

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. Konsep Dasar Perencanaan Struktur Baja**

Suatu struktur haruslah aman terhadap keruntuhan dan bermanfaat dalam penggunaannya, struktur harus memenuhi syarat bahwa lendutan-lendutan yang terjadi cukup kecil dan apabila ada harus diusahakan berada dalam batas-batas yang masih dapat ditolelir serta getaran-getaran yang terjadi harus diusahakan seminimum mungkin, karena keamanan mensyaratkan bahwa suatu struktur harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk memikul semua beban yang mungkin bekerja padanya. Apabila kekuatan struktur sesuai dengan yang direncanakan maka keamanan struktur dapat ditentukan, namun jika keamanan belum tercapai maka dapat dilakukan dengan cara lain atau menyediakan beberapa cara alternatif lainnya seperti pengembangan struktur atau mengevaluasi kembali kekuatan bangunan tersebut. Desain struktur harus memenuhi kriteria kekuatan (*strength*), kemampuan layan (*serviceability*) dan ekonomis (*economy*).

- 1) Kekuatan yaitu berkaitan dengan kemampuan umum dan keselamatan struktur pada kondisi pembebanan yang ekstrem. Struktur diharapkan mampu bertahan meskipun terkadang mendapat beban yang berlebihan tanpa mengalami kerusakan dan kondisi yang membahayakan selama waktu pemakaian struktur tersebut.
- 2) Kemampuan layan yaitu mengacu pada fungsi struktur yang sesuai, berhubungan dengan tampilan, stabilitas dan daya tahan, mengatasi pembebanan, defleksi, vibrasi, deformasi permanen, retakan dan korosi, dan persyaratan-persyaratan desain lainnya.
- 3) Ekonomis yaitu mengutamakan pada keseluruhan persyaratan biaya material, pelaksanaan konstruksi dan tenaga kerja, mulai tahapan perencanaan, pabrikasi, pendirian dan pemeliharaan struktur.

## B. Stabilitas pada Struktur Baja

Beban gempa yang akan ditanggung oleh struktur atau elemen struktur tidak selalu diramalkan dengan tepat sebelumnya, maka seorang perencana dituntut dalam mendesain gedung harus sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.

Pada struktur stabil apabila dikenakan beban, struktur tersebut akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang lebih kecil dibandingkan struktur yang tidak stabil. Hal ini disebabkan karena pada struktur yang stabil memiliki kekuatan dan kestabilan dalam menahan beban. (Schodek,1999).

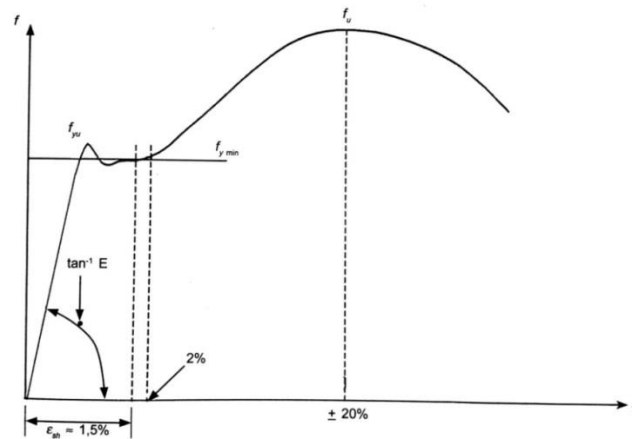
Terdapat beberapa cara untuk menjamin kestabilan struktur diantaranya:

1. Dengan menambahkan elemen struktur diagonal pada struktur, sehingga struktur tidak mengalami deformasi. Hal ini disebabkan karena dengan menambahkan elemen struktur diagonal gaya-gaya yang dikenakan pada struktur akan disebarkan ke seluruh bagian termasuk ke elemen diagonal, gaya-gaya yang diterima masing-masing struktur akan berkurang sehingga simpangan yang dihasilkan lebih kecil.
2. Dengan menggunakan dinding geser (*shearwall*). Elemennya merupakan elemen permukaan bidang kaku, yang tentunya dapat menahan deformasi akibat beban horisontal dan simpangan horisontal yang akan dihasilkan akan lebih kecil.
3. Dengan mengubah hubungan antara elemen struktur sedemikian rupa sehingga perubahan sudut untuk suatu kondisi pembebanan tertentu.

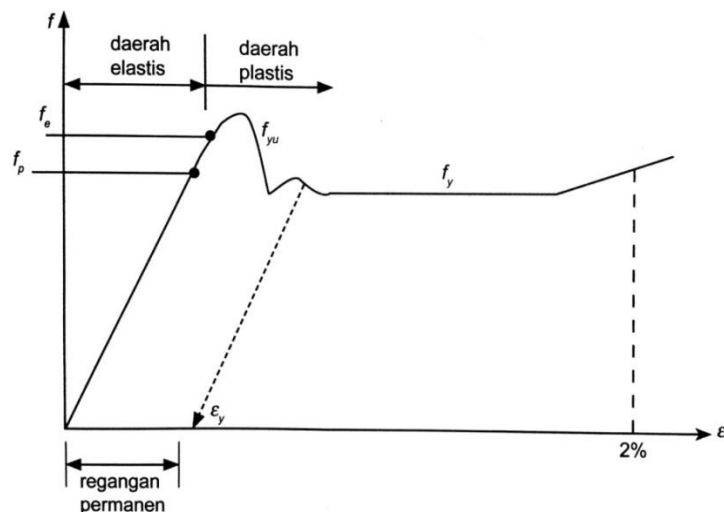
## C. Sifat – Sifat Mekanik Baja

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 **Gambar 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 ( $\varepsilon$ ) 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** Hubungan tegangan ( $f$ ) vs regangan ( $\varepsilon$ )  
(Sumber: Setiawan, A., 2013)



**Gambar 3. 2** Kurva hubungan tegangan ( $f$ ) – regangan ( $\varepsilon$ ) yang diperbesar  
(Sumber: Setiawan, A., 2013)

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*)

$\varepsilon_{sh}$  : regangan saat mulai terjadi efek *strain-hardening* (penguatan regangan)

$\varepsilon_u$  : regangan saat tercapainya tegangan putus

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

- a. 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*,  $E (= f/\varepsilon)$
- b. 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.
- c. Daerah plastis yang dibatasi oleh regangan antara 2% hingga 1,2 – 1,5%, pada bagaian 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
- d. Daerah penguatan regangan (*strain-hardening*) antara  $\varepsilon_{sh}$  dan  $\varepsilon_u$ . 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 1729–2015 mengambil beberapa sifat – sifat mekanik dari material baja yang sama yaitu :

Modulus Elastisitas, $E$	= 29.000 ksi (200.000 MPa)
Modulus Geser, $G$	= 11.200 ksi (72.200 MPa)
Angka <i>poisson</i>	= 0,3
Koefisien muai panjang, $\alpha$	= $12.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

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)

#### **D. Gaya yang Bekerja pada Struktur Baja**

Gaya adalah interaksi antara benda-benda yang mempengaruhi bentuk atau gerak atau keduanya, atau keduanya, pada benda yang terlibat (schodek, 1999). Ada beberapa gaya yang bekerja pada bagian elemen struktur, diantaranya :

1. Gaya geser adalah gaya yang berkaitan dengan aksi gaya-gaya yang saling berlawanan arah dimana menyebabkan salah satu bagian interaksi dua elemen struktur yang tergelincir terhadap bagian elemen lainnya.
2. Gaya Lentur adalah keadaan gaya kompleks yang berkaitan dengan melenturnya elemen (biasanya elemen tersebut adalah balok) sebagai akibat dari adanya beban transversal yang menyebabkan adanya gaya tarik dan tekan pada satu bidang elemen.

3. Gaya tarik adalah gaya eksternal yang mengalir dari dalam elemen menuju permukaan elemen dengan sifat menarik bidang elemen hingga putus. Kekuatan elemen tarik tergantung pada luas penampang bidang elemen dan jenis material yang digunakan pada elemen.
4. Gaya tekan adalah gaya yang menyebabkan hancur atau tekuk pada bidang elemen.
5. Defleksi adalah gaya yang diakibatkan adanya beban pada elemen yang harus dibatasi pada taraf batas yang diijinkan.
6. Tegangan Tumpu terjadi antara 2 muka bidang elemen yang saling bertemu atau bersentuhan apabila adanya gaya-gaya yang disalurkan dari satu elemen ke elemen lainnya yang ada didekatnya. Tegangan dan interaksi tegangan dapat terjadi pada bagian elemen struktur juga karena pola aliran penyaluran gayanya.

### **E. Struktur Baja dengan Sistem Portal**

Struktur rangkang kaku/ portal adalah struktur yang terdiri atas elemen-elemen linear, umumnya balok dan kolom, yang saling dihubungkan pada ujung-ujungnya oleh joints dengan kaku yang dapat mencegah rotasi relatif di antara elemen struktur yang dihubungkannya (schodek,1999).

Berdasarkan geometrik vertikalnya, portal dapat dibedakan menjadi portal simetris dan portal asimetris. Struktur portal simetris merupakan struktur yang mempunyai cerminan yang sama sedangkan struktur portal asimetris tidak mempunyai cerminan yang sama jika diberikan sumbu tengah yang membagi portal tersebut sehingga untuk menganalisis sebuah portal asimetris menggunakan ukuran dan model tertentu dibutuhkan ketelitian dan waktu yang lama karena penggunaan data yang lengkap pada setiap segmen portal dan proses analisis yang lebih panjang. Struktur portal dipengaruhi oleh gaya internal dan gaya eksternal. Gaya internal yang bekerja pada kekakuan struktur tersebut terhadap gaya eksternal, dalam hal ini mengenai elastisitas bahan dan momen inersianya. Elastisitas (E) merupakan cara utama menjelaskan perubahan ukuran dan bentuk

dengan menggunakan konsep perbandingan regangan dan tegangan. Dimana regangan adalah perubahan ukuran dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau menekan pada material, apabila di gambarkan dengan grafik maka akan terbentuk pola dimana ordinat menyatakan beban dan absis menyatakan pertambahan panjang dan Tegangan merupakan besaran pengukuran intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (L).

Secara umum ragangan didefinisikan sebagai rasio antara perubahan ukuran atau bentuk suatu elemen yang mengalami tegangan, terhadap ukuran atau bentuk semula dari suatu elemen. Elastisitas (E) dinyatakan seperti persamaan (1) (berdasarkan hukum hooke) dengan satuan  $\text{kg/cm}^2$  dan momen inersia (I) dimensi persegi seperti persamaan (2) dengan satuan  $\text{cm}^4$

$$E = \frac{f(\text{tegangangan})}{\varepsilon(\text{regangan})} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$I = \frac{1}{12} b h^3 \dots\dots\dots (3.2)$$

## **F. Sistem Portal Baja dengan Bresing**

Struktur portal merupakan struktur yang tidak efisien apabila digunakan untuk beban lateral yang sangat besar, terutama beban gempa. Untuk memikul beban demikian cara efisien yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan shear wall (dinding geser) atau diagonal bresing (pengaku diagonal) pada struktur (Schodek,1999). Struktur rangka bresing merupakan sistem struktur yang didesain untuk menahan beban lateral berupa gempa. Elemen bresing berperilaku sebagai rangka batang yaitu hanya menerima gaya tarik atau tekan.

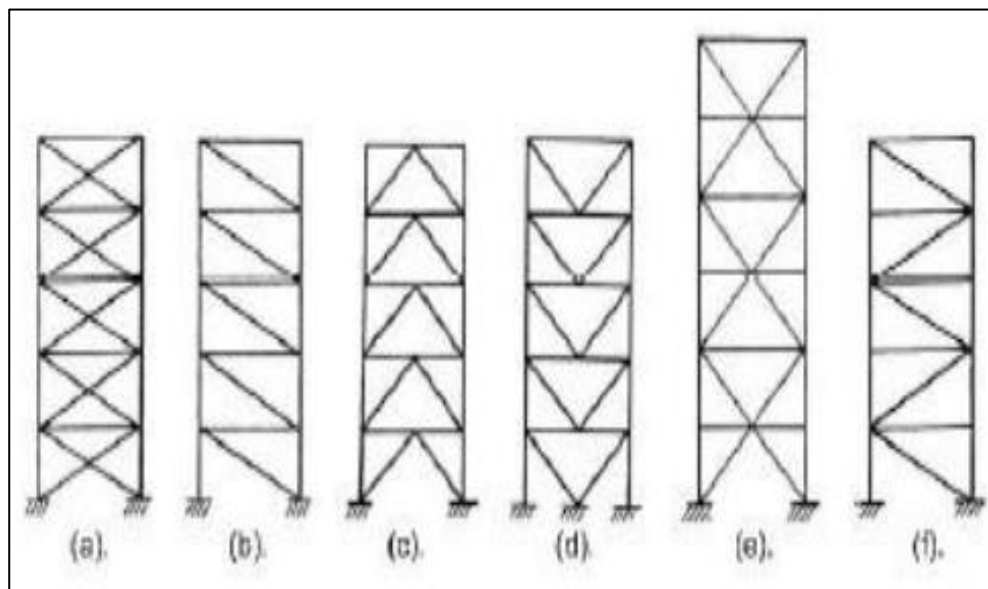
Dalam tugas akhir ini, digunakan pengaku pada struktur portal rangka baja dengan menggunakan 3 jenis bresing yang bertujuan untuk mengetahui dan memberikan kekakuan optimal pada struktur sehingga dapat meminimalisir terjadinya simpangan pada struktur.

Secara umum bentuk bresing yang digunakan untuk struktur portal terdiri dari dua, yaitu rangka bresing konsentrik dan rangka bresing eksentrik.

### 1. Sistem Rangka Bresing Konsentrik

Struktur rangka bresing konsentrik (SRBK) merupakan sistem struktur yang elemen bresing diagonalnya bertemu pada satu titik. Sistem ini penyerapan energinya dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang begitu baik sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk pada bracing.

Menurut SNI 03-1729-2002 struktur rangka bresing konsentrik (SRBK) dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu struktur rangka bresing konsentrik biasa (SRBKB) dan struktur rangka bresing konsentrik khusus (SRBKK). Rangka bresing konsentrik memiliki beberapa tipe seperti yaitu tipe x, tipe z, tipe v terbalik, tipe v, tipe x-2 tingkat, dan tipe k.

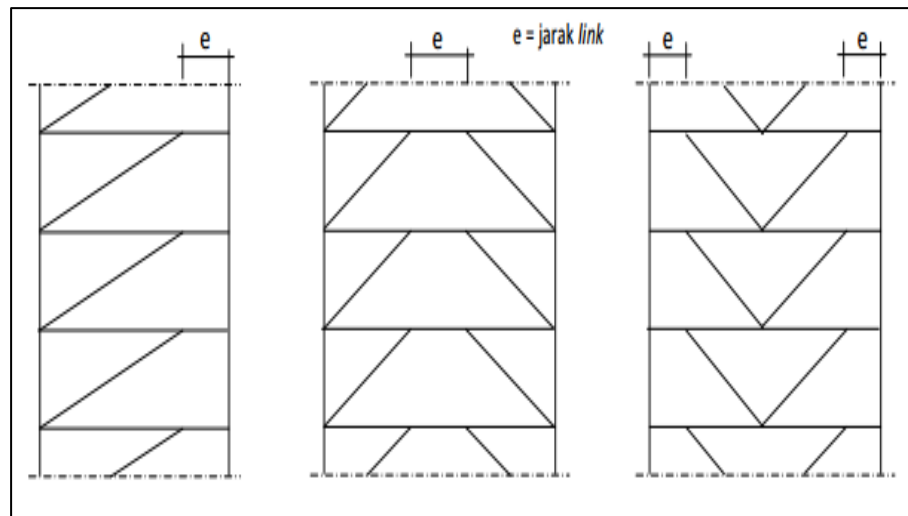


**Gambar 3. 3** Konfigurasi rangka bresing konsentrik  
(Sumber: AISC, 2010)



## 2. Sistem Rangka Bresing Eksentrik

Struktur rangka bresing eksentrik (SRBE) merupakan sistem struktur yang elemen bresing diagonalnya tidak bertemu pada suatu titik, karena adanya elemen penghubung atau disebut dengan link. Elemen link ini berfungsi sebagai pendisipasi energi pada saat terjadi gempa kuat (SNI Baja, 2002).



**Gambar 3. 4** Konfigurasi Rangka Bresing Eksentrik  
(Sumber: AISC, 2010)

### G. Sistem Sambungan pada Struktur Portal

Sambungan di dalam struktur baja merupakan bagian yang tidak bisa diabaikan begitu saja, karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan. Kegagalan dalam sambungan tersebut dapat mengakibatkan perubahan fungsi struktur bangunan dan yang paling berbahaya adalah keruntuhan pada struktur bangunan tersebut. Sehingga untuk mencegah hal itu maka kekuatan dan kekakuan sambungan tersebut harus baik.

Pada umumnya sambungan berfungsi untuk memindahkan gaya-gaya yang bekerja pada elemen-elemen struktur yang akan disambung, sambungan dibuat karena keterbatasan bahan yang tersedia serta kemudahan dalam pengangkutan. Alat-alat sambung yang biasa digunakan pada konstruksi baja adalah:

## 1. Sambungan Baut

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir dimana salah satu ujungnya dibentuk kepala baut dan ujung yang lain dipasang mur/pengunci. Tipe baut dibagi menjadi dua yaitu baut tipe friksi dan tipe tumpu. Pada baut tipe friksi kekuatan baut didapat dari gesekan yang terjadi antara pelat atau batang yang disambung. Sedangkan untuk baut tipe tumpu kekuatan didapat dari adanya gaya tumpu pada bidang kontak antara baut dengan pelat yang disambung.

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, suatu baut yang memikul gaya terfaktor,  $R_u$ , harus memenuhi syarat berikut.

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan

$R_n$  adalah kuat nominal baut

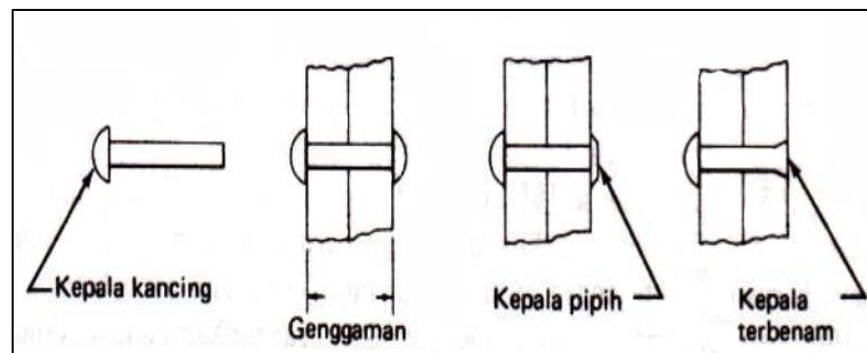
## 2. Sambungan paku keling

Paku keling sudah sejak lama digunakan sebagai alat penyambung batang, tetapi beberapa dekade akhir ini paku keling sudah jarang digunakan dan digantikan oleh baut. Paku keling dibuat dari baja batangan dan memiliki bentuk silinder dengan kepala di salah satu ujungnya.

Baja paku keling adalah baja karbon sedang dengan identifikasi ASTM A502 Mutu I ( $F_v = 28$  ksi) (1190 MPa) dan Mutu 2 ( $F_y = 38$  ksi) (260 MPa), serta kekuatan leleh minimum yang ditetapkan didasarkan pada bahan baja batangan. Pembuatan dan pemasangan paku keling menimbulkan perubahan sifat mekanis.

Proses pemasangan paku keling berbeda dengan proses pemasangan paku pada umumnya yaitu pertama paku keling dipanasi hingga warnanya menjadi merah muda kemudian paku keling dimasukkan ke dalam lubang, dan kepalanya ditekan sambil mendesak ujung lainnya sehingga terbentuk kepala lain yang bulat. Selama proses ini, tangkai (*shank*) paku keling mengisi lubang (tempat paku dimasukkan) secara

penuh atau hampir penuh, sehingga menghasilkan gaya jepit (klem). Namun, besarnya jepitan akibat pendinginan paku keling bervariasi dari satu paku keling ke lainnya, sehingga tidak dapat diperhitungkan dalam perencanaan. Paku keling juga dapat dipasang pada keadaan dingin tetapi akibatnya gaya jepit tidak terjadi karena paku tidak menyusut setelah dipasang.



**Gambar 3. 5** Jenis Paku Keling (Salmon dkk, 1997)

### 3. Sambungan Las

Menyambung baja dengan las adalah menyambung dengan cara memanaskan baja hingga mencapai suhu lumer (meleleh) dengan ataupun tanpa bahan pengisi, yang kemudian setelah dingin akan menyatu dengan baik. Untuk menyambung baja bangunan kita mengenal 2 jenis las yaitu:

#### a) Las karbid (Las otogen)

Pengelasan yang menggunakan bahan pembakar dari gas oksigen (zat asam) dan gas acetylene (gas karbid). Dalam konstruksi baja las ini hanya untuk pekerjaan-pekerjaan ringan atau konstruksi sekunder, seperti; pagar besi, teralis dan sebagainya.

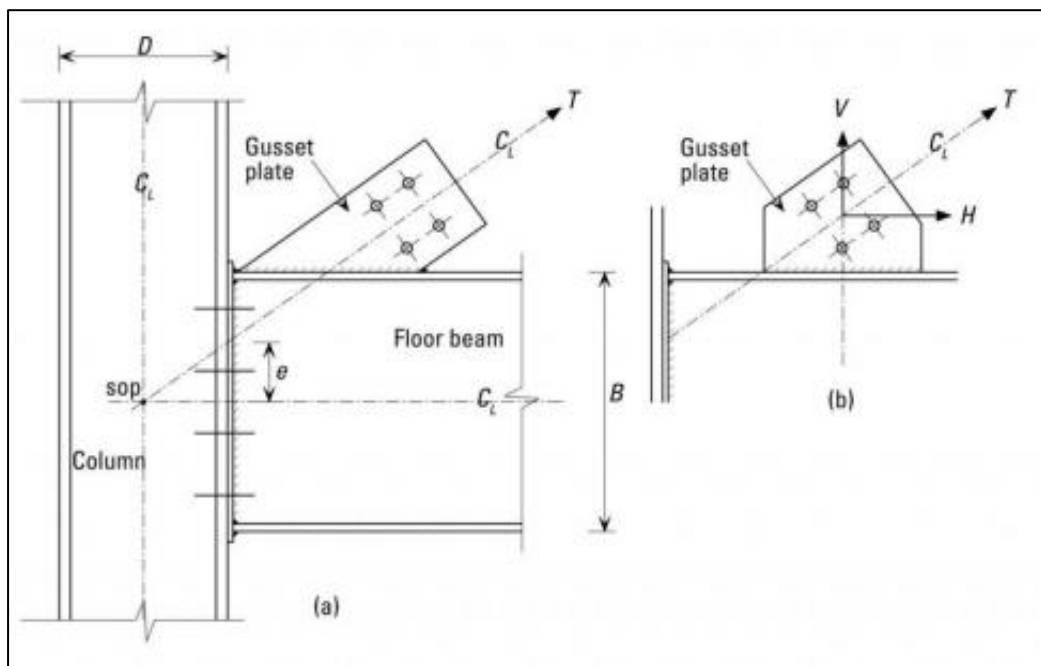
#### b) Las listrik (Las lumer)

Pengelasan yang menggunakan energi listrik. Untuk pengelasannya diperlukan pesawat las yang dilengkapi dengan dua buah kabel, satu kabel dihubungkan dengan penjepit benda kerja dan satu kabel yang lain dihubungkan dengan tang penjepit elektrode (batang las).

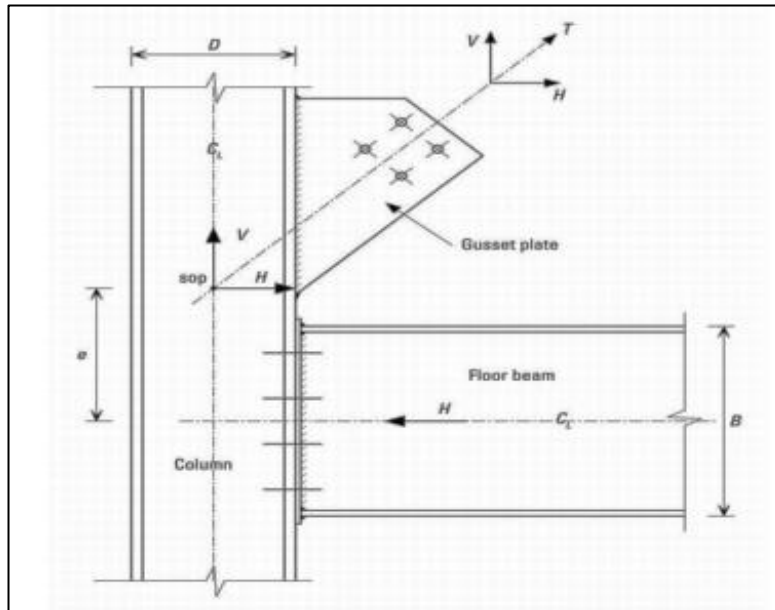
Dari ketiga penyambungan tersebut, penyambungan dengan las adalah yang paling kaku tetapi memerlukan biaya yang relatif mahal dibandingkan dengan sambungan lainnya. Sedangkan sambungan dengan paku keling lebih kaku dibandingkan dengan sambungan baut.

### H. Sambungan pada Bresing

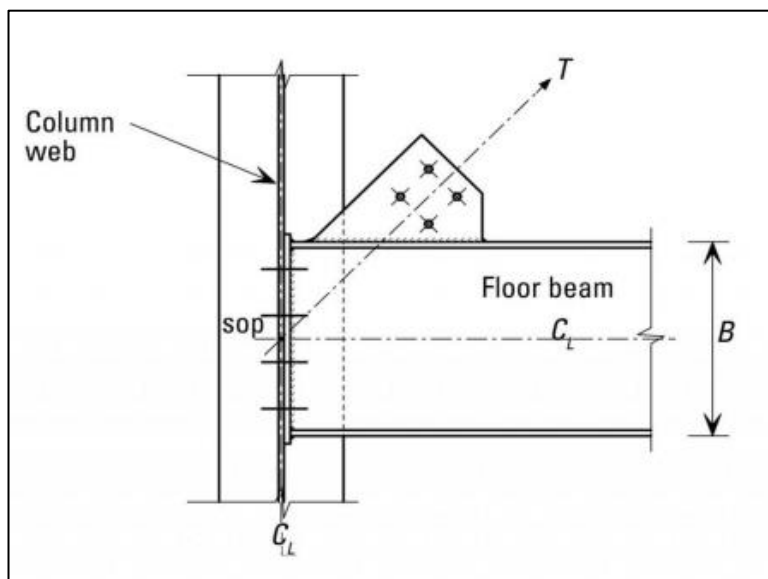
Bresing tidak bisa menerima momen kecuali akibat berat sendiri, sehingga bresing berperilaku sebagai rangka batang yaitu batang tekan atau batang tarik. Oleh karena itu, sambungan bresing pada join balok-kolom menggunakan sambungan sederhana atau sendi sehingga hanya pada bagian badan bresing yang dipasang baut.



**Gambar 3. 6** Sambungan bresing yang menggunakan sambungan sendi  
([www.newsteelconstruction.com](http://www.newsteelconstruction.com))



**Gambar 3. 7** Sambungan bresing yang terpasang ke kolom  
[www.newsteelconstruction.com](http://www.newsteelconstruction.com)



**Gambar 3. 8** Sambungan bresing pada balok yang terpasang pada badan kolom  
[www.newsteelconstruction.com](http://www.newsteelconstruction.com)

### I. Kekakuan pada Struktur Bangunan

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana (SNI-1726-2002), pengaruh peretakan beton pada unsur-unsur struktur dari beton bertulang, beton pratekan dan baja komposit harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Untuk itu, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang sebagai berikut :

1. untuk kolom dan balok rangka beton bertulang terbuka : 75%
2. untuk dinding geser beton bertulang kantilever : 60%
3. untuk dinding geser beton bertulang berangkai
  - a) komponen dinding yang mengalami tarikan aksial : 50%
  - b) komponen dinding yang mengalami tekanan aksial : 80%
  - c) komponen balok perangkai dengan tulangan diagonal : 40%
  - d) komponen balok perangkai dengan tulangan memanjang : 20%

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, kekakuan unsur struktur harus dipakai baik dalam analisis statik maupun dalam analisis dinamik 3 dimensi. Tingkat kekakuan suatu material ditunjukkan oleh sudut yang dibentuk oleh tegangan dan regangan pada daerah elastic. Dalam menghitung kekakuan, dikenal yang namanya modulus elastisitas yang dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara kekuatan (Strength) dengan regangan(strain). Modulus elastisitas beton  $E_c$  harus ditetapkan sesuai dengan mutu (kuat tekan) beton yang dipakai, sedangkan modulus elastisitas baja ditetapkan sebesar  $E_s = 200.000$  MPa.

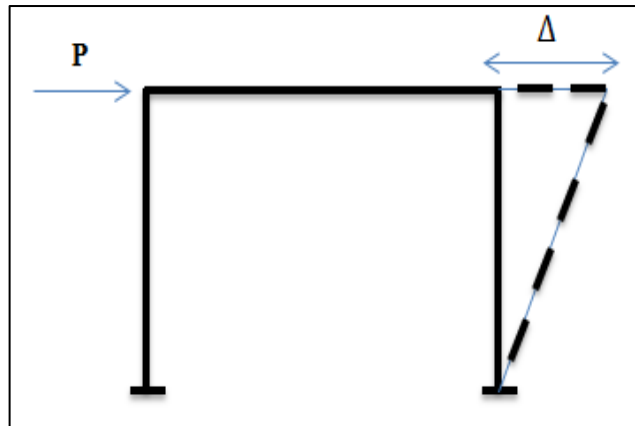
$$K = \frac{P_1 + P_2}{\Delta_1 + \Delta_2} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan :

K = kekakuan struktur

P = kekuatan

$\Delta$  = regangan



**Gambar 3. 9** Perbandingan antara beban dengan simpangan. (SNI-1726-2002)

Pengaruh P- Delta pada **Gambar 3.9** adalah struktur yang tingginya dukur dari taraf penjepitan lateral adalah lebih dari 10 tingkat atau 40 m, harus diperhitungkan pengaruh P- Delta, yaitu suatu gejala yang terjadi pada struktur fleksibel, dimana simpangan kesimpang yang besar akibat beban gempa lateral menimbulkan beban lateral tambahan akibat momen guling yang terjadi oleh beban graitasi yang titik tangkapnya menyimpang kesamping struktur bangunan.

Dalam perencanaan struktur gedung pembatasan waktu getar fundamental dipakai untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel, bergantung pada koefisien untuk wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya (n) menurut persamaan :

$$T1 < \zeta n \dots\dots\dots (3.5)$$

di mana koefisien  $\zeta$  ditetapkan menurut **Tabel 3.2.**

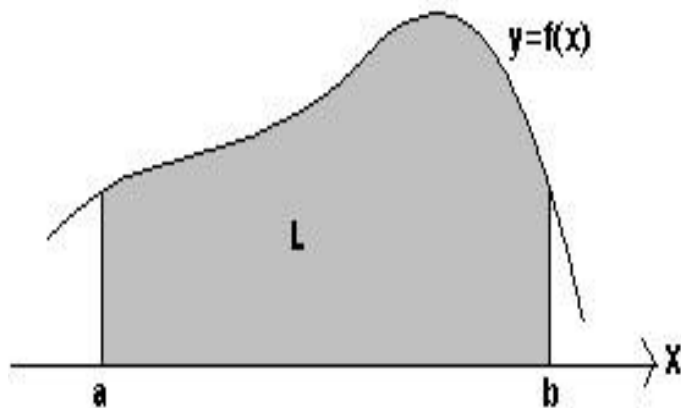
**Tabel 3. 2** Koefisien  $\zeta$  yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung (SNI – 1726 -2002)

Wilayah Gempa	$\zeta$
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

**J. Metode Integrasi Numerik**

**1. Metode Integrasi**

Dalam buku Metode Numerik karya Bambang Triadmodjo dijelaskan bahwa 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  $x$ . Perhatikan pada **Gambar 3.11** berikut



**Gambar 3. 10** Integral suatu fungsi (Triadmodjo, 2010)

Luas daerah yang diarsir L tersebut dapat dihitung dengan :

$$I = \int_a^b f(x)dx \dots\dots\dots(3.6)$$

Pada persamaan (3.6) 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 (3.9) dapat diselesaikan menjadi :

$$\int_a^b f(x)dx = [F(x)]_a^b = F(a) - F(b) \dots\dots\dots (3.7)$$

Metode integral numerik merupakan integral tertentu yang didasarkan pada perhitungan perkiraan. Hitungan perkiraan tersebut dilakukan dengan mendekati fungsi yang diintegalkan dengan fungsi polynomial yang diperoleh berdasarkan data yang telah tersedia. Bentuk paling sederhana adalah apabila tersedia dua titik data yang dapat dibentuk fungsi polynomial order satu yang merupakan garis lurus (linier).



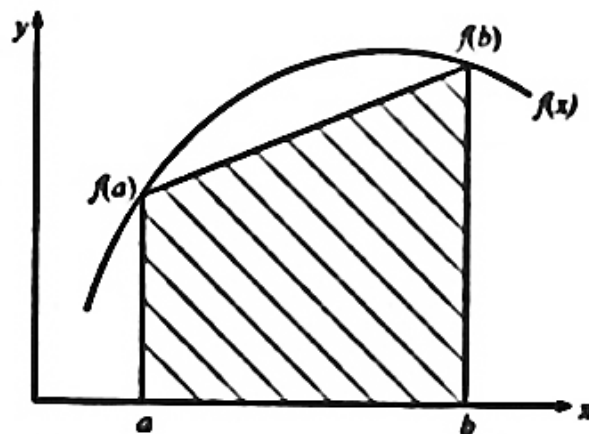
## 2. Metode Integral Trapezoida

Pada metode trapezoida ini setiap bagian dinyatakan sebagai trapezium. Seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 3.11** luasan bidang di bawah fungsi  $f(x)$  antara batas  $x=a$  dan  $x=b$ .

### a. Pendekatan satu pias

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

$$I = (a - b) \frac{f(a)+f(b)}{2} \dots\dots\dots(3.8)$$



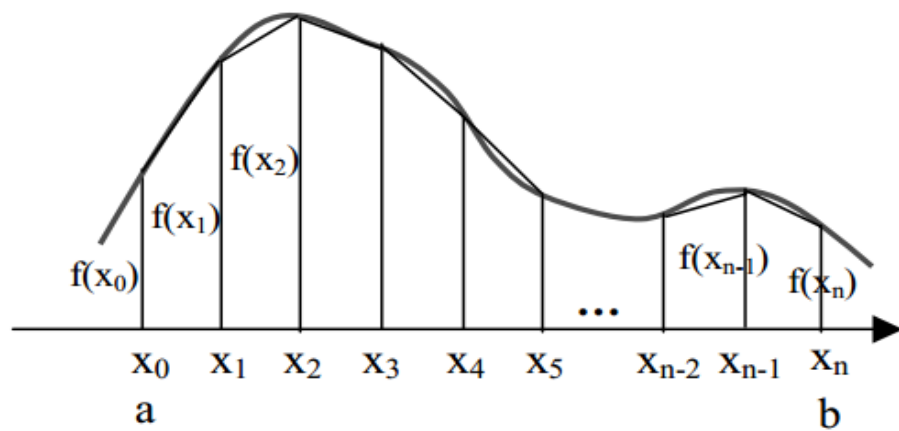
**Gambar 3. 11** Metode trapesium satu pias (Triadmodjo, 2010)

Pada **Gambar 3.11** 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 (trapezium) dapat menimbulkan kesalahan sebesar luasan yang tidak diarsir.

b. Pendekatan Banyak Pias

Pendekatan ini digunakan untuk mengurangi kesalahan yang terjadi pada pendekatan satu pias maka kurva lengkung didekati oleh sejumlah garis lurus, sehingga terbentuk banyak pias seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 3.12**. Luas bidang adalah jumlah dari luas beberapa pias tersebut, semakin kecil pias yang digunakan maka hasil yang didapat semakin teliti.



**Gambar 3. 12** Metode trapesium banyak pias (Triadmodjo, 2010)

Bata-batas pias diberi notasi :

$$x_0 = a, x_1, x_2, \dots, x_n = b \dots \dots \dots (3.9)$$

Integral total dapat ditulis dalam bentuk :

$$I = \int_{x_0}^{x_1} f(x)dx + \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx + \dots .. + \int_{x_{n-1}}^{x_n} f(x)dx \dots (3.10)$$

Kemudian Substitusi persamaan (3.9) ke dalam persamaan (3.10) dan akan didapat persamaan :

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

Atau

$$I = \frac{\Delta x}{2} [f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n)] \dots \dots \dots (3.11)$$

Atau

$$I = \frac{\Delta x}{2} [f(a) + f(b) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i)] \dots \dots \dots (3.12)$$

## **K. Perencanaan Struktur Gedung Beraturan**

### **1. Analisis Statik Ekuivalen**

Analisis statik ekuivalen merupakan salah satu metode perhitungan analisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban nimonal statik ekuivalen. Menurut Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung ( SNI -1726 -2002 ) analisis statik ekuivalen dapat dilakukan pada struktur gedung beraturan dimana struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan-ketentuan yang disebutkan dalam pasal 4.2.1 dari SNI-1726-2002 dan dengan pengaruh gempa rencana pada struktur bangunan regular (ketinggian tidak lebih dari 40 m atau 10 tingkat) serta dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa ekuivalen statik.

### **2. Gempa rencana dan kategori gedung**

Standar ini menentukan pengaruh Gempa Rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Akibat pengaruh Gempa Rencana, struktur gedung secara keseluruhan harus masih berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Gempa Rencana ditetapkan mempunyai perioda ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun.

Untuk berbagai kategori gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan, pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I menurut persamaan berikut :

$$I = I_1 \times I_2 \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

Dimana :

$I_1$  adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung, sedangkan

$I_2$  adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Faktor-faktor Keutamaan  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I$  ditetapkan menurut Tabel 3.2.

**Tabel 3. 3** Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan bangunan (SNI – 1726 -2002)

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I1	I2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Catatan :

Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya Standar ini maka Faktor Keutamaan, I, dapat dikalikan 80%.

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

$$T = C_t (h_n)^x \dots\dots\dots (3.14)$$

Tabel 3. 4 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $\alpha$ 

Tipe Struktur	$C_t$	$\alpha$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2012, Tabel 15

### 3. Beban gempa nominal statik ekuivalen

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen, yang ditetapkan lebih lanjut dalam pasal-pasal seperti dibawah ini :

- 1) Apabila kategori gedung memiliki Faktor Keutamaan ( $I$ ) dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan Gempa Rencana memiliki faktor reduksi gempa  $R$  dan waktu getar alami fundamental  $T_1$ , maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen  $V$  yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan :

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \dots\dots\dots (3.15)$$

Dimana :

$C_1$  adalah nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental  $T_1$ ,

$W_t$  adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

- 2) Beban geser dasar nominal  $V$  menurut Pasal 6.1.2 harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- $i$  menurut persamaan :

$$F_i = \frac{W_i Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i Z_i} \dots\dots\dots (3.16)$$

Dimana :

$W_i$  adalah berat lantai tingkat ke- $i$ , termasuk beban hidup yang sesuai.

$z_i$  adalah ketinggian lantai tingkat ke- $i$  diukur dari taraf penjepitan lateral.

$n$  adalah nomor lantai tingkat paling atas.

- 3) Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka 0,1  $V$  harus dianggap sebagai beban horisontal terpusat yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan 0,9  $V$  sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen menurut

#### 4. Wilayah Gempa dan Spektrum Respon

Dalam menentukan wilayah gempa terlebih dahulu kita harus mengetahui klasifikasi dan jenis tanah pada masing-masing wilayah gempa berdasarkan tabel 4 dan 5 SNI 1726-2012 dalam sifat-sifat tanah pada masing-masing situs dengan melihat koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  yang dapat dilihat pada **tabel 3.5** dan **tabel 3.6**. Dapat juga dilakukan dengan cara melihat atau mencari parameter spektrum respon pada wilayah zona gempa tertentu berdasarkan acuan yang ada pada [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011) yang telah disediakan berbagai informasi didalamnya oleh badan instansi pemerintahan.

Tabel 3. 5 Koefisien Situs,  $F_a$ 

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s \leq 0,5$	$S_s \leq 0,75$	$S_s \leq 1,0$	$S_s \leq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

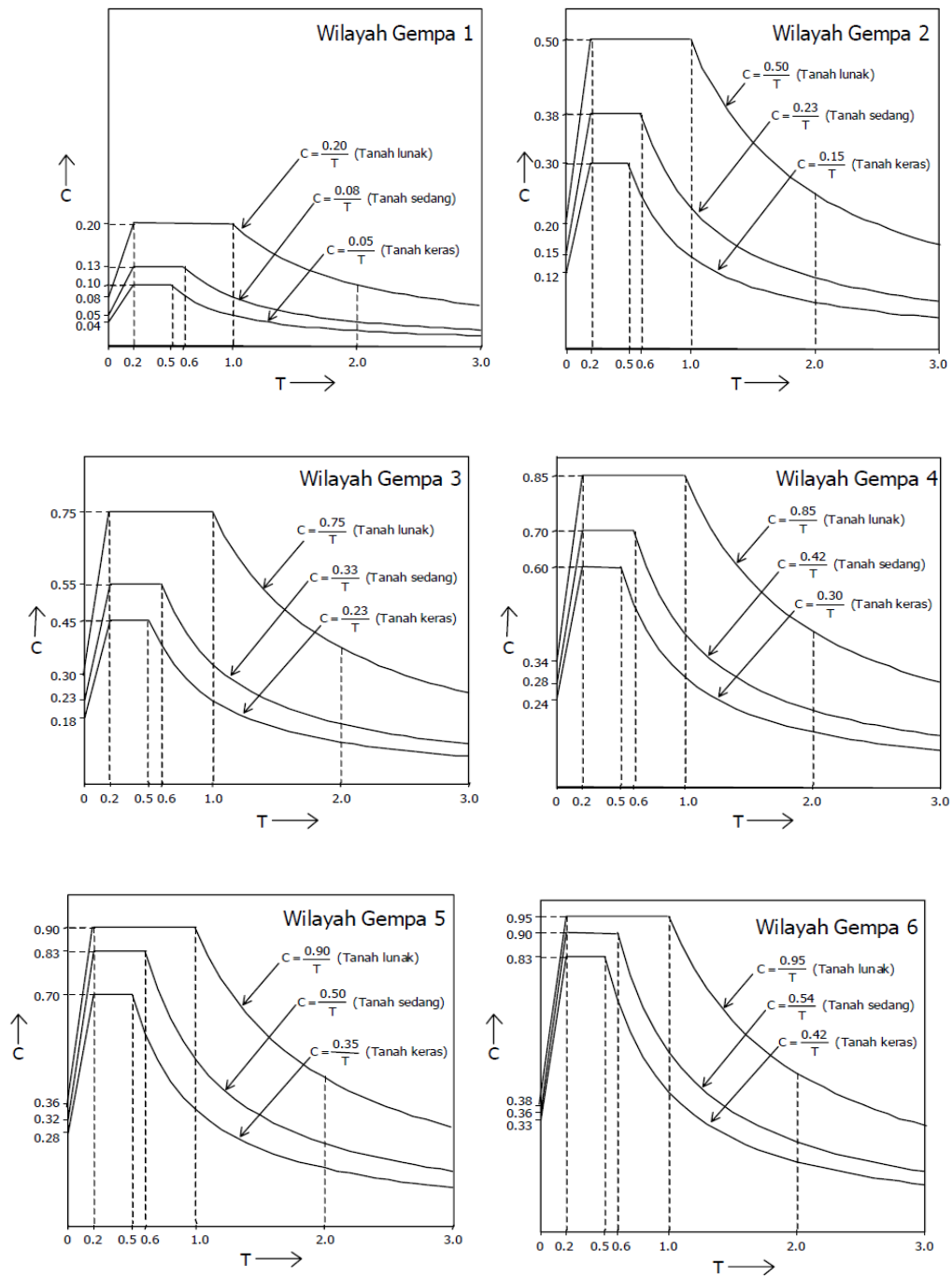
Sumber: SNI 1726:2012, Tabel 4

Tabel 3. 6 Koefisien Situs,  $F_v$ 

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

Sumber: SNI 1726:2012, Tabel 5

Menurut SNI 1726-2002 Indonesia terbagi dalam 6 wilayah gempa, di mana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan aling 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. 13 Respon spektrum gempa rencana (SNI – 1726 -2002)



## 5. Waktu getar alami fundamental

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

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \dots\dots\dots (3.17)$$

Dimana

$W_i$  dan  $F_i$  mempunyai arti yang sama adalah simpangan horisontal lantai tingkat ke- $i$  dinyatakan dalam mm

$g$  adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar 9810 mm/det<sup>2</sup>.

Tabel 5. 1Faktor Keutamaan Gempa

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2012, Tabel 14

## L. Abaqus versi 6.11-2

*ABAQUS* merupakan program komputer berbasis elemen hingga untuk menganalisis berbagai macam permasalahan *non linier* termasuk beton bertulang. Kemampuan program *ABAQUS* ini tidak perlu lagi diragukan karena mampu untuk melakukan *meshing* dengan sangat akurat yaitu dengan berbagai pilihan model dalam elemen agar semakin mendekati dengan kondisi sebenarnya yang ada di lapangan serta mampu melakukan analisis dinamik maupun statik *load*. *ABAQUS* memberikan solusi berbagai persamaan konstruktif untuk menyelesaikan permasalahan *non-linier* sehingga memudahkan pengguna untuk memilih solusi yang tepat untuk model yang akan dianalisis. Dalam

pemodelannya, *ABAQUS* memberikan banyak pilihan model yang dapat digunakan. Pengguna dapat dengan leluasa dalam memilih model geometri, material, serta perilaku benda uji yang akan dimodelkan karena *ABAQUS* berisikan pustaka yang luas dari unsur-unsur yang dapat dimodelkan hampir terdapat pada semua geometri.

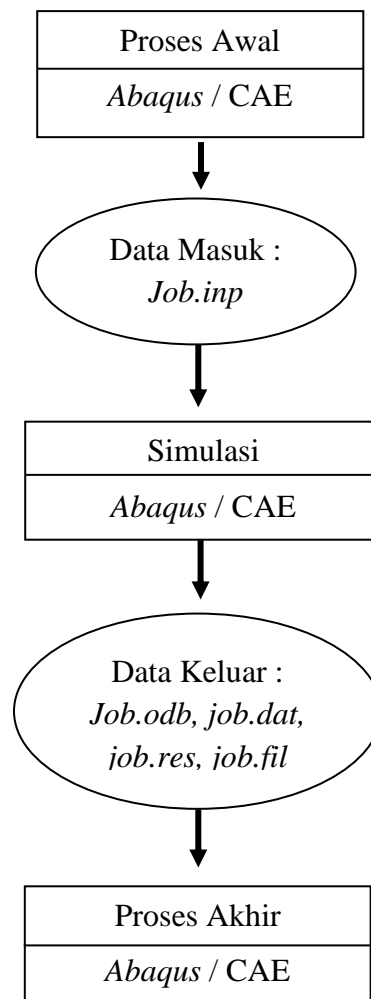
Konsistensi program *ABAQUS* dalam pengembangan software memberikan kemajuan dalam ketetapan permodelan material, geometri, dan model pembebanan sehingga bisa semakin memperoleh hasil eksak dan memberikan hasil dengan mendekati di lapangan atau kondisi nyata. Program *ABAQUS* ini memiliki daftar yang sangat luas dari model material yang dapat mensimulasikan perilaku sebagian besar bahan model rekayasa, termasuk logam, karet, polimer, komposit, beton bertulang, busa yang lentur dan kuat, hingga bahan geoteknik seperti tanah dan batuan.

*ABAQUS* menawarkan berbagai kemampuan untuk simulasi aplikasi linier dan nonlinier. Dimana suatu masalah dari beberapa komponen dimodelkan dengan mengaitkan definisi geometri dari masing-masing komponen dengan modelkan material bahan yang sesuai dan menentukan interaksi pada komponen material.

Dalam kasus ini, analisis nonlinier pada *ABAQUS* otomatis memilih titik penambahan beban yang tepat dan toleransi konvergensi yang terus menyesuaikan program selama proses analisis, untuk memastikan bahwa solusi yang diperoleh merupakan hasil yang akurat dan efisien. Sehingga dalam kajian numerikal analisis struktur portal baja dengan *bracing* ini digunakan bantuan program *ABAQUS* karena dapat memberikan data numerikal yang akurat melalui proses konvergensi dalam menarik hasil yang tepat dari nilai kurva-kurva yang diberikan.

#### 1. Tahapan-Tahapan analisis *Abaqus*

Masih menurut buku *Abaqus "Getting Strateed with Abaqus, Interactive Edition"*, dijelaskan bahwa untuk menganalisis sampai selesai dengan program *Abaqus* biasanya melalui tiga tahap yang berbeda yaitu proses awal, simulasi dan proses akhir. Kemudian dari ketiga tahap tersebut dihubungkan sehingga menjadi seperti **Gambar 3.14**



**Gambar 3. 14** Tahapan menjalankan program Abaqus

a. Proses Awal (*Preprocessing*)

Pada bagian ini kita harus menentukan model awal yang menjadi masalah fisik yang akan kita input datanya pada program *abaqus*.

b. Simulasi (*Simulation*)

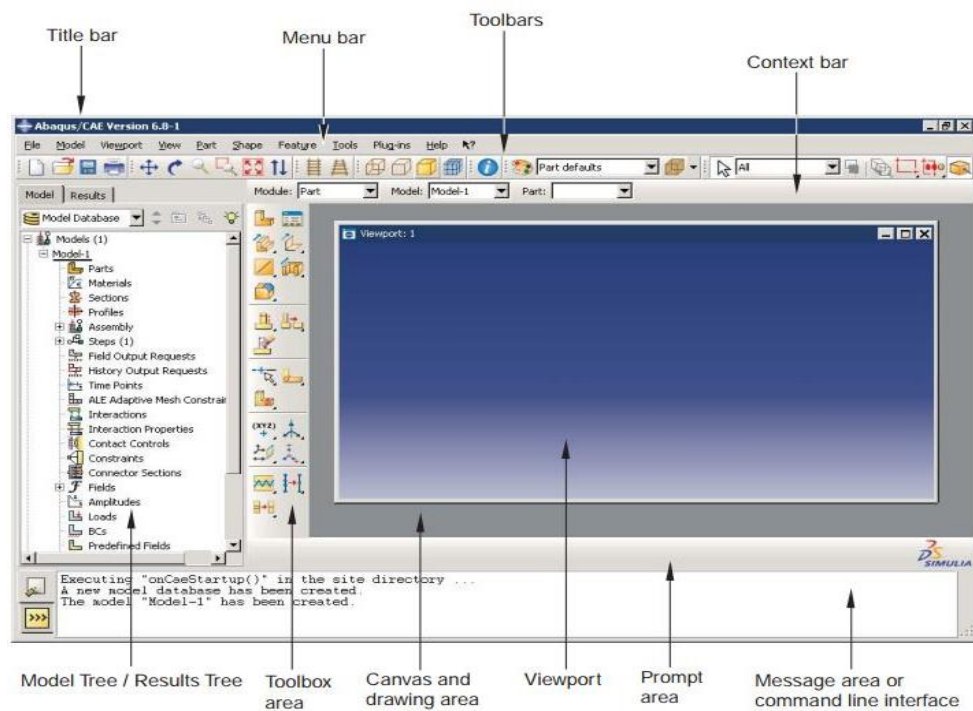
Simulasi yang biasanya dijalankan sebagai pengantar proses adalah tahap dimana program *abaqus* memulai proses untuk melakukan pemecahan masalah numerik yang diidentifikasi dalam model. Sebagai contoh, keluaran dari stress analisis termasuk perpindahan dan tekanan yang disimpan dalam berkas biner untuk

proses akhir. Untuk menyelesaikan analisis, mungkin bisa membutuhkan beberapa jam atau hari tergantung dari kekuatan komputer yang digunakan.

c. Proses Akhir (*Post Processing*)

Pada proses akhir kita dapat mengambil kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah selesai pada perpindahan, gaya atau variable lainnya yang sudah di dilakukan perhitungan. Hasil akhir biasanya dibuat dalam suatu laporan atau sebuah catatan.

2. Komponen pada Windows Utama



**Gambar 3.15.** Komponen pada Windows Utama Program Abaqus  
(Sumber : *Abaqus Helper*)

Dimana :

a. *Title Bar*

Title bar menunjukkan versi dalam Abaqus kita melakukan sedang kita gunakan dan juga menunjukkan judul dari file yang kita buat.

b. *Menu Bar*

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

c. *Toolbars*

Tool ini memberikan akses cepat yang tersedia pada menu.

d. *Context bar*

Dalam konteks bar memungkinkan kita untuk berpindah antar modul serta mengambil bagian yang sudah ada ketika membuat geometri model.

e. *Model Tree / Result Tree*

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

f. *Toolbox area*

Memungkin akses cepat ke banyak fungsi modul yang tersedia

g. *Canvas and drawing area*

Adalah tempat / lokasi untuk area gambar

h. *Viewport*

Alah jendela di area gambar di mana abaqus menampilkan model yang telah dibuat

i. *Prompt area*

Menampilkan petunjuk atau panduan untuk mengikuti selama prosedur

j. *Message Area or command line interface*

Pada bagian ini ABAQUS/CAE akan memunculkan informasi dan peringatan yang terjadi jika ada informasi atau kesalahan.

## M. Metode Elemen Hingga

### 1. Metode Elemen Hingga pada *Software Abaqus*

Metode elemen hingga merupakan salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah struktural, termal dan elektromagnetik. Dalam metode ini seluruh masalah yang kompleks seperti variasi bentuk, kondisi batas dan beban diselesaikan dengan metode pendekatan. Karena keanekaragaman dan fleksibilitas sebagai perangkat analisis, metode ini mendapat perhatian dalam dunia teknik.

Program komputer yang menggunakan metode elemen hingga diantaranya adalah program analisis struktur untuk rangka batang rangka, dimana matriks kekakuan diformulasikan menurut teori eksak. Akan tetapi, untuk kebanyakan masalah, model elemen hingga hanya merupakan pendekatan dari kontinum dan tentunya harus ada asumsi lain dalam formulasi kekakuan atau bentuk deformasi. Penggunaan asumsi peralihan yang cocok merupakan bagian penting dari formulasi elemen hingga untuk masalah kompleks. Karena metode ini berupa pendekatan, maka penggunaannya harus secara hati-hati dengan terus memperhatikan asumsi yang ada dan perlu ditekankan bahwa program elemen hingga tidak selalu merupakan akhir analisis structural.

Salah satu program komputer yang berbasis metode elemen hingga adalah *Software Abaqus*. Kemampuan dari *Software Abaqus* ini tidak perlu lagi diragukan karena mampu untuk melakukan *meshing* dengan sangat akurat yaitu dengan berbagai pilihan model dalam elemen agar semakin mendekati dengan kondisi sebenarnya yang ada di lapangan serta mampu melakukan analisis dinamik maupun statik *load*. *Software Abaqus* memberikan solusi berbagai persamaan konstruktif untuk menyelesaikan permasalahan *non-linier* sehingga memudahkan pengguna untuk memilih solusi yang tepat untuk model yang akan dianalisis.

Dalam pemodelannya, *Software Abaqus* memberikan banyak pilihan model yang dapat digunakan. Pengguna dapat dengan leluasa dalam memilih model geometri, material, serta perilaku benda uji yang akan dimodelkan karena *Software Abaqus* berisikan pustaka yang luas dari unsur-unsur yang dapat dimodelkan hampir terdapat pada semua geometri.

Selain itu *Software Abaqus* juga menawarkan berbagai kemampuan untuk simulasi aplikasi baik linier dan nonlinier. Dimana suatu masalah dari beberapa komponen dimodelkan dengan mengaitkan definisi geometri dari masing-masing komponen dengan modelkan material bahan yang sesuai dan menentukan interaksi pada komponen material. Dalam kasus ini, analisis nonlinier pada *Software Abaqus* otomatis memilih titik penambahan beban yang tepat dan toleransi konvergensi yang terus menyesuaikan program selama proses analisis, untuk memastikan bahwa solusi yang diperoleh merupakan hasil yang akurat dan efisien. Sehingga dalam kajian numerikal analisis struktur portal baja dengan *bracing* ini digunakan bantuan *Software Abaqus*, karena dapat memberikan data numerikal yang akurat melalui proses konvergensi dalam menarik hasil yang tepat dari nilai kurva-kurva yang diberikan.

## 2. 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 :

$$[K] \{U\} = \{F\} \dots\dots\dots(3.18)$$

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  $\phi_1, \dots, \phi_n, \psi_1, \dots, \psi_n$ , dan  $\eta_1, \dots, \eta_n$  pada persamaan, yang selanjutnya disebut *shape functions*.

$$\begin{aligned} u &= a_1 \cdot \phi_1(x,y,z) + a_2 \cdot \phi_2(x,y,z) + \dots + a_n \cdot \phi_n(x,y,z) \\ v &= b_1 \cdot \psi_1(x,y,z) + a_2 \cdot \psi_2(x,y,z) + \dots + b_n \cdot \psi_n(x,y,z) \dots \dots \dots (3.19) \\ w &= c_1 \cdot \eta_1(x,y,z) + a_2 \cdot \eta_2(x,y,z) + \dots + b_n \cdot \eta_n(x,y,z) \end{aligned}$$

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 :

- 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  $x,y,z$ .
- 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 ( $\pi$ ) dari sistem tersebut merupakan jumlah dari energi potensial dari masing masing elemen ( $\pi_e$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\pi = \sum_{e=1}^N \pi_e \dots\dots\dots(3.20)$$

- d. Berdasarkan prinsip – prinsip di atas dapat dipakai untuk memperoleh perkiraan yang dekat dari energi potensial total dengan cara menjumlah seluruh  $\pi_e$  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.

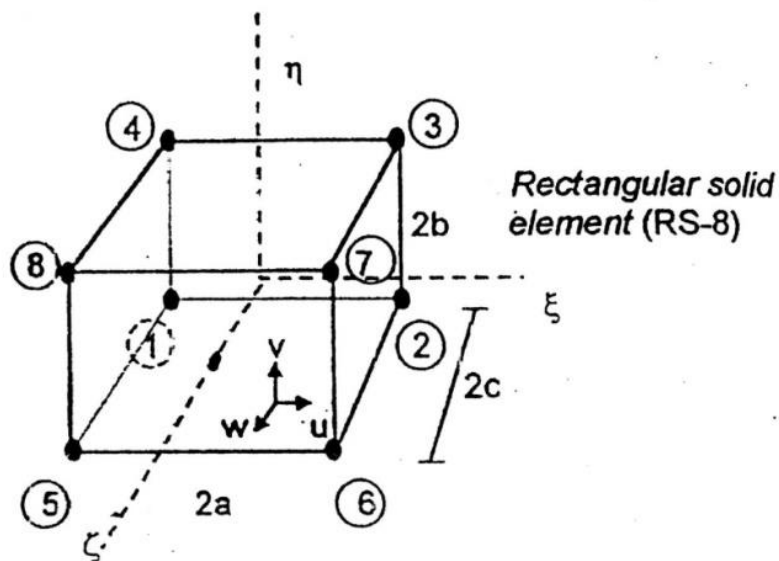
### 3. Jenis Elemen 3–*Dimensional Solid*

Dalam analisis struktur metode elemen hingga, elemen sangat mempengaruhi perhitungan, dalam penelitian ini *Wide Flange Shape* diidealisasikan sebagai elemen 3–*Dimensional Solid* dikarenakan mempunyai sayap yang lebar dan terbuat dari material solid baja.

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

- a. *Element Rectangular Solid* (RS–8)

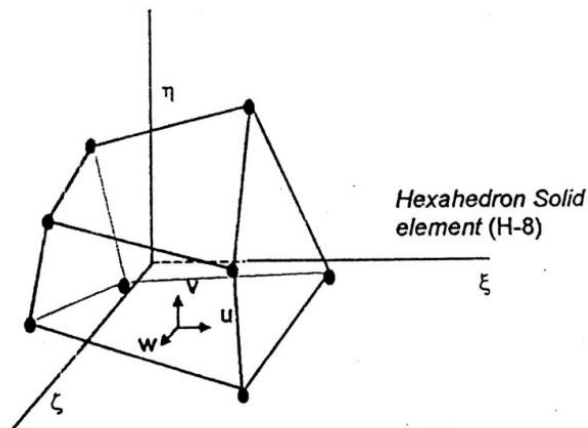
Merupakan jenis elemen *Hexahedral*, yang bentuk elemen ini seperti bata (*brick*) yang mempunyai titik nodal minimal 8 buah. Elemen ini mempunyai 3 *degree of freedom* pada setiap titik nodalnya, sehingga secara keseluruhan elemen ini mempunyai 24 *degree of freedom*. Pada pengaplikasiannya, elemen ini hanya digunakan untuk menganalisis bentuk struktur yang beraturan saja karena bentuknya yang menyerupai kubus. Gambar elemen ini dapat dilihat pada **Gambar 3.17**



**Gambar 3. 16** Elemen Rectangular Solid (RS-8)  
(Sumber: Suhendro, 2000)

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

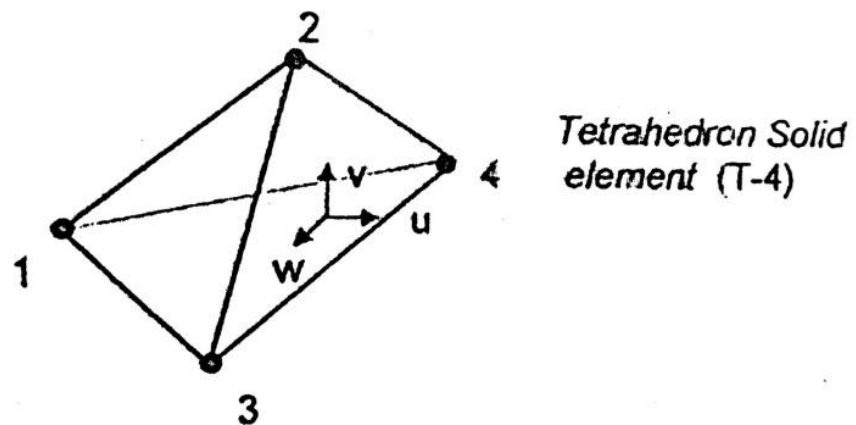
Merupakan jenis elemen *Hexahedral*, yang mana elemen ini merupakan pengembangan dari elemen *Rectangular Solid (RS-8)*, mempunyai 6 sisi (*hexahedron side*) tapi bentuknya tidak berbentuk kubus sempurna. Sama seeti halnya dengan elemen *Rectangular Solid*, maka elemen ini mempunyai 3 *degree of freedom* 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 3.18**



**Gambar 3. 17** 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 3.19**.



**Gambar 3. 18** Elemen Tethrahedron Solid (T-4)  
(Sumber: Suhendro, 2000)

