

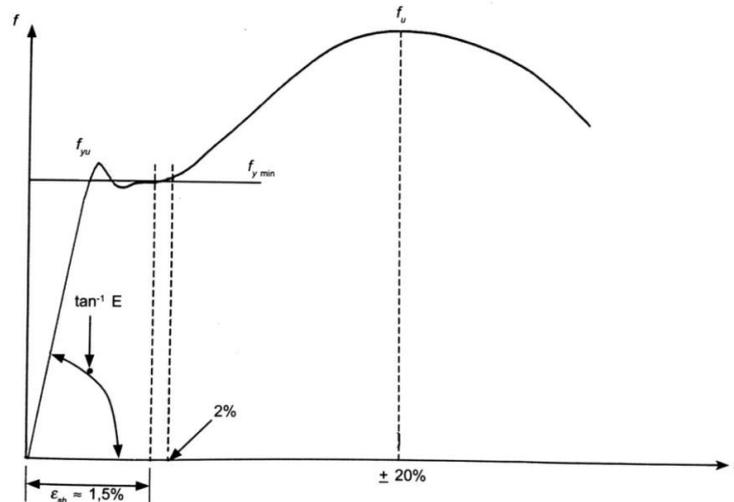
BAB III

LANDASAN TEORI

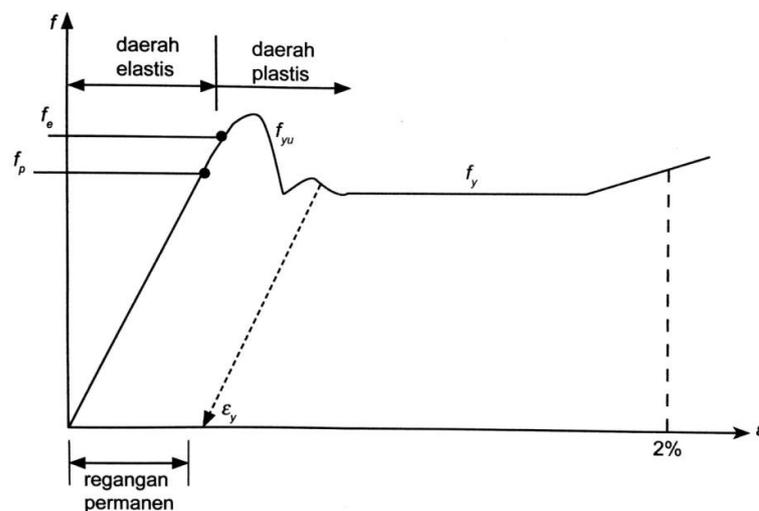
A. Baja

Baja adalah suatu campuran dari besi (Fe), 1,7% zat arang atau karbon (C), 1,65% mangan (Mn), 0,6% silikon (Si), dan 0,6% tembaga (Cu) (Arifwan, 2007). Baja adalah logam paduan yang tersusun dari besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai *grade*-nya. Karbon memberikan pengaruh besar pada sifat baja. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Beumer, 1994).

Menurut Setiawan (2008), Seorang ahli struktur harus memahami sifat-sifat mekanik dari baja agar dapat memahami perilaku suatu struktur baja. Model pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik material baja adalah dengan melakukan uji tarik terhadap suatu benda uji baja. Uji tekan tidak dapat memberikan data yang akurat terhadap sifat-sifat mekanik material baja, karena disebabkan beberapa hal antara lain adanya potensi tekuk pada benda uji yang mengakibatkan ketidakstabilan dari benda uji tersebut, selain itu perhitungan tegangan yang terjadi di dalam benda uji lebih mudah dilakukan untuk uji tarik daripada uji tekan. Gambar 3.1 dan 3.2 menunjukkan suatu hasil uji tarik material baja yang dilakukan pada suhu kamar serta dengan memberikan laju regangan yang normal. Tegangan nominal (f) yang terjadi dalam benda uji diplot pada sumbu vertikal, sedangkan regangan (e) yang merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula ($\Delta L/L$) diplot pada sumbu horizontal. Gambar 3.1 merupakan hasil uji tarik dari suatu benda uji baja yang dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan, sedangkan Gambar 3.2 menunjukkan gambaran yang lebih detail dari perilaku benda uji hingga mencapai regangan sebesar $\pm 2\%$.



Gambar 3.1 Kurva hubungan tegangan (f) vs regangan (ϵ)
(Sumber: Setiawan, 2008)



Gambar 3.2 Kurva hubungan tegangan (f) – regangan (ϵ) yang diperbesar
(Sumber: Setiawan, 2008)

Titik-titik penting dalam kurva tegangan-regangan antara lain adalah:

- f_p : batas proporsional
- f_e : batas elastis
- f_{yu}, f_y : tegangan leleh atas dan bawah
- f_u : tegangan putus (*Ultimate Stress*)
- ϵ_{sh} : regangan saat mulai terjadi efek *strain-hardening* (penguatan regangan)

e_u : regangan saat tercapainya tegangan putus

Titik-titik penting ini membagi kurva tegangan-regangan menjadi beberapa daerah sebagai berikut:

1. Daerah linear antara 0 dan f_p , dalam daerah ini berlaku Hukum *Hooke*, kemiringan dari bagian kurva yang lurus ini disebut sebagai Modulus Elastisitas atau Modulus *Young*, $E (= f/e)$.
2. Daerah elastis antara 0 dan f_e , pada daerah ini jika beban dihilangkan maka benda uji akan kembali ke bentuk semula atau dikatakan bahwa benda uji tersebut masih bersifat elastis.
3. Daerah plastis yang dibatasi oleh regangan antara 2% hingga 1,2-1,5%, pada bagian ini regangan mengalami kenaikan akibat tegangan konstan sebesar f_y . Daerah ini dapat menunjukkan pula tingkat daktilitas dari material baja tersebut. Pada baja mutu tinggi terdapat pula daerah plastis, namun pada daerah ini tegangan masih mengalami kenaikan. Karena itu baja jenis ini tidak mempunyai daerah plastis yang benar-benar datar sehingga tak dapat dipakai dalam analisa plastis.
4. Daerah penguatan regangan (*strain-hardening*) antara e_{sh} dan e_u . Untuk regangan lebih besar dari 15 hingga 20 kali regangan elastis maksimum, tegangan kembali mengalami kenaikan namun dengan kemiringan yang lebih kecil daripada kemiringan daerah elastis. Daerah ini dinamakan daerah penguatan regangan (*strain-hardening*), yang berlanjut hingga mencapai tegangan putus. Kemiringan daerah ini dinamakan modulus penguatan regangan (E_{st}).

Dalam perencanaan struktur baja, SNI 03-1729-2002 mengambil beberapa sifat-sifat mekanik dari material baja yang sama yaitu:

- Modulus Elastisitas, E = 200000 MPa
- Modulus Geser, G = 80000 MPa
- Angka *poisson* = 0,3
- Koefisien muai panjang, α = $12.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan tegangan putusnya, SNI 03-1729-2002 mengklasifikasikan mutu dari material baja menjadi 5 kelas mutu yang disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Sifat-sifat mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan Leleh minimum, f_y (MPa)	Regangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber: SNI 03-1729-2002)

Baja sebagai material konstruksi memiliki kelebihan dan kelemahan, berikut keunggulan baja sebagai material konstruksi:

1. Kekuatan Tinggi (*High Strength*)

Baja struktural umumnya mempunyai daya tarikan (*tensile strength*) antara 400-900 MPa. Hal ini sangat berguna untuk dipakai pada struktur-struktur yang memiliki bentang panjang dan struktur pada tanah lunak.

2. Keseragaman (*Uniformity*)

Sifat-sifat baja tidak berubah karena waktu. Hampir seluruh bagian baja memiliki sifat-sifat yang sama sehingga menjamin kekuatannya.

3. Elastisitas (*Elasticity*)

Baja mendekati perilaku seperti asumsi yang direncanakan oleh perencana, karena mengikuti hukum Hooke, walaupun telah mencapai tegangan yang cukup tinggi. Modulus elastisitasnya sama untuk tarik dan tekan.

4. Daktilitas (*Ductility*)

Daktilitas adalah kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastik bolak-balik berulang diluar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya.

Manfaat daktilitas ini bagi kinerja struktural adalah pada saat baja mengalami pembebanan yang melebihi kekuatannya, baja tidak langsung hancur tetapi akan meregang sampai batas daktilitas. Demikian juga pada beban siklik, daktilitas yang tinggi menyebabkan baja dapat menyerap energi yang besar.

5. Kuat Patah/Rekah (*Fracture Toughness*)

Baja adalah material yang sangat ulet sehingga dapat memikul beban yang berulang-ulang. Komponen struktur baja yang dibebani sampai mengalami deformasi besar, masih mampu menahan gaya-gaya yang cukup besar tanpa mengalami *fracture*. Keuletan ini dibutuhkan jika terjadi konsentrasi tegangan walaupun tegangan yang masih dibawah batas yang diizinkan. Pada bahan yang tidak memiliki keuletan yang tinggi, keruntuhan dapat terjadi pada tegangan yang rendah dan akan bersifat getas (keruntuhan secara langsung).

Berikut kelemahan baja sebagai material konstruksi:

1. Biaya Perawatan (*Maintenance Cost*)

Baja bisa berkarat karena berhubungan dengan air dan udara. Oleh sebab itu, baja harus dicat secara berkala.

2. Biaya Penahan Api (*Fire Proofing Cost*)

Kekuatan baja dapat berkurang drastis pada temperatur tinggi.

3. Kelelahan (*Fatigue*)

Kelelahan pada baja tidak selalu dimulai dengan *yielding* (leleh) atau deformasi yang sangat besar, tetapi dapat juga disebabkan beban siklik ataupun pembebanan berulang-ulang dalam jangka waktu yang lama. Kejadian ini sering terjadi dengan adanya konsentrasi tegangan karena adanya lubang.

4. Rekah Kerapuhan

Struktur baja ada kalanya tiba-tiba runtuh tanpa menunjukkan tanda-tanda deformasi yang membesar. Kegagalan ini sangat berbahaya dan harus dihindari. Berbeda dengan kelelahan, rekah kerapuhan disebabkan oleh beban statik.

B. Sistem Rangka Portal Baja

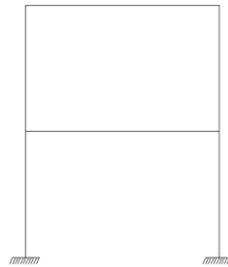
Portal baja merupakan salah satu struktur pendukung utama yang banyak digunakan pada bangunan bertingkat. Struktur ini memiliki keunggulan dalam hal rasio berat sendiri dengan daya dukung beban yang dapat dipikulnya. Tetapi hal tersebut membawa dampak kerugian di aspek lain yaitu struktur menjadi langsing dan menjadi kurang menguntungkan pada perilaku responnya saat menerima beban-beban dinamik yang umumnya bekerja secara horizontal.

Terdapat beberapa macam struktur rangka baja yang digunakan sebagai struktur baja tahan gempa diantaranya adalah Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Struktur Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK), Struktur Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB), dan Struktur Rangka Bresing Eksentrik (SRBE).

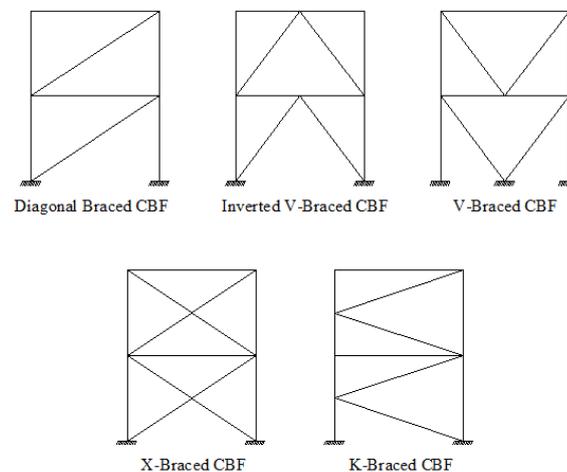
Semakin tinggi dan semakin banyaknya jumlah tingkat pada portal bidang terbuka berakibat semakin menurunnya stabilitas terhadap beban horizontal, meski elemen-elemennya telah didesain dengan dimensi yang sesuai dengan kriteria yang telah disyaratkan. Hal ini dapat teridentifikasi dari perpindahan lateral yang terjadi pada portal tingkat tinggi yang melebihi ketentuan indeks simpangan lateral yang disyaratkan. Salah satu usaha untuk mengurangi perpindahan lateral atau menambah stabilitas terhadap beban horisontal adalah dengan menambah elemen pengaku diagonal (*bracing*) tunggal. Dalam hal ini tipe pengaku (*bracing*) diagonal yang dianalisis pada portal baja bertingkat yaitu jenis x , z , k konsentris, k eksentris (Panuluh, 2010).

Menurut Hutagalung (2011), terdapat beberapa jenis portal baja tahan gempa hingga saat ini. Secara umum terdapat 2 jenis portal baja tahan gempa, yaitu *moment resisting frames* (MRF) seperti pada Gambar 3.3 dan *braced frames* (BF) seperti pada Gambar 3.4. Masing-masing jenis portal baja tersebut memiliki karakteristik masing-masing yang berbeda. Sistem struktur MRF memberikan ruang yang luas pada suatu bangunan. Oleh karena itu, sistem ini sering diminati oleh banyak arsitek dan juga banyak digunakan untuk struktur gedung institusi atau perkantoran yang memerlukan ruang yang luas. Pada sistem struktur MRF, sambungan antara balok dan kolom harus didesain cukup kuat untuk memperkuat

kekuatan balok dan mengurangi resiko keruntuhan *brittle* pada sambungan balok dan kolom. Berbeda dengan sistem struktur MRF, portal *braced frames* memiliki elemen bresing untuk meningkatkan kekakuan strukturnya. Portal *braced frames* didesain untuk meminimalisir masalah kekakuan yang terdapat pada jenis portal MRF. Terdapat 2 jenis portal *braced frames* yaitu *centrically braced frames* (CBF) dan *eccentrically braced frames* (EBF).



Gambar 3.3 *Moment resisting frames* (MRF)
(Sumber: Hutagalung, 2011)



Gambar 3.4 Jenis-jenis *centrically braced frames*
(Sumber: Hutagalung, 2011)

C. Sistem Rangka *Bracing*

Sistem rangka *bracing* adalah struktur yang mampu menahan gaya lateral. SNI 03-1729-2002 mengklasifikasikan beberapa macam sistem rangka untuk struktur bangunan baja tahan gempa yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Di dalam SNI 03-1729-2002 pasal 15.7.1, SRPMK diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang besar apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. SRPMK harus memenuhi persyaratan pada Butir 15.7.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Terbatas (SRPMT)

Di dalam SNI 03-1729-2002 pasal 15.8.1, SRPMT diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara moderat akibat gaya gempa rencana. SRPMT harus memenuhi persyaratan pada butir ini dan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga deformasi inelastis akibat beban gempa rencana terakomodasi dengan tercapainya pelelehan pada komponen struktur untuk rangka dengan sambungan kaku, atau tercapainya pelelehan pada sambungan untuk rangka dengan sambungan semi kaku.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Di dalam SNI 03-1729-2002 pasal 15.9.1, SRPMB diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas pada komponen struktur dan sambungan-sambungannya akibat gaya gempa rencana. SRPMB harus memenuhi persyaratan pada butir-butir di bawah ini.

4. Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK)

Di dalam SNI 03-1729-2002 pasal 15.10.1, SRBPMK adalah suatu struktur rangka batang pemikul momen yang dipasang secara horizontal. Pada SRBPMK ada suatu segmen khusus yang terdiri dari beberapa panel dengan batang-batangnya direncanakan secara khusus. SRBPMK direncanakan mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada segmen khusus saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana. Jarak antar kolom pada SRBPMK dibatasi tidak lebih dari 20 meter dan tinggi keseluruhan tidak lebih dari 2 meter. Kolom-kolom dan segmen lainnya selain segmen khusus harus direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis akibat gaya-gaya yang dihasilkan oleh segmen khusus pada saat mengalami pelelehan penuh hingga tahap perkerasan regangan.

5. Sistem Rangka Bresing Konsentris Khusus (SRBKK)

Di dalam SNI 03-1729-2002 pasal 15.11.1, SRBKK diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar akibat gaya gempa rencana. SRBKK memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi daripada tingkat daktilitas SRBKB mengingat penurunan kekuatannya yang lebih kecil pada saat terjadinya tekuk pada batang bresing tekan. Pada pasal 15.11.2.3, distribusi beban lateral pada bidang bresing, batang-batang bresing harus dipasang dengan arah selang-seling, sedemikian rupa sehingga pada masing-masing arah gaya lateral yang sejajar dengan bidang bresing, minimal 30% tapi tidak lebih dari 70% gaya horizontal total harus dipikul oleh batang bresing tarik, kecuali jika kuat nominal tekan N_n untuk setiap bresing lebih besar daripada beban terfaktor N_u sesuai dengan kombinasi pembebanan pada (15.3-1) dan (15.3-2). Bidang bresing adalah suatu bidang yang mengandung batang-batang bresing atau bidang-bidang paralel yang mengandung batang-batang bresing dengan jarak antar bidang-bidang tersebut tidak lebih dari 10% dimensi tapak bangunan tegak lurus bidang tersebut.

6. Sistem Rangka Bresing Konsentris Biasa (SRBKB)

Di dalam SNI 03-1729-2002 pasal 15.12.1, SRBKB diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana.

7. Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE)

Pada SNI 03-1729-2002 pasal 15.13.1, pada SRBE ada suatu bagian dari balok yang disebut *Link* dan direncanakan secara khusus. SRBE diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada *Link* saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana. Kolom-kolom, batang bresing, dan bagian dari balok di luar *Link* harus direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis akibat gaya-gaya yang dihasilkan oleh *Link* pada saat mengalami pelelehan penuh hingga tahap perkerasan regangan kecuali bila diatur lain dalam butir 15.13.

D. Beban Lateral

Menurut Setiawan (2008), beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang cukup sulit. Dan pada umumnya penentuan besarnya beban hanya merupakan suatu estimasi saja. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka masalah berikutnya adalah menentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut.

Beban gempa/lateral adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal maupun horizontal. Namun pada umumnya percepatan tanah arah horizontal lebih besar daripada arah vertikalnya, sehingga pengaruh gempa horizontal jauh lebih menentukan daripada gempa vertikal. Besarnya gaya geser dasar (statik ekuivalen) ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$V = \frac{C \times I}{R} \cdot W_t \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana:

C = faktor respon gempa yang ditentukan berdasarkan lokasi bangunan dan jenis tanahnya

I = faktor keutamaan gedung

R = faktor reduksi gempa yang tergantung pada jenis struktur yang bersangkutan

W_t = berat total bangunan termasuk beban hidup yang bersesuaian.

E. Analisis Statik Ekuivalen

Metode analisis untuk mengetahui distribusi vertikal gaya gempa yaitu analisis statik ekuivalen, analisis dinamik riwayat waktu (*time history*), dan analisis dinamik ragam respon spektra. Perbedaan antara analisis dinamik dengan statik ekuivalen yaitu sebagai berikut:

1. Analisis statik ekuivalen
 - a. Lebih praktis

- b. Penyederhanaan dari beban gempa dinamik, gaya horizontal F bekerja pada pusat massa bangunan dan bersifat statik
- c. Hanya memperhitungkan kontribusi dari *mode* ke-1
- d. Hanya cocok untuk bangunan yang cenderung kaku (bangunan rendah)
- e. Pengaruh gempa rencana pada bangunan regular (ketinggian tidak lebih dari 40 m atau 10 tingkat) dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statik ekuivalen. (Ketentuan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012)

2. Analisis dinamik

- a. Sangat rumit (tidak praktis)
- b. Butuh banyak waktu
- c. Lebih mendekati kondisi sesungguhnya
- d. Pengaruh gempa rencana pada bangunan irregular (ketinggian > 40 m atau 10 tingkat) harus ditinjau sebagai pengaruh beban dinamik. (Ketentuan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012)

Analisis statik ekuivalen adalah salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekuivalen. Menurut Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung (SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726-2012), analisis statik ekuivalen cukup dapat dilakukan pada gedung yang memiliki struktur beraturan. Sedangkan untuk struktur gedung tidak beraturan, maka pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik dimana analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik. Langkah-langkah untuk analisis statik ekuivalen yaitu:

1. Menghitung berat total struktur (W_t)

Berat bangunan tiap lantai dihitung dengan memperhitungkan semua komponen bangunan yang ada di atasnya termasuk berat sendiri struktur (balok, kolom, dan lain-lain), beban mati, beban hidup, dan seluruh elemen vertikal yang membebani pada tiap lantai di atasnya. Beberapa contoh beban mati dan beban hidup seperti pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Beban mati

No.	Material	Berat Satuan
1.	Beton bertulang	24 kN/m ³
2.	Dinding ½ batu	2,5 kN/m ³
3.	Plafond, rangka, penggantung	0,2 kN/m ³
4.	Pasir	18 kN/m ³
5.	Usuk, reng, genting	0,5 kN/m ³
6.	Kayu	1 kN/m ³

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983)

Tabel 3.3 Beban hidup pada lantai gedung

Kegunaan Bangunan	Berat
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana	125 kg/m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250 kg/m ²
Lantai ruang olahraga	400 kg/m ²
Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, ruang mesin, dan lain-lain	400 kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat, untuk lantai bawah	800 kg/m ²

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung, 1983)

2. Menghitung periode fundamental struktur (T)

Waktu getar alami fundamental (periode fundamental) struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus *Rayleigh* sebagai berikut:

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana:

W_i = berat lantai tingkat ke-i

F_i = gaya horizontal tingkat ke-i

d_i = simpangan horizontal lantai tingkat ke-i (mm)

g = percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar 981 cm/det²

Dalam pedoman SNI 1726:2012 disebutkan bahwa untuk keperluan analisis pendahuluan struktur dan pendimensian dari unsur-unsurnya, waktu getar alami (T_1 dalam detik) struktur gedung berupa portal tanpa unsur-unsur pengaku tanpa simpangan dapat ditentukan dengan rumus pendekatan sebagai berikut:

$$T_a = Ct (h_n)^x \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana:

h_n = ketinggian struktur (m)

koefisien Ct dan x ditentukan dari Tabel 15 dalam SNI 1726-2012

3. Menentukan keutamaan bangunan (I_e)

Untuk menentukan kategori risiko bangunan gedung dan non gedung yang akan ditinjau untuk beban gempa dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: a. Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan b. Fasilitas sementara c. Gudang penyimpanan d. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: a. Perumahan b. Rumah toko dan rumah kantor c. Pasar d. Gedung perkantoran e. Gedung apartemen/rumah susun f. Pusat perbelanjaan/mall	II

Tabel 3.4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (Lanjutan)

<ul style="list-style-type: none"> g. Bangunan industri h. Fasilitas manufaktur i. Pabrik 	
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi, tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Bioskop b. Gedung pertemuan c. Stadion d. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat e. Fasilitas penitipan anak f. Penjara g. Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan missal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Pusat pembangkit listrik biasa b. Fasilitas penanganan air c. Fasilitas penanganan limbah d. Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi, tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Bangunan-bangunan monumental 	IV

Tabel 3.4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (Lanjutan)

<p>b. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</p> <p>c. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</p> <p>d. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</p> <p>e. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</p> <p>f. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</p> <p>g. Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</p> <p>h. Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</p> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
--	--

(Sumber: SNI 1726:2012)

4. Menentukan parameter percepatan spektrum respon desain (S_{DS} dan S_{D1})

Untuk menentukan parameter spektrum respon desain digunakan berdasarkan acuan pada http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011. Dari *website* tersebut diperoleh nilai S_s dan S_1 yang mana akan digunakan untuk menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1} . Nilai S_{DS} dan S_{D1} didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{MS} = S_s \times F_a \dots\dots\dots(3.4)$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v \dots\dots\dots(3.5)$$

$$S_{DS} = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_{MS} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$S_{D1} = \left(\frac{2}{3}\right) \times S_{M1} \dots\dots\dots(3.7)$$

5. Menentukan nilai koefisien respon seismik (C_S)

Nilai koefisien respon seismik dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$C_S = S_{DS} / \left(\frac{R}{I_e}\right) \dots\dots\dots(3.8)$$

$$C_{S \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \dots\dots\dots(3.9)$$

$$C_{S \max} = \frac{S_{D1}}{T_a \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(3.10)$$

6. Menghitung gaya geser dasar (V)

Dalam SNI 1726-2002 disebutkan bahwa struktur bangunan gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut yaitu berupa beban nominal statik ekuivalen. Maka dapat dirumuskan gaya geser dasar menurut persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{C \cdot I}{R} W_t \dots\dots\dots(3.11)$$

dimana:

V = gaya geser dasar gempa

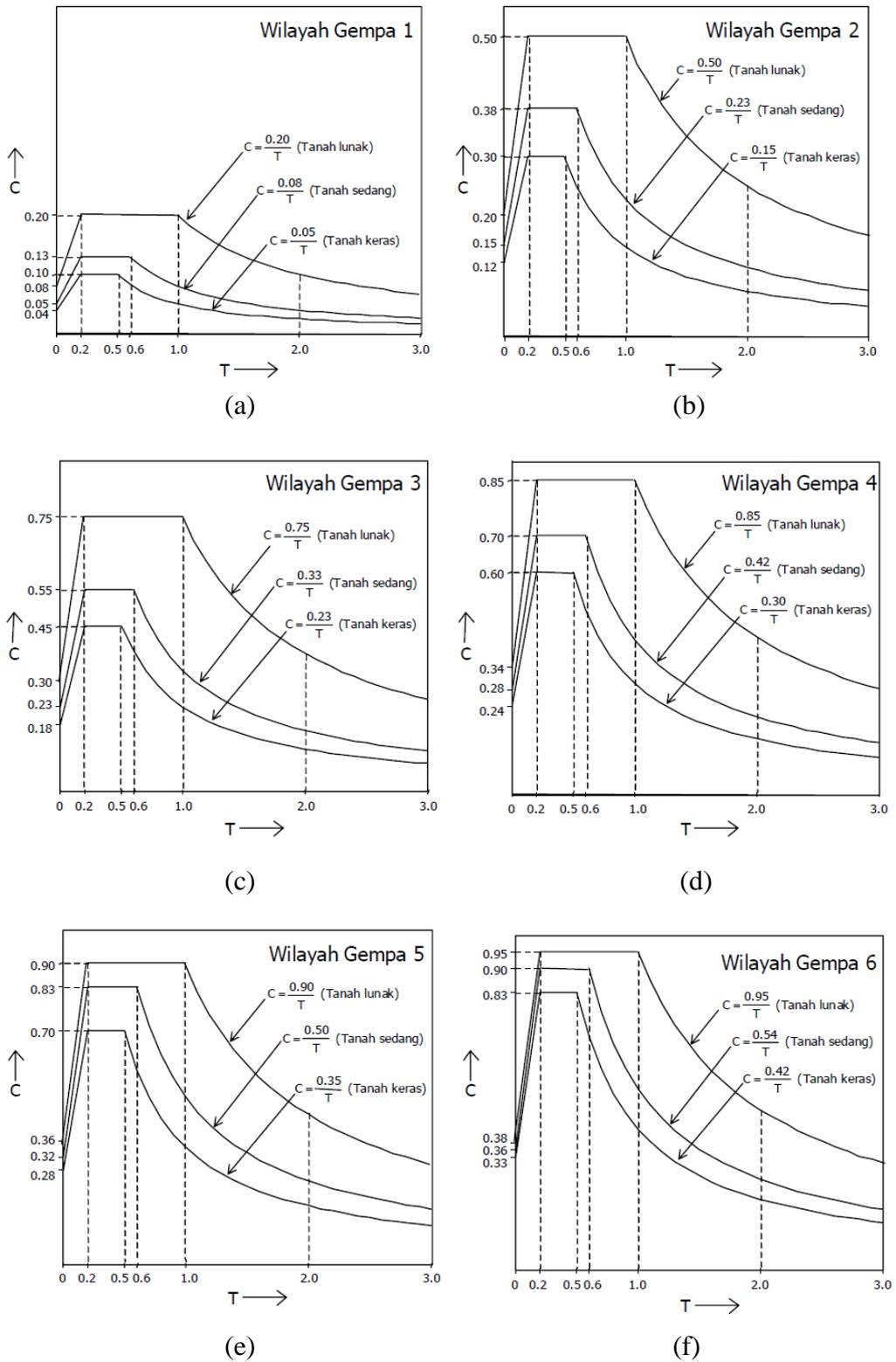
C = koefisien gempa dasar

R = koefisien reduksi gempa

W_t = berat total struktur

I = faktor keutamaan struktur

Koefisien gempa dasar C , dihitung sesuai dengan tempat dimana bangunan akan dibangun, yaitu dengan menghubungkan antara periode getar struktur dengan jenis tanah tempat struktur akan dibangun. Dalam SNI 1726-2002, Indonesia terbagi kedalam 6 wilayah gempa, di mana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk setiap wilayah gempa adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5 Respon spektrum gempa rencana dengan percepatan puncak batuan dasar 0,03g (a), 0,10g (b), 0,15g (c), 0,20g (d), 0,25g (e), dan 0,30g (f)

Setelah semua komponen untuk mencari gaya geser dasar (V) sudah ditemukan, maka gaya geser dasar (V) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_S \times W_{\text{total}} \dots\dots\dots(3.12)$$

7. Menghitung distribusi vertikal gaya gempa (gaya horizontal tingkat, F_i)
- Sebelum menghitung nilai distribusi vertikal gaya gempa, harus diketahui nilai k yang digunakan terlebih dahulu. Nilai k diambil berdasarkan SNI-1726-2012 pasal 7.8.3 tentang Distribusi Vertikal gaya Gempa yang menyatakan bahwa :
- Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang, maka nilai $k = 1$
 - Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau lebih, maka nilai $k = 2$
 - Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik dan 2,5 detik, maka nilai k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Setelah sudah ditentukan nilai k maka nilai distribusi vertikal gaya gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_i = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} V \dots\dots\dots(3.13)$$

dimana:

W_i = berat seismik efektif total struktur (W) pada tingkat i

h_i = tinggi dari dasar sampai tingkat i (m)

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

8. Mengontrol nilai periode fundamental struktur (T) menurut rumus Rayleigh
- Untuk mengontrol nilai periode fundamental struktur (T) menurut rumus Rayleigh dengan rumus sebagai berikut:

$$T = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{\sum w_i \cdot d_i^2}{g \cdot \sum F_i \cdot d_i}} \dots\dots\dots(3.14)$$

dimana:

W_i = bagian berat seismik efektif total (W) pada tingkat ke i

d_i = simpangan horizontal lantai pada tingkat ke i

F_i = merupakan gaya horizontal lantai pada tingkat ke i

g = percepatan gravitasi 981 cm/detik^2 .

F. Kekakuan Struktur

Menurut Apriani (2012), kekakuan struktur merupakan gaya yang dapat disimpan oleh sistem struktur bila struktur diberi perpindahan baik itu perpanjangan, perpendekan, perputaran sudut, atau deformasi-deformasi lainnya. Kekakuan dari suatu sistem struktur adalah penjumlahan dari kekakuan masing-masing elemen pembentuk struktur tersebut, yang meliputi panjang (L), modulus elastisitas (E), momen inersia (I), momen inersia polar (J), modulus elastisitas geser (G), dan luas penampang.

Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 5.5.1, dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh beban gempa rencana, pengaruh peretakan beton pada unsur-unsur struktur pada beton bertulang, beton prategang, dan baja komposit harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Untuk itu, momen inersia penampang unsur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan suatu presentase efektivitas penampang.

Menurut Supartono (1980), dengan metode kekakuan ini sebenarnya dicari hubungan gaya dengan lendutan, atau dinyatakan secara matematis:

$$\{Q\} = [K] \cdot \{D\} \dots\dots\dots(3.15)$$

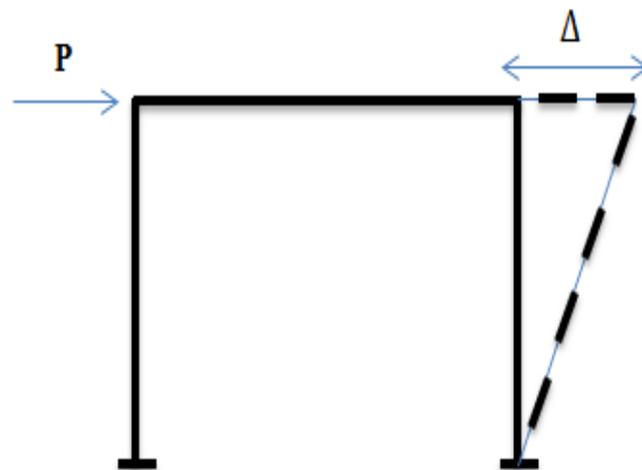
$\{Q\}$ menyatakan gaya-gaya yang timbul pada titik-titik diskrit akibat diberikannya lendutan $\{D\}$ pada titik tersebut. Tentu saja gaya $\{Q\}$ adalah gaya yang koresponding dengan lendutan $\{D\}$ sedangkan $[K]$ menyatakan kekakuan dari struktur. Perbandingan antara beban dan *displacement* dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Metode kekakuan ini juga disebut metode lendutan (*displacement method*) karena analisa dimulai dengan “lendutan”, sehingga dengan demikian urutan kerjanya secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Kompatibiliti yaitu mencari hubungan antara deformasi dengan lendutan, atau secara tegasnya mencari deformasi apa yang terjadi pada elemen-elemen

dititik-titik diskrit akibat diberikannya lendutan pada struktur dititik-titik tersebut.

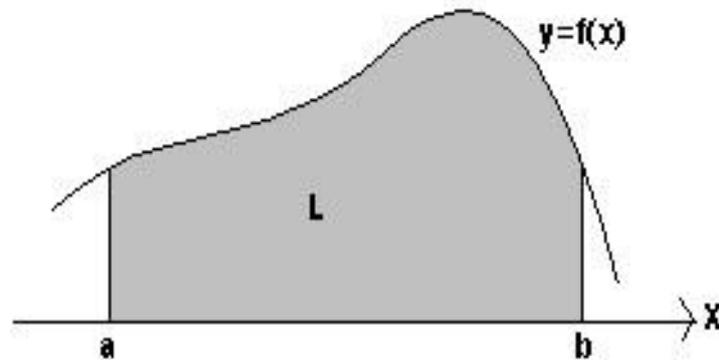
2. Persamaan hubungan stress dan strain yaitu mencari hubungan mengenai gaya-gaya dalam yang timbul sebagai akibat adanya deformasi pada elemen-elemen struktur tersebut;
3. Kesetimbangan yaitu langkah terakhir yang menyatakan hubungan gaya luar di titik diskrit dengan gaya-gaya dalam, atau mencari berapa besar gaya luar di ujung elemen yang tepat diimbangi oleh gaya-gaya dalam elemen di titik-titik diskrit.



Gambar 3.6 Perbandingan antara beban dan *displacement*

G. Integrasi Numerik

Menurut Triatmodjo (2010), Perhitungan integral adalah perhitungan dasar yang digunakan dalam kalkulus, dalam banyak keperluan. Integral ini secara definitif digunakan untuk menghitung luas daerah yang dibatasi oleh fungsi $y = f(x)$ dan sumbu x dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Integral suatu fungsi
(Sumber: Triatmodjo, 2010)

Integral numerik dilakukan apabila:

1. Integral tidak dapat (sukar) diselesaikan secara analitis,
2. Fungsi yang diintegrasikan tidak diberikan dalam bentuk analitis, tetapi secara numerik dalam bentuk angka (tabel).

Luas daerah yang diarsir L tersebut dapat dihitung dengan:

$$I = \int_a^b f(x)dx \dots\dots\dots(3.16)$$

Pada persamaan (3.16) yang dimaksud dengan integral adalah nilai total atau luasan yang dibatasi oleh fungsi $f(x)$ dan sumbu x , serta antara batas $x=a$ dan $x=b$. Dalam integral analitis, persamaan (3.16) dapat diselesaikan menjadi:

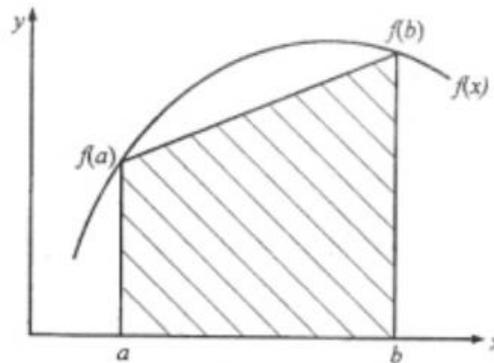
$$\int_a^b f(x)dx = [F(x)]_a^b = F(b) - F(a) \dots\dots\dots(3.17)$$

Metode integral numerik merupakan integral tertentu yang didasarkan pada hitungan perkiraan. Hitungan perkiraan tersebut dilakukan dengan mendekati fungsi yang diintegrasikan dengan fungsi polinomial yang diperoleh berdasar data tersedia. Bentuk paling sederhana adalah apabila tersedia dua titik data yang dapat dibentuk fungsi polinomial order satu yang merupakan garis lurus (linier). Dalam integral numerik, pendekatan tersebut dikenal dengan metode trapesium (trapezoida).

Pada metode trapesium ini setiap bagian dinyatakan sebagai trapesium. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.8 luasan bidang di bawah fungsi $f(x)$

antara batas $x=a$ dan $x=b$ didekati oleh luas satu trapesium yang terbentuk oleh garis lurus yang menghubungkan $f(a)$ dan $f(b)$ dan sumbu x serta $x=a$ dan $x=b$. Pendekatan ini dilakukan dengan satu pias (trapesium). Menurut rumus geometri, luas trapesium adalah lebar kali tinggi rerata, yang berbentuk:

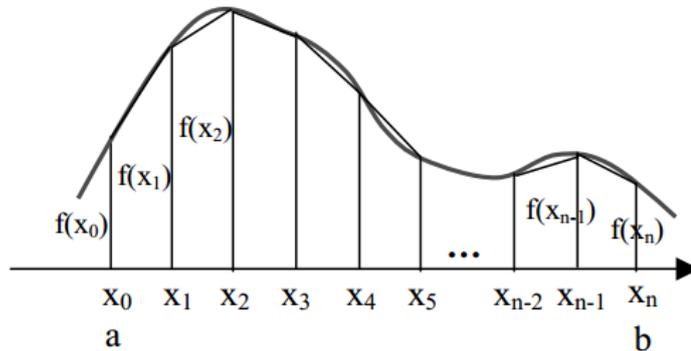
$$I \approx (b - a) \frac{f(a) + f(b)}{2} \dots\dots\dots(3.18)$$



Gambar 3.8 Metode trapesium satu pias
(Sumber: Triatmodjo, 2010)

Pada Gambar 3.8 terlihat bahwa penggunaan garis lurus untuk mendekati garis lengkung menyebabkan terjadinya kesalahan sebesar luasan yang tidak diarsir.

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa pendekatan dengan menggunakan metode satu pias (trapesium) dapat menimbulkan kesalahan sebesar luasan yang tidak diarsir. Untuk mengurangi kesalahan yang terjadi maka kurva lengkung didekati oleh sejumlah garis lurus, sehingga terbentuk banyak pias seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.9. Luas bidang adalah jumlah dari luas beberapa pias tersebut, semakin kecil pias yang digunakan maka hasil yang didapat semakin teliti.



Gambar 3.9 Metode trapesium banyak pias
(Sumber: Triatmodjo, 2010)

Batas-batas pias diberi notasi:

$$x_0 = a, x_1, x_2, \dots, x_n = b \dots \dots \dots (3.19)$$

Integral total dapat ditulis dalam bentuk:

$$I = \int_{x_0}^{x_1} f(x)dx + \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx + \dots + \int_{x_{n-1}}^{x_n} f(x)dx \dots \dots \dots (3.20)$$

Kemudian substitusi persamaan (3.6) ke dalam persamaan (3.8) dan akan didapat persamaan:

$$I = \Delta x \frac{f(x_1)+f(x_0)}{2} + \Delta x \frac{f(x_2)+f(x_1)}{2} + \dots + \Delta x \frac{f(x_n)+f(x_{n-1})}{2} \dots \dots \dots (3.21)$$

H. Metode Elemen Hingga

1. Analisis struktur dengan metode elemen hingga

Untuk mengetahui suatu perilaku struktur dengan dimensi, properti bahan, dan jenis tumpuan tertentu dalam menahan beban yang terjadi, dapat didekati dengan pemodelan secara numerik dengan metode elemen hingga yang mana suatu struktur dibagi menjadi elemen-elemen kecil dengan bentuk geometri tertentu sesuai kasus yang terjadi. Di era komputerisasi seperti sekarang ini, telah banyak dikembangkan *software* berbasis metode elemen hingga yang dapat digunakan dengan cukup mudah. Adapun *software* yang dimaksud antara lain *software* Adina, Midas NFX, ANSYS, RFEM, Lusas, NASTRAN, LISA-FEA, ABAQUS, dan lain-lain. Diharapkan dengan adanya

software tersebut, permasalahan pemodelan suatu elemen struktur dengan metode elemen hingga dapat diselesaikan dengan mudah dan cepat. Hasil pemodelan suatu elemen struktur yang akurat dengan prinsip metode elemen hingga, akan memiliki derajat ketelitian yang jauh lebih baik jika dibandingkan dengan penyelesaian analisis dengan cara lain.

Persamaan umum dalam metode elemen hingga:

$$[K] \{U\} = \{F\} \dots\dots\dots(3.22)$$

dimana:

- [K] : Matriks kekakuan elemen
- {U} : Matriks perpindahan elemen
- {F} : Matriks gaya yang bekerja pada elemen

Secara umum, suatu struktur yang kontinu terdiri dari *material point* yang tak terhingga banyaknya, dan oleh karena itu struktur tersebut mempunyai derajat kebebasan *degree of freedom* yang tak terhingga banyaknya pula (Suhendro, 2000). Untuk mendekati suatu sistem yang kontinu dengan menggunakan suatu sistem yang berhingga (*finite*), maka dikembangkan metode *Rayleigh-Ritz* (1909). Metode *Rayleigh-Ritz* merupakan suatu metode pendekatan dimana suatu sistem yang kontinu menjadi suatu sistem yang memiliki derajat kebebasan yang berhingga. Metode ini dapat digunakan untuk analisis deformasi, stabilitas, perilaku non linier struktur, dan analisis dinamik.

Kesulitan utama yang timbul dalam pemakaian metode *Rayleigh-Ritz* adalah memilih fungsi-fungsi kontinu $\phi_1, \dots, \phi_n, y_1, \dots, y_n$, dan h_1, \dots, h_n pada persamaan, yang selanjutnya disebut *shape functions*.

$$\left. \begin{aligned} u &= a_1 \cdot \phi_1(x,y,z) + a_2 \cdot \phi_2(x,y,z) + \dots + a_n \cdot \phi_n(x,y,z) \\ v &= b_1 \cdot \psi_1(x,y,z) + a_2 \cdot \psi_2(x,y,z) + \dots + b_n \cdot \psi_n(x,y,z) \\ w &= c_1 \cdot \eta_1(x,y,z) + a_2 \cdot \eta_2(x,y,z) + \dots + b_n \cdot \eta_n(x,y,z) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.23)$$

Supaya Metode *Rayleigh-Ritz* dapat diaplikasikan pada analisis struktur dengan bentuk geometri yang tak teratur sekalipun, maka ada prinsip – prinsip yang harus dipenuhi antara lain sebagai berikut:

- a. Karena fungsi $u = u(x,y,z)$, $v = v(x,y,z)$, $w = w(x,y,z)$ adalah *continuous*, maka bila diamati variasinya pada elemen kecil yang merupakan bagian dari domain problem atau strukturnya, variasi tersebut cukup dekat untuk dinyatakan dalam fungsi fungsi sederhana seperti konstan atau *polynomial* berorde rendah dalam x,y,z .
- b. Bila domain masalah strukturnya dibagi menjadi banyak sekali elemen-elemen kecil yang bentuk geometrinya cukup sederhana, maka dengan digunakan *polynomial* sederhana sudah memberikan hasil yang cukup teliti untuk mendekati fungsi *displacement* u, v, w pada masing masing elemen kecil tersebut.
- c. Jika *domain problem* atau strukturnya dibagi menjadi N elemen, maka energi potensial total (π) dari sistem tersebut merupakan jumlah dari energi potensial dari masing masing elemen (π_e) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\pi = \sum_{e=1}^N \pi_e \dots\dots\dots(3.24)$$

- d. Berdasarkan prinsip-prinsip di atas dapat dipakai untuk memperoleh perkiraan yang dekat dari energi potensial total dengan cara menjumlah seluruh π_e yang dimiliki oleh masing-masing elemen. Selanjutnya, prinsip-prinsip di atas bersama-sama dengan prinsip metode matriks, akan dikombinasikan dan dikembangkan menjadi metode elemen hingga.

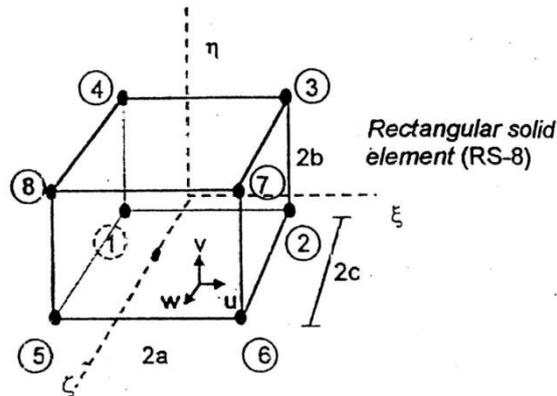
2. Jenis Elemen 3-Dimensional Solid

Menurut Suhendro (2002), jenis elemen pada 3-Dimensional solid yang paling banyak digunakan adalah 3 macam yaitu:

- a. Elemen *Rectangular Solid* (RS-8)

Elemen *Rectangular Solid* merupakan jenis elemen *hexahedral*, yang bentuk elemen ini seperti bata (*brick*) yang mempunyai titik nodal minimal 8 buah. Elemen ini mempunyai 3 *degree of freedom* pada setiap titik nodalnya, sehingga secara keseluruhan elemen ini mempunyai 24

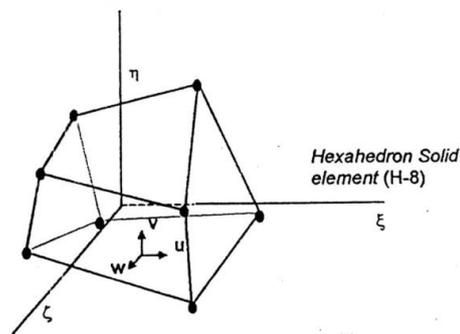
degree of freedom. Pada pengaplikasiannya, elemen ini hanya digunakan untuk menganalisis bentuk struktur yang beraturan saja karena bentuknya yang menyerupai kubus. Gambar elemen ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Elemen *rectangular solid* (RS-8)
(Sumber: Suhendro, 2000)

b. Elemen *Hexahedron Solid* (H-8)

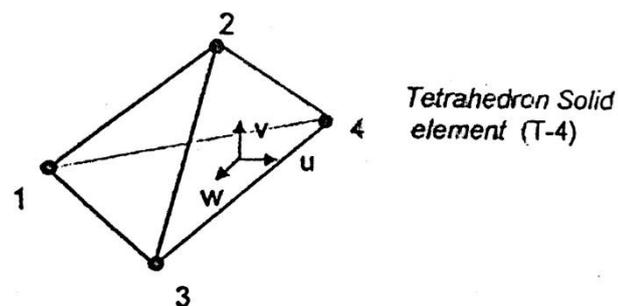
Elemen *Hexahedron Solid* merupakan jenis elemen *hexahedral*, yang mana elemen ini merupakan pengembangan dari elemen *Rectangular Solid* (RS-8), mempunyai 6 sisi (*hexahedron side*) tapi bentuknya tidak berbentuk kubus sempurna. Sama seperti halnya dengan elemen *Rectangular Solid*, maka elemen ini mempunyai 3 *degree of freedom* pada setiap nodalnya, sehingga setara keseluruhan elemen ini juga mempunyai 24 *degree of freedom*. Elemen ini digunakan untuk menganalisis bentuk struktur yang agak beraturan saja. Gambar elemen ini dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Elemen *hexahedron solid* (H-8)
(Sumber: Suhendro, 2000)

c. Elemen *Tetrahedron Solid* (T-4)

Elemen ini mempunyai 4 sisi, yang mana elemen ini baik digunakan untuk menganalisis struktur yang geometrinya tidak beraturan. Pada penelitian ini, elemen *Tetrahedron Solid* inilah yang digunakan untuk mendiskretisasi balok kastela yang geometrinya tidak teratur khususnya pada bagian sekitar bukaan. Adapun bentuk geometri dari elemen ini dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Elemen *tetrahedron solid* (T-4)
(Sumber: Suhendro, 2000)

I. Software Abaqus

Abaqus adalah paket program simulasi rekayasa yang kuat, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relatif sederhana sampai simulasi nonlinier yang paling menantang. Abaqus

menawarkan berbagai kemampuan untuk simulasi aplikasi linier dan nonlinier. Masalah dengan beberapa komponen dapat dimodelkan dengan menghubungkan geometri. Kemudian mendefinisikan masing-masing komponen dengan model bahan yang sesuai dan menentukan interaksi komponen (Simanjuntak, 2014).

Dalam *software* Abaqus versi 6.11, terdapat beberapa komponen pada tampilan utama yang dapat dilihat pada Gambar 3.13 yang dapat dijelaskan diantaranya yaitu:

1. *Title bar*

Title bar berfungsi menunjukkan nama dan versi *software* Abaqus yang kita gunakan dan juga untuk menunjukkan judul dari *file* yang kita sedang buka atau kita gunakan.

2. *Menu bar*

Menu bar berisi semua menu yang tersedia. Menu tersebut memberikan akses ke semua fungsi dalam produk.

3. *Toolbars*

Toolbars berfungsi memberikan akses cepat yang tersedia pada menu.

4. *Context bar*

Context bar berfungsi untuk berpindah ke *module* lainnya serta mengambil bagian yang sudah ada ketika membuat geometri model.

5. *Model tree/result tree*

Model Tree berfungsi menyediakan grafik sebagai *review* dari model objek dari masing-masing bagian, material, langkah, pembebanan. *Results Tree* berfungsi memberikan grafik dari *output data base* dan data spesifik hasil plot x-y.

6. *Toolbox area*

Toolbox area berfungsi untuk dapat mengakses cepat ke banyak fungsi modul yang tersedia.

7. *Canvas and drawing area*

Canvas and drawing area adalah tempat atau lokasi untuk area gambar.

8. *Viewport*

Viewport adalah tampilan di area gambar yang berfungsi untuk menampilkan model yang telah dibuat.

9. *Prompt area*

Prompt area berfungsi untuk menampilkan petunjuk atau panduan yang telah kita lakukan pada *software* Abaqus.

10. *Message area or command line interface*

Message area or command line interface berfungsi untuk memunculkan informasi dan peringatan yang terjadi apabila terdapat informasi atau kesalahan.

Pada *software* Abaqus versi 6.11, di dalam *context bar* terdapat *module* diantaranya yaitu:

1. *Module Part*

Module Part dapat digunakan untuk memodelkan model struktur yang kita inginkan untuk dimodelkan.

2. *Module Property*

Property berfungsi untuk memasukkan material model yang digunakan.

3. *Module Assembly*

Assembly merupakan fasilitas yang memberikan tempat model untuk bisa dilakukan eksekusi analisis.

4. *Module Step*

Step adalah fasilitas yang digunakan untuk menentukan algoritma iterasi numerik.

5. *Module Interaction*

Interaction adalah fasilitas yang memberikan hubungan antar *Part* dalam suatu *Assembly*.

6. *Module Load*

Load merupakan fasilitas untuk memasukkan beban (*Load*) dan *Boundary Condition*.

7. *Module Mesh*

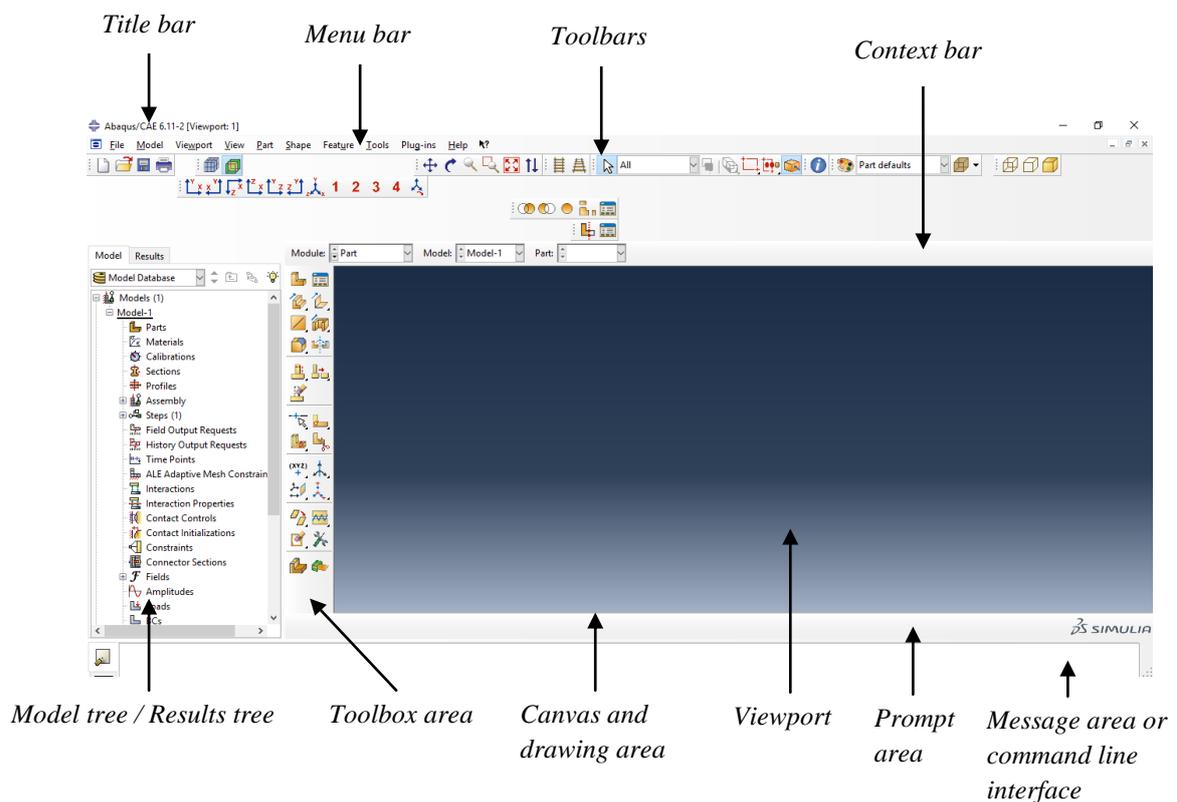
Mesh merupakan fasilitas untuk melakukan pembagian dan penentuan tipe dari *Element* dari *Part* ataupun *Assembly*.

8. *Module Job*

Job merupakan fasilitas untuk mengkonversi model menjadi *file input* yang selanjutnya akan dieksekusi secara numerik oleh Abaqus.

9. *Module Visualization*

Visualization adalah fasilitas untuk menampilkan keluaran analisis numerik secara grafis meliputi kontur tegangan, regangan, *displacement*, *damage parameter*, dan *parameter output* lainnya.



Gambar 3.13 Komponen pada tampilan utama *software* Abaqus versi 6.11