

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **7.1 Umum**

Salah satu tahapan yang penting dalam perencanaan suatu struktur adalah pemilihan jenis material yang akan digunakan. Jenis-jenis material yang selama ini digunakan adalah baja, beton dan kayu. Material baja telah banyak dan lama digunakan sebagai bahan bangunan karena beberapa keunggulannya dibandingkan material lain, antara lain:

1. Mempunyai kekuatan yang tinggi sehingga dapat mengurangi ukuran dan berat struktur. Hal ini menguntungkan bagi struktur-struktur jembatan yang panjang dan bangunan yang tinggi.
2. Material baja jauh lebih homogen dibandingkan material lain dan memiliki tingkat keawetan yang tinggi jika dirawat sebagaimana seharusnya.
3. Baja memiliki sifat yang cukup elastis sehingga mempunyai perilaku yang cukup dekat dengan asumsi-asumsi yang digunakan untuk menganalisa, mengikuti Hukum Hooke.
4. Daktailitas baja juga cukup tinggi karena batang baja yang menerima tegangan tarik yang tinggi akan mengalami regangan tarik cukup besar sebelum keruntuhan terjadi.
5. Kemudahan dalam hal penyambungan antarelemen dengan menggunakan baut dan las.
6. Baja dibentuk dengan proses gilas panas sehingga mudah dibentuk menjadi penampang-penampang yang diinginkan.
7. Proses pelaksanaan konstruksi berlangsung lebih cepat.

Di samping keunggulan tersebut, material baja memiliki kekurangan terutama yang berhubungan dengan perawatan. Apabila konstruksi berhubungan langsung dengan udara atau air harus dicat secara periodik. Material baja juga harus dilindungi dari kebakaran karena akan mengalami penurunan kekuatan secara drastis karena naiknya temperatur. Di samping itu, api juga akan menyebar dengan cepat karena baja merupakan konduktor yang baik.

Baja terdiri dari berbagai bahan campuran yaitu besi, karbon (1,7%), mangan (1,65%), silikon (0,6%) dan tembaga (0,6%). Yang merupakan bahan utama adalah besi (Fe) dan karbon (C). Baja dihasilkan dengan melelehkan bijih besi dan logam besi tua bersama-sama dengan bahan tambahan pencampur yang sesuai dalam tungku temperatur tinggi untuk menghasilkan massa-massa besi yang besar. Selanjutnya dibersihkan untuk menghilangkan zat arang dan kotoran lain. Kekuatan karbon bergantung kepada besar kecilnya kadar karbon yang dikandungnya. Semakin besar kadar karbonnya maka semakin besar pula tegangan dan regangannya tetapi ketahanan bahan (daktailitas) semakin kecil. Oleh karena itu, perlu diperhatikan persentase maksimumnya sehingga daktailitas minimumnya dapat dijamin.

Baja karbon dibagi menjadi empat kategori berdasarkan persentase karbonnya. Karbon rendah (kurang dari 0,15%); karbon lunak (0,15 – 0,29%); karbon sedang (0,3 – 0,59%) dan karbon tinggi (0,6 – 1,7%). Baja karbon struktural termasuk dalam kategori karbon lunak. Baja karbon struktur menunjukkan titik leleh definit, peningkatan persentase karbon akan meningkatkan kekerasannya namun mengurangi kekenyalannya.

Dalam perencanaan struktur baja, SNI-03-1729-2002 beberapa sifat-sifat mekanis dari material baja adalah sebagai berikut:

1. Modulus elastisitas (E) 200000 Mpa.
2. Modulus geser (G) dihitung berdasarkan persamaan:  $G = E / 2 (1 + \mu)$

Di mana  $\mu$  = angka perbandingan poisson

Dengan mengambil  $\mu = 0,3$  dan  $E = 200000$  Mpa akan memberikan nilai  $G = 80000$  Mpa.

3. Koefisien ekspansi ( $\alpha$ ) diperhitungkan sebesar  $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Sifat mekanis baja struktural berdasarkan tegangan putus dan lelehnya ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan Leleh Minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan 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: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI-03-1729-2002

Jika suatu benda ditarik atau diberi beban maka bahan baja akan mulur (extension), terdapat hubungan antara pertambahan panjang dengan gaya yang diberikan. Jika gaya persatuan luasan disebut tegangan dan pertambahan panjang disebut regangan maka hubungan ini dinyatakan dengan grafik tegangan dan regangan.

Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan hubungan tegangan dan regangan pada baja.

Gambar 2.1 Hubungan Tegangan Regangan untuk Uji Tarik pada Baja Lunak

(Sumber: <http://okasatria.blogspot.com/2008/02/pengujian-tarik.html>)

1. Batas proporsional (*proportional limit*)

Dari titik asal 0 ke suatu titik yang disebut batas proporsional masih merupakan garis lurus. Pada daerah ini berlaku hukum Hooke, bahwa tegangan sebanding dengan regangan. Kesebandingan ini tidak berlaku di seluruh diagram. Kesebandingan ini berakhir pada batas proporsional.

2. Batas elastis (*elastic limit*)

Batas elastis merupakan batas tegangan di mana bahan tidak kembali lagi ke bentuk semula apabila beban dilepas tetapi akan terjadi deformasi (perubahan

bentuk) tetap yang disebut *permanent set*. Untuk banyak material, nilai batas proporsional dan batas elastik hampir sama. Untuk membedakannya, batas elastik selalu hampir lebih besar daripada batas proporsional.

### 3. Titik mulur (*yield point*)

Titik mulur adalah titik di mana bahan memanjang mulur tanpa penambahan beban. Gejala mulur khususnya terjadi pada baja struktur (*medium-carbon structural steel*), paduan baja atau bahan lain tidak memilikinya.

### 4. Kekuatan maksimum (*ultimate strength*)

Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan.

### 5. Kekuatan patah (*fracture strength*)

Kekuatan patah terjadi akibat bertambahnya beban mencapai beban patah sehingga beban meregang dengan sangat cepat dan secara simultan luas penampang bahan bertambah kecil.

## 7.2 Sambungan

Setiap struktur adalah gabungan dari bagian-bagian tersendiri atau batang-batang yang harus disambung bersama. Cara yang digunakan untuk menggabungkannya adalah pengelasan dan dengan menggunakan alat penyambung, baik itu paku keling atau baut (baut berkekuatan tinggi/*high strength bolt* dan baut hitam). Sambungan ini harus mampu menyalurkan gaya-gaya yang bekerja dari suatu komponen ke komponen lainnya. Oleh karena itu, sambungan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga menghasilkan sambungan yang aman secara struktural, ekonomis dan praktis dibuat.

Berdasarkan gaya-gaya yang dipikul sambungan terdiri atas:

1. Sambungan tunggal (*lap joint*) yaitu sambungan yang beririsan satu.
2. Sambungan rangkap/double (*butt joint*) yaitu sambungan beririsan kembar.
3. Tampang T yang digunakan sebagai batang gantung yang menimbulkan tegangan tarik pada baut.

Kriteria dasar perencanaan sambungan adalah:

1. Kekakuan (*strength*) yakni harus mampu menahan momen, gaya geser dan gaya aksial yang dipindahkan dari batang satu ke batang yang lain.
2. Kekakuan (*stiffness*) yang dimaksudkan untuk menjaga lokasi semua komponen struktur satu sama lain.
3. Cukup ekonomis yakni sambungan harus sederhana, biaya untuk fabrikasinya murah tetapi memenuhi syarat cukup kuat dan mudah dalam pelaksanaannya.
4. Praktis dalam pelaksanaannya.

Dari segi kekakuannya sambungan dapat dibagi atas:

1. Sambungan definitif artinya sambungan tidak dapat dibuka lagi tanpa merusak alat-alat penyambungannya, pada umumnya menggunakan paku keling atau pengelasan.
2. Sambungan tetap artinya bagian yang disambung tidak dapat bergerak lagi, pada umumnya juga digunakan paku keling.
3. Sambungan sementara artinya dapat dibuka lagi tanpa merusak alat penyambungannya, biasanya menggunakan baut.
4. Sambungan bergerak artinya sambungan yang memungkinkan pergerakan yang dibutuhkan menurut perhitungan statis pada bagian-bagian yang disambung, umumnya digunakan engsel (sendi) dan landasan (tumpuan).

Berdasarkan kekuatan geser sambungan (*connection rigidity*) sambungan dapat dibagi menjadi:

1. Sambungan kaku yang mengembangkan kapasitas momen penuh dari bagian konstruksi penyambung dan mempertahankan sudut yang relatif konstan di antara bagian-bagian yang disambung di bawah setiap rotasi sambungan.
2. Kerangka sederhana/ sendi yakni tanpa terjadinya perpindahan momen di antara bagian-bagian yang disambung. Sebenarnya sejumlah kecil momen akan dikembangkan tetapi momen tersebut diabaikan dalam perencanaan. Setiap eksentrisitas sambungan yang kurang dari 63 mm akan diabaikan.
3. Sambungan semi kaku, dengan kapasitas momen yang dipindahkan kurang dari kapasitas momen penuh dari bagian-bagian konstruksi yang disambungkan. Perencanaan ini mengharuskan untuk menganggap (dengan dekomendasi yang memadai) adanya sejumlah kapasitas momen sembarang, misalnya 20, 30, atau 75 % dari kapasitas bagian konstruksi.

a. Sendi

b. Kaku

c. Semi Kaku

Gambar 2.2 Sambungan Berdasarkan Kekuatan Geser

(Sumber: Ervina Sari, Analisis Sambungan Balok dengan Kolom pada Portal Baja, 2003)

### 7.3 Sambungan Baut

Sambungan baut yang lebih sering digunakan adalah baut mutu tinggi. Di samping itu ada juga baut hitam (baut mutu normal) A307 yang terbuat dari baut mutu rendah.

#### 1. Baut kekuatan tinggi/ *High Strength Bolt* (HSB)

Ada dua tipe dasar baut mutu tinggi yang distandarkan oleh *American Standard Testing of Materials* (ASTM) yaitu tipe A325 dan A490. Baut ini mempunyai kepala berbentuk segi enam. Baut A325 terbuat dari baja karbon yang memiliki kuat leleh 560-630 Mpa sedangkan baut A490 terbuat dari baja *alloy* dengan kuat leleh 790-900 Mpa, tergantung diameternya. Diameter baut mutu tinggi berkisar antara  $\frac{1}{2}$  -  $1\frac{1}{2}$  in. Yang sering digunakan untuk struktur bangunan adalah diameter  $\frac{3}{4}$  dan  $\frac{7}{8}$  sedangkan untuk desain jembatan menggunakan baut mutu tinggi berdiameter antara  $\frac{7}{8}$  hingga 1 in.

Dalam pemasangan baut mutu tinggi memerlukan gaya tarik awal yang cukup diperoleh dari pengencangan awal. Gaya ini akan memberikan friksi sehingga cukup kuat untuk memikul beban yang bekerja. Gaya ini dinamakan *proff load* yang diperoleh dengan mengalikan luas daerah tegangan tarik ( $A_s$ ) dengan kuat leleh yang diperoleh dengan metode 0,2% tangen atau 0,5% regangan yang besarnya 70%  $f_u$  untuk A325 dan 80% untuk A490.  $d_b$



Tabel 2.2 Sifat-Sifat Baut

Identifikasi ANSI/ASTM	Diameter Baut inci (mm)	Beban Leleh, <sup>a</sup> Metode Pengukuran <sup>b</sup> Panjang, ksi (MPa)	Beban Leleh, <sup>a</sup> Metode Kekuatan <sup>c</sup> Leleh, ksi (MPa)	Kekuatan Tarik Minimum, ksi (MPa)
A307 <sup>d</sup> , baja karbon rendah Mutu A dan B	¼ sampai 4 (6,35 sampai 104)	-	-	60
A325 <sup>e</sup> , baja berkekuatan tinggi Tipe 1, 2, dan 3	½ sampai 1 (12,7 sampai 25,4)	85 (585)	92 (635)	120 (825)
Tipe 1, 2, dan 3	1 1/8 sampai 1 1/2 (28,6 sampai 38,1)	74 (510)	81 (560)	105 (725)
A449 <sup>f</sup> , baja berkekuatan tinggi (Catatan: Pemakaiannya dibatasi oleh AISC hanya untuk baut yang lebih besar dari 1 1/2 inci serta untuk batang berulir dan baut angkur)	¼ sampai 1 (6,35 sampai 25,4)	85 (585)	92 (635)	120 (825)
	1 1/8 sampai 1 1/2 (28,6 sampai 38,1)	74 (510)	81 (560)	105 (725)
	1 3/4 sampai 3 (6,35 sampai 76,2)	55 (380)	58 (400)	90 (620)
A490 <sup>g</sup> , baja paduan yang diberi perlakuan panas	½ sampai 1 1/2 (12,7 sampai 38,1)	120 (825)	130 (895)	150 (1035)

Sumber: Struktur Baja Desain dan Perilaku Jilid I Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, 1997

Keterangan:

<sup>a</sup> Beban leleh (proof load) dan beban tarik sesungguhnya yang diperoleh dengan mengalikan harga tegangan tertentu dan luas tegangan tarik  $A_s$ ;  $A_s = 0,7854 [D - (0,9743/n)]^2$ , dengan  $A_s$  = luas tegangan dalam inci persegi,  $D$  = diameter baut nominal dalam inci, dan  $n$  = jumlah ulir per inci.

<sup>b</sup> Perpanjangan 0,5% akibat beban

<sup>c</sup> Nilai pada regangan tetap 0,2%

<sup>d</sup> ANSI/ASTM A307-78

<sup>e</sup> ANSI/ASTM A325-78a

<sup>f</sup> ANSI/ASTM A449-78a

<sup>g</sup> ANSI/ASTM A490-78

## 2. Baut hitam (Baut mutu normal)

Baut hitam ini dibuat dari baja karbon rendah memenuhi standar ASTM A-307. Dipakai pada struktur ringan seperti gording, rangka batang yang kecil, rusuk dinding dan lain-lain yang bebannya kecil dan bersifat statis. Baut ini dibagi atas dua jenis yaitu baut sekrup (*turned bolt*) dan baut bersirip (*ribbed bolt*).

Baut mutu normal dikencangkan dengan tangan. Baut mutu tinggi mula-mula dipasang dengan kencang tangan kemudian diikuti setengah putaran lagi (*turn of the nut method*). Sambungan baut mutu tinggi dapat didesain sebagai sambungan tipe friksi (jika dikehendaki tak ada slip) atau juga sebagai sambungan tipe tumpu.

Sambungan tipe tumpu adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian-bagian yang disambungkan. Sambungan ini digunakan apabila kelebihan beban tidak penting walaupun menyebabkan tangkai baut mendesak sisi lubang. Untuk pembebanan lainnya, beban dipindahkan oleh gesekan bersama dengan desakan pelat. Gelinciran hanya akan terjadi sekali asalkan pembebanan bersifat statis dan

tak berubah arah dan setelah itu baut akan bertumpu pada bahan di sisi lubang. Pada sambungan tipe ini satu-satunya kriteria yang harus dipenuhi adalah kekuatan sambungan harus memadai.

Sambungan tipe friksi adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan tarikan baut minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana disalurkan melalui jepitan yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan antara bidang-bidang kontak. Tipe ini digunakan apabila gelinciran pada beban kerja tidak dikehendaki. Pada tipe ini daya tahan gelincir memadai pada kondisi beban kerja harus disediakan di samping kekuatan sambungan yang memadai.

Menurut Spesifikasi AISC setiap baut kekuatan tinggi harus dipasang dengan cara yang sama hingga tarikan awalnya sama tanpa memandang tipe sambungan apakah tipe geser atau tipe tumpu. Penampilan pada beban kerja pada umumnya identik yaitu beban kerja disalurkan melalui gesekan antara potongan yang disambung. Perbedaan penampilan hanyalah akibat perbedaan faktor keamanan terhadap gelincir.

Secara struktural sambungan harus mampu mencegah terjadinya gerakan material yang akan disambung dalam arah tegak lurus terhadap panjang baut. Kasus seperti ini disebut bahwa baut mengalami geser. Kekuatan pikul beban desain suatu baut yang mengalami geser tunggal sama dengan hasil kali antara luas penampang melintang tangkainya (*shank*) dan tegangan geser ijin.

$$P_{\text{geser}} = A_b \cdot \tau_o$$

di mana:  $P_{\text{geser}}$  = kekuatan geser

$A_b$  = luas penampang melintang baut

$\tau_o$  = tegangan geser ijin baut

Untuk meninjau kekuatan plat di sekitar lubang baut. Jika pelat tidak kuat maka lubang baut pada plat akan berubah bentuk dari bundar menjadi oval. Pada bidang kontak antara baut dan plat terjadi tegangan yang disebut sebagai tegangan tumpu.

$$P_{\text{tumpu}} = d \cdot t \cdot \tau_{\text{tp}}$$

di mana:  $P_{\text{tumpu}}$  = kekuatan tumpu

$d$  = diameter lubang

$t$  = tebal pelat terkecil

$\tau_{\text{tp}}$  = tegangan tumpu

#### **7.4 Persyaratan/ Ketentuan untuk Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa**

Apabila struktur bangunan baja berada pada daerah zonasi gempa maka dalam perencanaannya harus memenuhi beberapa ketentuan yang telah dibuat di Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI-03-1729-2002. Ketentuan ini dimaksudkan untuk perencanaan dan pelaksanaan komponen struktur bangunan baja termasuk sambungan dalam struktur dengan gaya yang bekerja dihasilkan dari beban gempa yang telah ditentukan dengan memperhatikan disipasi energi di dalam daerah respon nonlinier struktur bangunan tersebut.

Komponen struktur bangunan baja tahan gempa harus memenuhi,

$$\phi R_n \geq R_u$$

Keterangan:

$\phi$  = faktor reduksi beban (0,75)

Rn = kuat nominal komponen struktur

Ru = pengaruh aksi terfaktor yaitu momen atau gaya yang diakibatkan oleh suatu kombinasi pembebanan atau pengaruh aksi perlu yaitu momen atau gaya yang disyaratkan untuk struktur tahan gempa

Gaya geser dasar rencana total (V) pada suatu arah ditetapkan:

$$V = \frac{C I}{R} W_t$$

Keterangan:

V = gaya geser dasar rencana total, N

R = faktor modifikasi respons

W<sub>t</sub> = berat total struktur, N

I = faktor kepentingan struktur

C = koefisien percepatan gempa

Struktur harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut:

1. Beban mati (*Dead Load*), dinyatakan dengan DL

Beban mati yang diperhitungkan dalam struktur baja tahan gempa adalah berat sendiri elemen struktur bangunan yang memiliki fungsi struktural menahan beban. Berat jenis baja adalah 7850 kg/m<sup>3</sup>. Beban tersebut harus disesuaikan dengan volume struktur yang digunakan dan akan dihitung dengan menggunakan bantuan program SAP 2000.

2. Beban hidup (*Live Load*), dinyatakan dengan LL

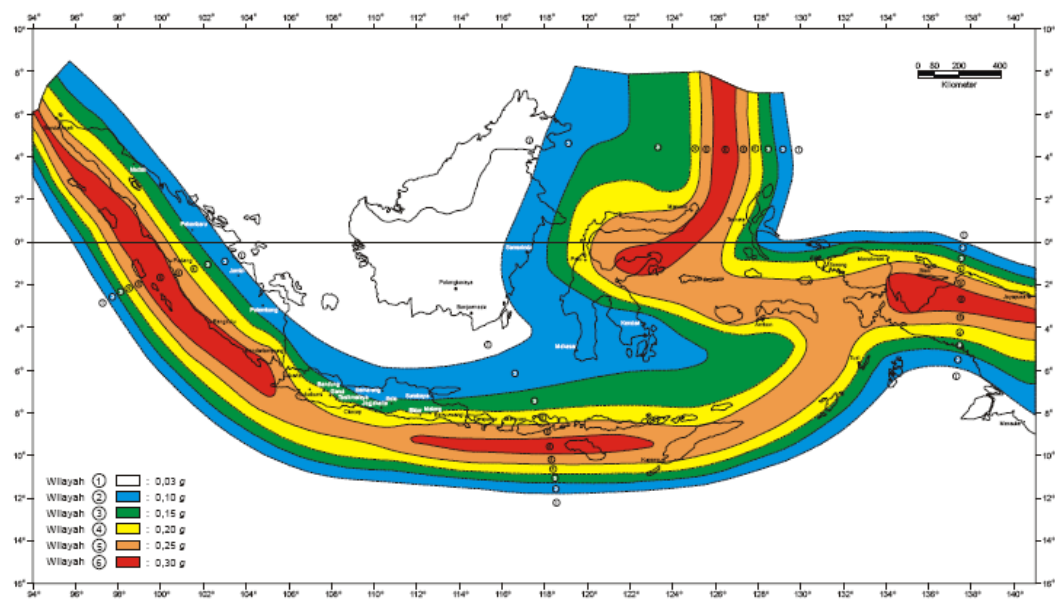
Beban hidup yang diperhitungkan adalah beban hidup selama masa layan. Beban hidup selama masa konstruksi tidak diperhitungkan karena lebih kecil daripada beban hidup pada masa layan. Beban hidup yang direncanakan mengacu

kepada standar pedoman pembebanan yakni beban hidup pada lantai gedung sebesar  $250 \text{ kg/m}^3$  dan beban hidup pada atap gedung sebesar  $100 \text{ kg/m}^2$ .

### 3. Beban Gempa (*Earthquake Load*), dinyatakan dengan E

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat percepatan getaran tanah pada saat gempa terjadi. Untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa perlu diketahui percepatan yang terjadi pada batuan dasar. Berdasarkan penelitian Indonesia dibagi dalam 6 wilayah gempa. Struktur bangunan direncanakan di kota Medan. Berdasarkan SNI-03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Rumah dan Gedung, kota Medan berada pada wilayah zona gempa 3.

Berikut ini adalah tabel dan grafik respon spektra pada wilayah zona gempa 3.



Gambar 2.3 Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Periode Ulang 500 Tahun

(Sumber: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI-03-1729-2002)

### Gambar 2.4 Respon Spektra Gempa Rencana untuk Wilayah Gempa 3

(Sumber: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI-03-1729-2002)

Tabel 2.3 Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk Masing-Masing Wilayah Gempa Indonesia

Wilayah Gempa	Percepatan Puncak Batuan dasar ('g')	Percepatan Puncak Muka Tanah ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI-03-1729-2002

Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan SNI 03-1726-2002 maka terdapat 6 standar kombinasi yakni sebagai berikut:

- 1) 1,4D
- 2) 1,2D + 1,6L + 0,5(La atau H)

$$3) 1,2D + 1,6(La \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8W)$$

$$4) 1,2D + 1,3W + \gamma_L L + 0,5(La + H)$$

$$5) 1,2D \pm 1,0 E + \gamma_L L$$

$$6) 0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E)$$

Keterangan:

D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga dan peralatan tetap

L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain-lain

L adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak

H adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

W adalah beban angin

E adalah beban gempa

dengan,

$\gamma_L = 0,5$  bila  $L < 5$  kPa, dan  $\gamma_L = 1$  bila  $L \geq 5$  kPa