkan oleh Fazlur Rahman Khan dan beberapa bangunan terkenal yang mendukung sistem desain ini, adalah Menara Willis, World Trade Center (runtuh) dan John Hancock Centre.

Untuk sistem jenis ini, rangka luar dirancang cukup kuat dengan menggunakan sambungan kaku balok ke kolom untuk menahan semua beban lateral [9]. Keliling luar terdiri dari kolom-kolom yang berjarak rapat yang diikat bersama dengan balok spandrel satu sama lainnya dengan sambungan momen. Jarak antara bagian luar dan rangka inti menggunakan balok atau rangka batang. Dengan meningkatkan efektivitas keliling tabung dengan mentransfer sebagian beban gravitasi di dalam struktur ke dalamnya dan meningkatkan kemampuannya untuk menahan guling akibat beban lateral.

Struktur tubular dikategorikan ke dalam beberapa jenis yang berbeda sebagai berikut ini:

Frame Tubes

Merupakan sistem tabung yang paling banyak digunakan. Ini adalah sistem tiga dimensi yang terdiri dari kolom-kolom yang berjarak dekat dan balok-balok spandrel dalam yang disatukan dengan kuat untuk membuat silinder berongga.

Braced Tubes

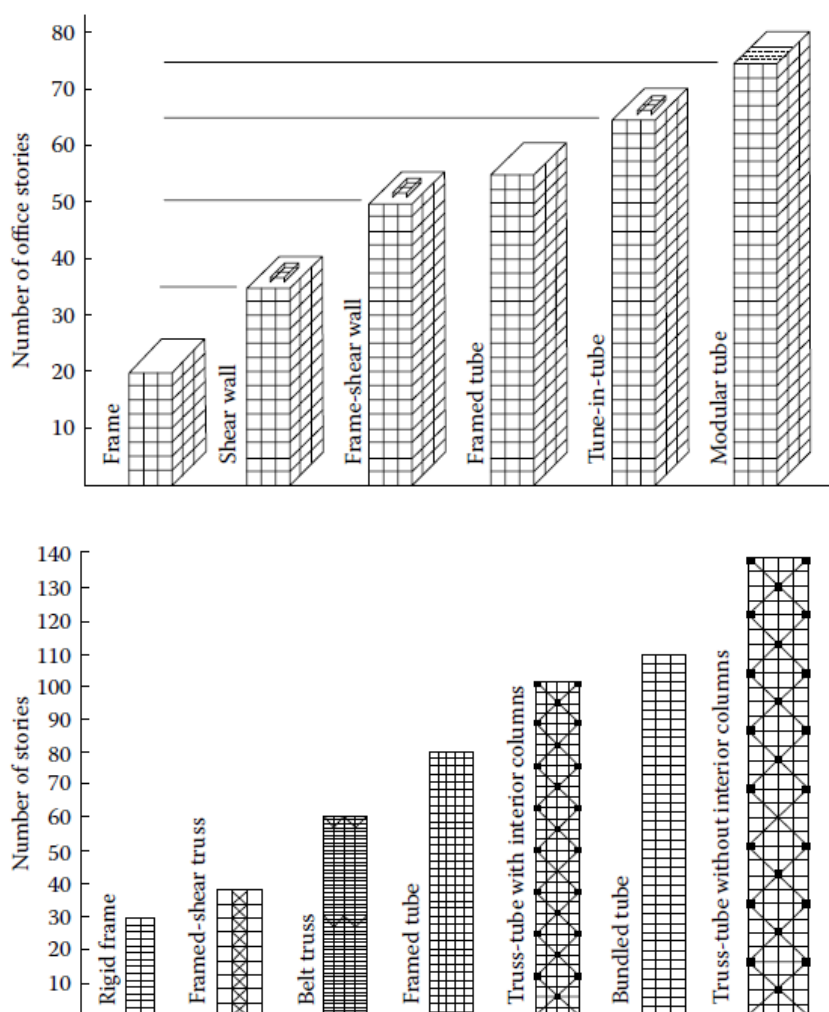
Struktur ini terdiri dari kolom dengan jarak yang lebar yang dikakukan dengan penggunaan bresing diagonal. Umumnya tabung bresing hanya digunakan untuk struktur dengan kurang dari 60 lantai, karena ketika ketinggian meningkat lebih banyak defleksi lateral akan mirip dengan struktur MRF.

Tube in Tube

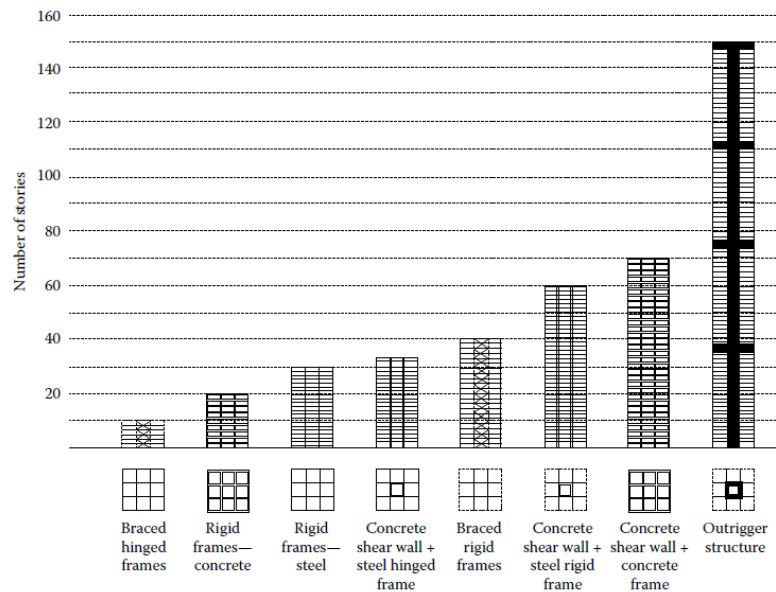
Sistem struktur ini merupakan kombinasi dari tabung frame luar dan inti bagian dalam bisa berupa dinding inti beton atau tabung baja dengan bcaring sehingga disebut struktur tabung-dalam-tabung. Inti bagian dalam dan tabung luar dihubungkan melalui diafragma lantai. Kedua tabung ini akan bekerja sama dalam menahan beban lateral.

Bundled Tube

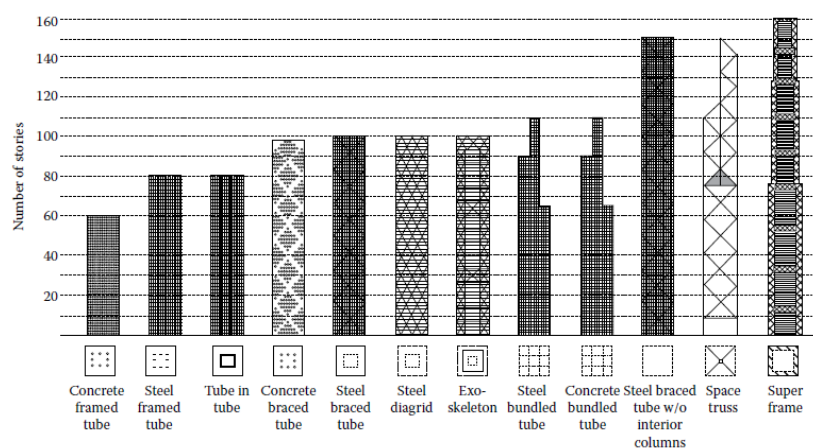
Sistem *Bundled Tube* atau tabung gabungan merupakan pengembangan lebih lanjut dari sistem tabung yang hanya menggunakan satu tabung. Beberapa struktur tabung digabungkan menjadi satu kesatuan sehingga membentuk multisel yang lebih besar untuk menahan gaya lateral.



Gambar 2.6 Sistem Struktur Bangunan Rendah Sampai Tinggi [9]



Gambar 2. 7 Tipe Interior Struktur Bangunan Tinggi [9]



Gambar 2.8 Tipe Eksterior Struktur Bangunan Tinggi [9]

2.2.2 Pemodelan Analisis Struktur Bangunan Gedung

Dalam pemodelan analisis struktur bangunan gedung diperlukan beberapa langkah-langkah proses sebagai berikut:

a. Verifikasi *Validity Software* (Validitas Perangkat Lunak)

Sebelum menentukan menggunakan perangkat lunak untuk membantu melakukan analisis struktur bangunan dalam hal ini adalah struktur gedung perlu dilakukan peninjauan terlebih dahulu perangkat lunak apa yang cocok digunakan sesuai dengan fitur analisis yang dapat dilakukan. Sangat banyak dan bermacam-macam jenis perangkat lunak sekarang ini dengan menawarkan berbagai kemampuan dalam menganalisis sebuah struktur bangunan. Sebelum melakukan analisis sebenarnya sangat disarankan untuk melakukan verifikasi perangkat lunak yang digunakan dengan

cara membandingkan analisis sederhana yang sudah ada hasil eksaknya dibandingkan analisis menggunakan perangkat lunak yang akan digunakan. Dengan melakukan verifikasi model-model seperti pada *patch test* struktur dapat diperoleh bagaimana kehandalan perangkat lunak yang digunakan.

b. Pemilihan Sistem Model Struktur

Sebelum melakukan pemodelan gedung untuk analisis perlu dengan pasti sistem struktur yang akan digunakan. Pemilihan konsep sistem struktur yang digunakan sebaiknya didiskusikan secara bersama antara divisi Struktur/Konstruksi, Arsitek, *Mechanical Electrical, Plumbing*, HVAC, Fondasi, Manajemen Konstruksi dan semua pihak yang terkait. Konsep pemilihan sistem struktur akan menjadi penetapan langkah awal menuju langkah selanjut untuk pemodelan yang tepat dalam melakukan analisis. Kesalahan pada langkah awal penetapan sistem struktur ini akan berakibat efek berantai untuk langkah selanjutnya yang dapat membuat semua penjadwalan penyelesaian berikut akan terganggu dan bahkan bisa melewati perencanaan jadwal yang sudah ditentukan.

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan sistem struktur yang digunakan seperti *Moment Resisting Frame*, *Shear Wall* dan *MRF*, *Outrigger*, *Tube* atau kombinasi dari beberapa sistem yang ada tentu bukan suatu penentuan yang mudah. Penentuan sistem struktur tentu harus didasari dari pengalaman profesional sebagai insinyur dalam menangani keragaman proyek, skala proyek berapa lantai, *code-code*/peraturan-peraturan yang berlaku dan waktu lamanya berkecimpung pada bidangnya.

Ketepatan pemilihan sistem struktur yang sesuai tentu akan memengaruhi nantinya bagaimana pemilihan sistem pelaksanaan pembangunan, pemilihan material yang digunakan sesuai dengan sistem struktur dipilih, dan akhirnya tentu berhubungan dengan harga proyek itu sendiri. Masing-masing pemilihan sistem struktur ini tentunya mempunyai konsekuensi tersendiri dan seorang insinyur teknik sipil sebaiknya dapat mengerti dengan baik dan benar.

c. Data Preparation/ Persiapan Data

Persiapan data sebelum melakukan pembuatan model matematis sangat penting agar dalam pendefinisian komponen yang akan diinput tidak terganggu. Beberapa data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

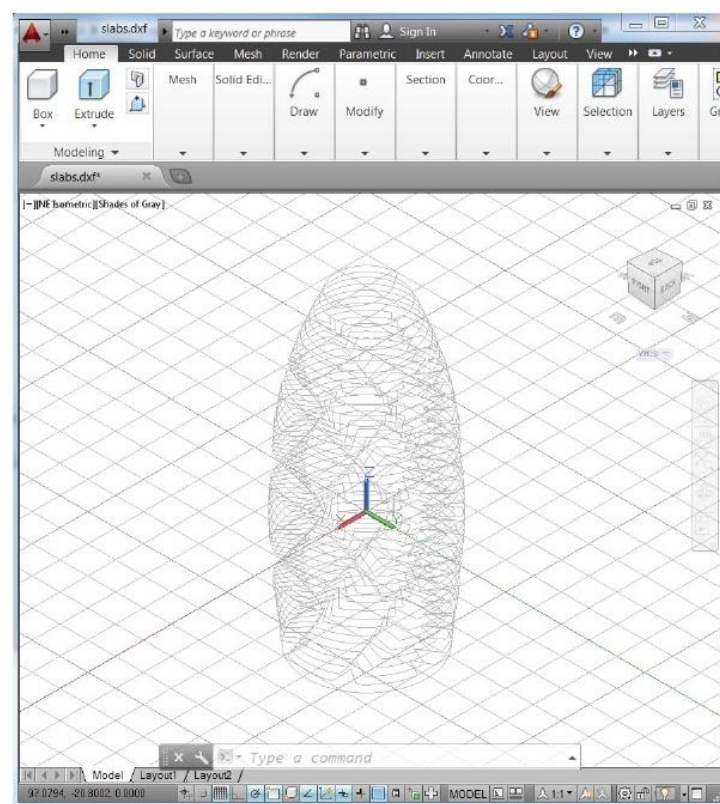
- Konsistensi dalam penggunaan satuan jarak, beban dan satuan-satuan lainnya yang berhubungan dengan input data.
- Dimensi bangunan yang akan diinput seperti jarak as-bangunan, bentuk geometri bangunan, ketinggian lantai dan juga kalau terdapat *basement*.
- Data material (*material properties*), ukuran-ukuran penampang (*section properties*), parameter hasil dari penyelidikan tanah, parameter gempa seperti lokasi bangunan, *Response Spectrum*, *Time History* dan data-data lain yang bersangkutan menunjang analisis.
- Geometri struktur yang berupa ukuran-ukuran jarak kolom, posisi balok utama, balok anak, ketebalan shear wall, dimensi ketebalan pelat dan juga dimensi lainnya

yang berhubungan dengan geometri matematis yang akan diinputkan ke dalam computer.

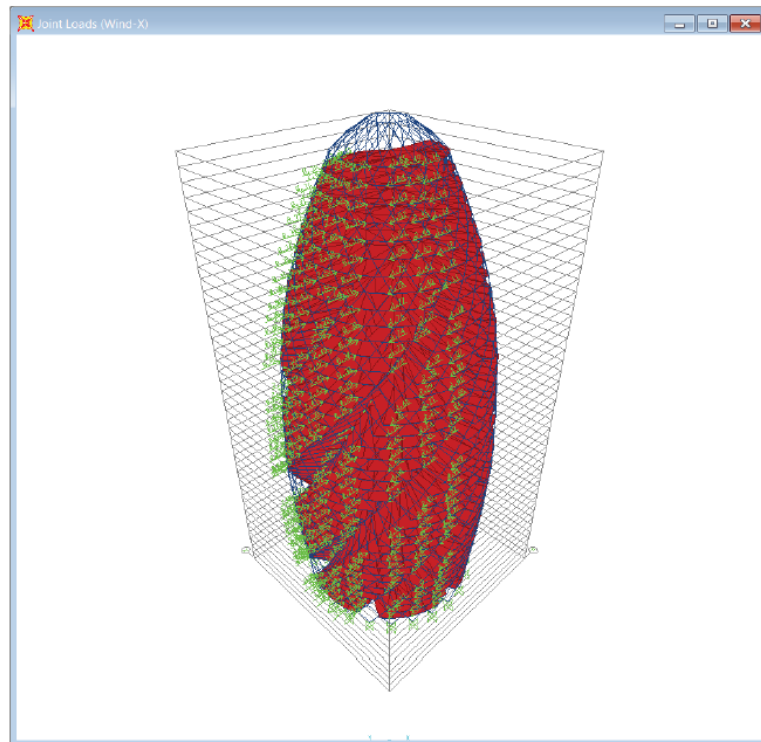
- Persiapan jenis beban yang ada pada struktur bangunan tersebut, beban berat sendiri, beban pelat lantai beserta beban tambahan seperti plafond, pemipaan air bersih, air kotor dan hydrant, dan semua beban apa saja yang akan bekerja di struktur bangunan tersebut.
- Kombinasi pembebanan yang sesuai dengan peraturan-peraturan desain yang berlaku untuk memasukkan faktor-faktor beban yang digunakan.
- Data-data lain penunjang yang mendukung dalam memasukan data untuk geometri struktur yang memudahkan kelancaran input data, walaupun biasanya kadang-kadang tidak terpenuhi semua karena kendala tertentu.

d. Geometry Modeling (Model Geometri)

Pemodelan dasar dari geometri struktur saat sekarang ini bisa menggunakan perangkat lunak yang berbeda dengan perangkat lunak untuk analisisnya sendiri model itu sendiri. Pemakaian yang berbeda ini untuk mempermudah pemodelan geometri yang berbentuk fungsi tertentu yang sulit dibuat apabila langsung dimasukan dengan menggunakan perangkat lunak yang digunakan untuk analisis. Kemampuan saling bertukar *interface* pada beberapa perangkat lunak memberikan kemudahan dalam input geometri ini seperti struktur geometri yang berbentuk kurva lengkung atau mempunyai fungsi geometri tertentu.



Gambar 2.9 Pemodelan Geometri Menggunakan AutoCad [5]



Gambar 2.10 Pemodelan Model Setelah Diimpor ke SAP2000 [5]

e. Material dan Section Properties

Data-data bahan material dan dimensi penampang pada persiapan data diinputkan secara lengkap dengan memasukkan semua parameter yang diminta oleh perangkat lunak yang dipakai. Banyak data diperlukan dalam input material dan dimensi penampang ini tetap memperhatikan konsistensi satuan yang diminta oleh masing-masing perangkat lunak. Ada parameter tambahan tertentu yang harus dimasukan apabila analisis akan berlanjut ketahapan yang lebih *advance* seperti *nonlinear analysis*, *push over analysis* dan sebagainya. Beberapa perangkat lunak menyediakan material dan dimensi penampang standar yang ada di pasaran yang dapat kita input langsung input dari *library data*.

f. Load Case (Kasus beban)

Pembagian pengelompokan banyaknya beban yang ada pada struktur bangunan sebaiknya dipisahkan menurut sifat dari beban tersebut, tidak dicampurkan semuanya menjadi satu sebagai beban total. Pemilahan ini sangat berguna dalam melakukan desain yang membutuhkan faktor-faktor tertentu untuk masing-masing tipe kasus beban yang ada pada bangunan. Secara umum pembagian kasus beban dapat dibagi sebagai berikut:

- *Self Weight* (Beban berat sendiri struktur yang dimodelkan).
- *Super Impose Dead Load* (Beban mati tambahan yang tidak dimodelkan).
- *Live Load* (Beban hidup).
- *Equipment Load* (Beban peralatan mekanikal elektrik, ducting dan sebagainya).
- *Wind Load* (Beban angin, umumnya pada bangunan tinggi).

- *Earthquake Load* (Beban gempa, pada zona gempa di lokasi bangunan tersebut).
- *Earth Pressure Load* (Beban tekanan tanah apabila ada basement).
- *Hydrostatic Load* (Beban tekanan air apabila muka air tanah tinggi dan ada basement).
- *Temperature Load* (Beban perubahan temperatur, pada lokasi bangunan 4 musim atau semi tropis yang mempunyai perubahan temperatur cukup besar).
- Beban lain-lain yang diperlukan sesuai dengan kasus masing-masing struktur bangunan.

g. *Load Combination* (Kombinasi beban)

Dengan memasukkan kasus-kasus pembebanan sesuai dengan jenis bebannya, maka dapat dilakukan kombinasi beban sesuai yang diperlukan dalam desain tertentu. Setiap desain biasanya memerlukan faktor-faktor beban yang berbeda-beda, beban berat sendiri tidak sama faktor bebannya dengan beban hidup. Demikian juga dengan faktor-faktor beban lainnya.

Beberapa perangkat lunak sudah bisa mengakomodasi secara otomatis membuat kombinasi beban sesuai dengan desain yang diperlukan, walaupun beberapa faktor perlu dilakukan penyesuaian sesuai dengan kebutuhan analisis dan peraturan daerah setempat yang digunakan.

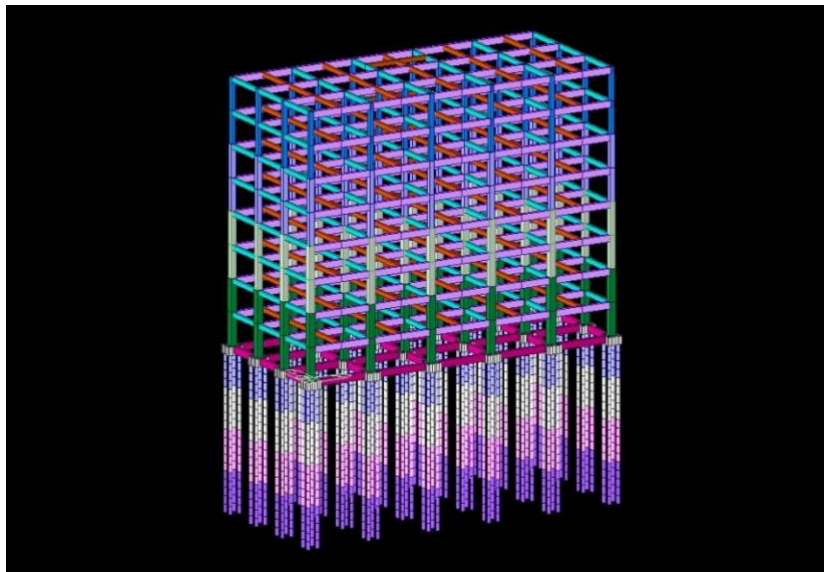
h. *Analysis*

Setelah semua data yang diperlukan untuk analisis diinputkan biasanya pada perangkat lunak menyediakan beberapa fitur untuk pengecekan awal seperti titik nodal yang tidak terhubung dengan elemen-elemen struktur, elemen terinput dobel secara tidak sengaja, ada kekurangan input seperti tidak terinput berat jenis material dan beberapa fitur lain pada masing-masing pembuat perangkat lunak.

Analisis pertama biasanya dilakukan terhadap analisis statik untuk melihat bagaimana respon bangunan terhadap beban tetap yang ada. Anggapan yang paling baik setelah selesai komputer melakukan analisis adalah **hasil analisis tidak 100 % benar**, hal ini diperlukan agar kita selalu waspada akan hasil-hasil yang dikeluarkan, karena komputer akan menerima input apapun selama input tersebut sesuai dengan format yang diminta dan hasil yang dikeluarkan sesuai dengan input diberikan atau dengan istilah *Garbage In Garbage Out*. Untuk menghindari hal yang tidak diinginkan seperti hasil yang salah maka perlu dilakukan beberapa verifikasi seperti perilaku struktur sudah sesuai dengan perkiraan, *displacement* yang terjadi sudah masuk akal, besaran gaya dalam elemen, reaksi perletakan struktur sudah sesuai dengan beban total yang bekerja, dan hasil lainnya yang bisa menjadi indikasi bahwa analisis struktur yang dilakukan sudah benar.

i. *Advance Analysis* (Analisis selanjutnya)

Setelah analisis statik memberikan hasil yang baik, maka dapat dilanjutkan ke analisis yang lebih tinggi seperti analisis dinamik untuk dapat melihat respons struktur terhadap gempa. Pada analisis dinamik ini akan diperoleh periode getar struktur dan *mode shape* (ragam bentuk) getar struktur. Ada dua metode untuk mendapatkan respons struktur dengan analisis dinamik dengan menggunakan *response spectrum* atau dengan *time histories* analisis tergantung seberapa jauh keperluannya.



Gambar 2.11 Pemodelan Model Struktur dengan Midas Gen [10]

j. Desain

Setelah proses analisis selesai dilanjutkan dengan proses desain elemen-elemen struktur seperti pelat lantai, balok/ girder, kolom dan shear wall atau elemen struktur lainnya. Proses ini biasa memakan waktu cukup lama karena harus dapat memilih atau memilah elemen-elemen struktur tersebut sehingga menghasilkan dimensi penampang dengan penulangan yang relatif seragam. Penulangan balok lantai 1 sampai dengan 4 mempunyai ukuran dan tulangan yang sama apabila di konstruksi beton dan seterusnya. Demikian juga dengan kolom dan elemen struktur lainnya untuk memudahkan saat pelaksanaan konstruksi sehingga tidak banyak macam dimensi dan ukuran tulangan yang menyulitkan baik saat penyediaan material dan pengelompokannya. Apabila terdapat dimensi yang tidak memenuhi syarat dapat dilakukan redesain dengan memperhatikan efisiensi.

k. Analisis kehandalan dan Detail

Untuk mengetahui kehandalan dan daya layan struktur perlu dilakukan analisis lebih lanjut seperti analisis *Push Over*. Analisis ini berguna untuk mengetahui dengan kondisi desain yang sudah dibuat bagaimana kapasitas kekuatan bangunan dan dimana perkiraan terjadi sendi-sendi plastis sebelum bangunan tersebut runtuh. Kehandalan ini perlu diketahui untuk bangunan-bangunan saat ini apalagi berada di zona gempa aktif. Dalam perencanaan gedung diutamakan kolom lebih kuat dari balok (*Strong Column Weak Beam*) agar bangunan tidak runtuh walaupun balok-balok rusak. Analisis lain yang harus dilakukan juga adalah *detailing analysis* (analisis detail) pada sambungan-sambungan balok dan kolom, balok dan *shear wall*, pelat dengan *shear wall* dan lainnya yang memerlukan perhatian khusus. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) untuk mendapatkan pola tegangan yang terjadi pada detail tersebut.

l. Analisis dan Desain Fondasi

Setelah semua analisis dan desain elemen struktur atas (*upper structure*), maka selanjutnya dilakukan analisis dan desain fondasi bangunan (*underground structure*). Analisis dan desain ini sangat penting karena bagaimanapun baik desain bangunan atas, tetapi desain fondasi bangunan tersebut gagal maka semuanya akan gagal. Analisis fondasi ini baru dapat dilakukan apabila analisis struktur bagian atas sudah selesai dilakukan atau sudah mendapatkan reaksi-reaksi kolom bawah bangunan.

Beberapa perangkat lunak sekarang sudah dapat melakukan sekaligus analisis struktur bagian atas dan struktur bagian bawah dengan menggunakan metode *Structure Soil Interaction* (Interaksi Struktur dan Tanah). Pemodelan ini menggabungkan modelling struktur bagian atas dengan model fondasi yang direncanakan lengkap dengan tiang-tiang pancang penyanggah beserta tanah sekitarnya. Metode analisis ini tidak mudah dilakukan karena banyak parameter dan model yang harus dibuat. Analisis ini memakan waktu cukup lama dan *CPU time* tinggi karena umumnya menggunakan analisis *non linear*.

m. Construction Stage Analysis (Analisis Tahapan Konstruksi)

Metode analisis ini merupakan metode dengan memperhitungkan sesuai kondisi saat bangunan dilaksanakan di lapangan dengan memasukkan tahapan-tahapan proses pembangunannya. Dengan cara ini diharapkan proses pembangunan di lapangan dapat disimulasikan seperti kondisi sebenarnya dengan menggunakan perangkat lunak yang mempunyai fitur seperti ini. Pada kenyataannya memang struktur bangunan tidak langsung berdiri sesuai dengan tinggi akhir pada puncak bangunan, tetapi secara bertahap, demikian juga beban yang bekerja tahap demi tahap dari fondasi, lantai dasar, kolom lantai dasar, balok dan pelat lantai 1, kolom lantai 2, balok dan pelat lantai 2 dan seterusnya. Tahapan ini dapat mensimulasikan apakah terdapat efek pada elemen-elemen struktur tersebut saat ditambah secara bertahap, mengingat belum seluruh elemen terhubung satu sama lain seperti struktur akhirnya.

Proses konstruksi ini mempunyai pengaruh sangat besar apabila struktur merupakan bangunan tinggi dengan tahap pembangunan yang cukup lama. Perpendekan pada elemen kolom dan *shear wall* yang tidak sama dapat terlihat saat simulasi berlangsung dan dapat segera diantisipasi dengan penerapan berbagai macam metode saat pelaksanaan maupun melakukan redesain kembali terhadap elemen-elemen struktur yang berkendala.

n. Construction Drawing (Gambar Konstruksi)

Proses ini dapat dilakukan setelah semua proses sebelumnya selesai, tetapi saat ini dengan memanfaatkan integrasi perangkat lunak analisis dan gambar maka dapat dilakukan pada waktu bersamaan. Dengan dapat di *update* secara *real time* maka proses penggambaran dapat dilakukan tanpa harus menunggu semua perhitungan dan analisis struktur selesai terlebih dahulu. Demikian juga apabila terjadi perubahan dimensi pada analisis, proses penggambaran akan secara otomatis terbarukan. Walaupun demikian tetap sistematis penggambaran dan *style* gambar harus disesuaikan agar tidak menyulitkan pembacaan di lapangan.

2.3 Penutup

Proses pemodelan struktur bangunan merupakan suatu seni dengan melibatkan banyak pengetahuan, referensi, pengalaman dan juga seberapa banyaknya permasalahan yang dapat diselesaikan sebagai insinyur dalam bidang teknik sipil. Setiap proses akan berkembang semakin baik setiap tahapannya sesuai dengan perkembangan teknologi komputer yang semakin cepat, presisi dan perangkat lunak analisis struktur yang semakin *smart*. Walaupun demikian tetap *feeling engineering* seorang insinyur yang berperan dalam menentukan hasil akhirnya atau *man behind the computer*. Dengan demikian apabila pemodelan dilakukan dengan baik, benar dan optimal maka akan tercapai konstruksi bangunan yang berkelanjutan dan berkeselamatan.

Referensi

- [1] President's Information Technology Advisory Committee. Computational Science: Ensuring America's Competitiveness. Report to the President. National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2005, Arlington, VA, USA.
- [2] High-End Computing Revitalization Task Force. Federal Plan for High-End Computing. Report of the High-End Computing Revitalization Task Force (HECRTF). National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2004Arlington, VA, USA.
- [3] Nelson Minar, Roger Burkhart, Chris Langton, and Manor Askenazi. 1996, The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-agent Simulations.
- [4] Kurt Binder and Dieter W. Heermann. 1988, Monte Carlo Simulation in Statistical Physics, volume 80 of Springer Series in Solid-State Sciences. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [5] Fu, Feng, 2015, Advanced modelling techniques in structural design, JohnWiley & Sons, Ltd.
- [6] Narim, F. 1989. Design for Drift and Lateral Stability, Seismic Design Handbook, NewYork: Van Nostrand Reinhold.
- [7] Kowalczyk R., Sinn R, Kilmister M. B. 1995. Structural Systems for Tall Buildings. New York: McGraw-Hill.
- [8] Ching, Francis D.K., Onouye, Barry, Zuberbuhler, 2014, Doug. Building Structures Illustrated, Wiley.
- [9] Mir, Ali M. and Moon K. S., 2007. "Structural developments in tall buildings: current trends and future prospect", Architectural Science Review.
- [10] MIDAS, 2017, Basic Analysis using Midas Software, Structural Analysis I, Korea.