

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ketentuan Mengenai Kekuatan

Dalam perencanaan suatu struktur Masjid, faktor kekuatan mendapat perhatian utama. Penerapan faktor kekuatan dalam struktur bangunan bertujuan untuk mengendalikan kemungkinan terjadinya runtuh yang dapat membahayakan bagi penghuni. Sehingga dalam penerapannya perlu ditetapkan suatu kebutuhan relatif yang ingin dicapai, dimana nantinya gedung akan dapat menerima beban yang lebih besar dari beban yang direncanakan. Kriteria dasar dari kuat rencana yaitu kekuatan yang tersedia lebih besar dari kekuatan yang diperlukan, di mana “kekuatan yang tersedia“ (seperti kekuatan momen) dihitung sesuai dengan peraturan dan pemisalan dari sifat yang ditetapkan oleh suatu peraturan bangunan, dan “kekuatan yang diperlukan” adalah kekuatan yang dihitung dengan menggunakan suatu analisa struktur.

Kekuatan semua penampang komponen struktur dari masjid harus direncanakan sesuai dengan kriteria dasar di atas. Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor. Kuat rencana suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal, yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi dalam SNI 03-2847-2002.

Kekuatan yang diperlukan, disebut sebagai kuat perlu dan diberi simbol U menurut SNI 03-2847-2002 adalah sebagai berikut ini.

- 1) Kuat perlu U untuk menahan beban mati D paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots (2.1.1)$$

Kuat perlu U untuk menahan beban mati D , beban hidup L , dan juga beban atap A atau beban hujan R , paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.1.2)$$

- 2) Bila ketahanan struktur terhadap beban angin W harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban D , L , dan W berikut harus ditinjau untuk menentukan nilai U yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2 D + 0,5 L + 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.1.3)$$

di mana kombinasi beban harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup L yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya, dan

$$U = 0,9 D + 1,6 W \dots\dots\dots (2.1.4)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban D , L , dan W , kuat perlu U tidak boleh kurang dari Pers. (2.1.2).

- 3) Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa (E) harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai kuat perlu U harus diambil sebagai:

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2.1.5)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,1 E \dots\dots\dots (2.1.6)$$

dalam hal ini nilai E ditetapkan berdasarkan ketentuan SNI-03-1726-1989 F tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung, atau penggantinya.

4) Kuat rencana suatu komponen struktur sehubungan dengan perilaku lentur, beban normal, geser, dan torsi harus diambil sebagai hasil kali kuat nominal yang dihitung dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ . Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 faktor reduksi ϕ diatur sebagai berikut:

1. reduksi kekuatan lentur, tanpa beban aksial : 0,80
2. Beban aksial, dan beban aksial dengan lentur:
 - (a) reduksi beban aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur : 0,80
 - (b) reduksi beban aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur:
 - komponen struktur dengan tulangan spiral : 0,70
 - komponen struktur lainnya : 0,65
3. reduksi untuk geser dan torsi : 0,75
4. tumpuan pada beton : 0,65

2.2. Dasar-Dasar Pembebanan

Beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah dan manusia, dengan kata lain, terdapat dua sumber dasar beban bangunan: geofisik dan buatan manusia.

Gaya-gaya geofisik yang dihasilkan oleh perubahan-perubahan yang senantiasa berlangsung di alam dapat dibagi menjadi gaya-gaya gravitasi, meteorology, dan seismologi. Karena gravitasi, maka berat bangunan itu sendiri akan menghasilkan gaya struktur yang dinamakan beban mati, dan beban ini akan tetap sepanjang usia bangunan. Perubahan dalam penggunaan bangunan akan tunduk pada efek gravitasi sehingga akan menghasilkan perbedaan pembebanan sepanjang waktu tertentu. Beban meteorology berubah menurut waktu dan tempat

serta tampil berwujud angin, suhu, kelembaban, hujan, salju, dan es. Gaya-gaya seismologi dihasilkan oleh gerak tanah yang tidak teratur, seperti gempa.

Pembebanan yang sumbernya buatan manusia dapat berupa ragam kejutan yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor, elevator (lift), mesin, dan sebagainya, atau dapat pula oleh pergerakan manusia dan barang, ataupun akibat ledakan dan benturan.

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan, sebaiknya mengikuti peraturan-peraturan pembebanan yang berlaku untuk mendapatkan suatu struktur bangunan yang mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Secara umum beban-beban yang harus diperhitungkan dalam perancangan suatu struktur bangunan adalah sebagai berikut:

A. Beban mati

Beban mati dapat dinyatakan sebagai gaya statis yang disebabkan oleh berat tiap unsur didalam struktur, termasuk unsur tambahan serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung tersebut.

Tabel 2.1: Beberapa intensitas beban mati

Beban Mati	Berat (kg/m³)
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Kerikil (kering udara sampai lembab)	1650
Beton	2200
Beton bertulang	2400
Pasangan batu bata	1700
Pasangan batu belah, batu gunung, dan batu bulat	2200
Besi tuang	7250
Baja	7850
Aluminium	2750
Kaca	2600

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987

B. Beban hidup

Semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan-peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari bangunan itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap, ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

Tabel 2.2 : Beberapa intensitas beban hidup

Beban Hidup	Berat (kg/m³)
(a) Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam (b)	200
(b) Lantai dan rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko atau ruang kerja	150
(c) Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, restoran, hotel dan asrama	250
(d) Lantai olah raga	400
(e) Tangga, bordes tangga, dan gang yang disebutkan dalam (c)	300
(f) Lantai ruang dansa	500
(g) Lantai dan balkon-dalam dari ruang untuk pertemuan, tidak termasuk dalam yang disebutkan dalam (a) s.d (f) seperti masjid, ruang konser, ruang pertunjukan, ruang rapat, bioskop dsb.	400

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987

C. Beban gempa

Gempa adalah fenomena getaran yang diakibatkan oleh benturan atau gesekan lempeng tektonik bumi yang terjadi di daerah patahan. Pada saat bangunan bergetar akibat pengaruh dari gelombang gempa, maka akan timbul gaya-gaya pada struktur karena adanya kecenderungan dari massa struktur untuk

mempertahankan posisinya dari pengaruh gerakan tanah. Beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan merupakan gaya inersia.

Besarnya beban gempa yang terjadi tergantung dari faktor:

- Massa dan kekakuan struktur
- Waktu getar alami dan pengaruh redaman struktur
- Kondisi tanah
- Wilayah gempa

D. Beban konstruksi

Unsur struktur umumnya dirancang untuk beban mati dan beban hidup, akan tetapi unsur tersebut dapat dibebani oleh beban yang jauh lebih besar dari beban rencana ketika bangunan didirikan. Beban ini dinamakan beban konstruksi dan merupakan pertimbangan yang penting dalam rancangan unsur struktur.

E. Beban hujan

Unsur air jarang diperhitungkan ketika membuat perhitungan beban hidup, faktor ini harus diperhatikan ketika sedang merancang. Beban hujan pada umumnya tidak sebesar beban salju, tetapi harus diingat bahwa adanya akumulasi air. Beban yang besar terjadi pada atap datar karena saluran yang mampat. Dengan menggenangnya air, atap akan mengalami lendutan sehingga air akan semakin mengumpul dan mengakibatkan lendutan yang semakin besar. Proses ini dinamai genangan (ponding) dan akhirnya dapat menyebabkan runtuhnya atap.

F. Beban angin

Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur tergantung dari: kecepatan angin, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin akan menyebabkan angin

berbelok atau bahkan berhenti. Akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial yang berupa tekanan atau isapan pada bangunan.

Untuk memperhitungkan pengaruh angin pada struktur, pedoman yang berlaku di Indonesia mensyaratkan beberapa hal sbb:

- Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2
- Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2
- Untuk tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang mungkin mengakibatkan tekanan tiup yang lebih besar, tekanan tiup angin (p) dapat ditentukan berdasarkan rumus:

$$p = \frac{V^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Dimana V adalah kecepatan angin (m/detik)

Beban angin akan menimbulkan tekanan dan isapan. Berdasarkan percobaan, telah ditentukan koefisien-koefisien bentuk tekan dan isap untuk berbagai tipe bangunan dan atap. Tujuan dari penggunaan koefisien-koefisien ini adalah untuk menyederhanakan analisis, dimana besarnya tergantung dari bentuk dan kemiringan atap.

2.3. Desain Struktur

Proses disain struktur dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu: (1) Desain umum, merupakan peninjauan secara garis besar keputusan-keputusan desain. Tipe struktur dipilih dari berbagai alternatif yang memungkinkan. Tata letak struktur, geometri atau bentuk bangunan, jarak antar kolom, tinggi lantai dan material bangunan ditetapkan secara baik dalam tahap ini. (2) Desain terinci,

mencakup peninjauan tentang penentuan besar penampang tentang balok, kolom, dan elemen struktur lainnya.

Setiap struktur merupakan perpaduan antara arsitektur dan teknik (rekayasa) sehingga memenuhi fungsi tertentu. Bentuk dan fungsi sangat erat kaitannya dan sistem struktur yang terbaik adalah salah satu yang paling dapat memenuhi kebutuhan calon pemakai disamping *serviceable*, menarik, dan menghemat biaya dari segi ekonomi. Walaupun hampir semua struktur dirancang untuk jangka waktu 50 tahun, struktur yang dibuat dari campuran beton yang baik tercatat mempunyai masa hidup yang lebih lama.

System-sistem beton dibentuk dari berbagai elemen struktur beton yang bila dipadukan menghasilkan suatu system menyeluruh. Secara garis besar, komponen-komponen utama struktur dapat diklasifikasikan atas (1) atap, (2) balok, (3) *slab*, (4) kolom, (5) pondasi.

2.3.1. Rangka Atap *Space truss* (Rangka Ruang)

Rangka atap *Space truss* merupakan salah satu contoh struktur rangka atap yang biasa digunakan untuk struktur atap dengan bentang besar. Umumnya bentang besar tidak fungsional, karena beban-beban yang dipikul oleh struktur tersebut relatif lebih kecil. Besarnya perbedaan antara panjang dan tinggi bangunan mengakibatkan bangunan rawan akan lendutan. Untuk konstruksinya sendiri biasanya menggunakan profil baja, terdapat juga kolom beton bertulang untuk penyanggannya dan merupakan struktur utama bangunan.

Pada jaman sekarang biasanya sering dijumpai rangka atap *space truss* diantaranya selain keindahan dan keunikan, memudahkan dalam pengaliran air diwaktu hujan. Selain itu antara rangka ruang akan dihubungkan dengan busur

rangka ruang yang membentang sepanjang struktur rangka atap dan memerlukan sedikit kolom-kolom penyangga pada struktur rangka atap tersebut.

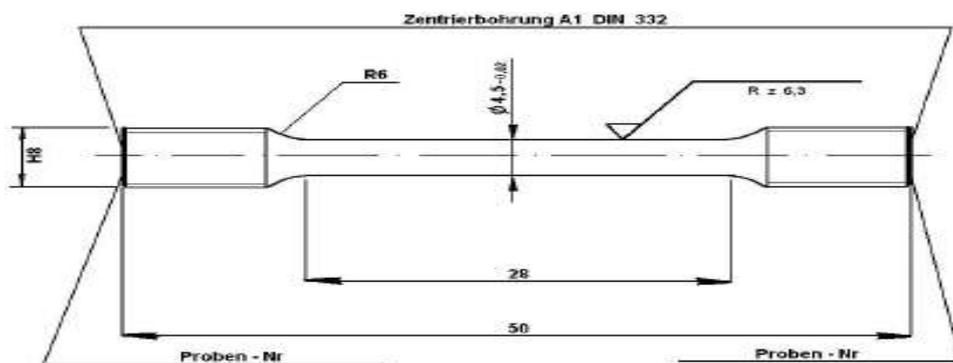
A. Material baja

Baja adalah paduan logam yang tersusun dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur penguat. Unsur karbon inilah yang banyak berperan dalam peningkatan performan. Perlakuan panas dapat mengubah sifat baja dari lunak seperti kawat menjadi keras seperti pisau. Penyebabnya adalah perlakuan panas mengubah struktur mikro besi yang berubah-ubah dari susunan kristal berbentuk kubik berpusat ruang menjadi kubik berpusat sisi atau heksagonal. Dengan perubahan struktur kristal, besi adakalanya memiliki sifat magnetik dan adakalanya tidak.

Sifat Baja mempunyai kekuatan yang tinggi dan sama kuat pada kekuatan tarik maupun tekan dan oleh karena itu baja adalah menjadi elemen struktur yang memiliki batasan sempurna yang akan menahan beban jenis tarik aksial, tekan aksial, dan lentur dengan fasilitas yang hampir sama pada konstruksi (struktur) nya. Berat jenis baja tinggi, tetapi perbandingan antara kekuatan terhadap beratnya juga tinggi sehingga komponen baja tersebut tidak terlalu berat jika dihubungkan dengan kapasitas muat bebannya, selama bentuk-bentuk struktur (konstruksi) yang digunakan menjamin bahwa bahan tersebut dipergunakan secara efisien.

B. Sifat Mekanisme Bahan Baja

Untuk mengetahui sifat mekanik baja dilakukan pengujian tarik terhadap benda uji (gambar 2.1), dengan memberikan gaya tarikan sampai benda uji menjadi putus. Tegangan diberikan dengan persamaan gaya dibagi luas penampang, (f/A), dan regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang benda uji, ($\Delta L/L$).



Gambar 2.1. Benda Uji Tarik Baja

Titik-titik penting dalam kurva tegangan-regangan adalah sebagai berikut :

F_p = batas proporsional.

f_e = batas elastis.

$f_y u, f_y$ = tegangan leleh atas dan bawah.

f_u = tegangan ultimate.

sh = regangan saat mulai terjadi strain-hardening

Titik-titik ini membagi kurva tegangan-regangan menjadi beberapa daerah, yaitu:

Daerah linear antara titik 0 dan f_p , pada daerah ini berlaku Hukum Hooke.

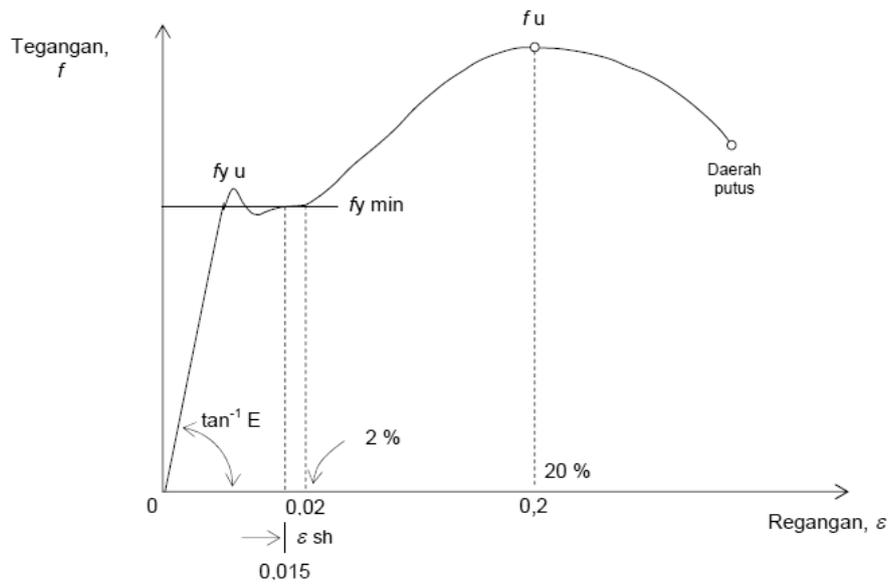
$$\Delta L = \frac{P.L}{E.A} \dots\dots\dots (2.2.1)$$

Dimana :

$$f = P/A = \text{tegangannya.}$$

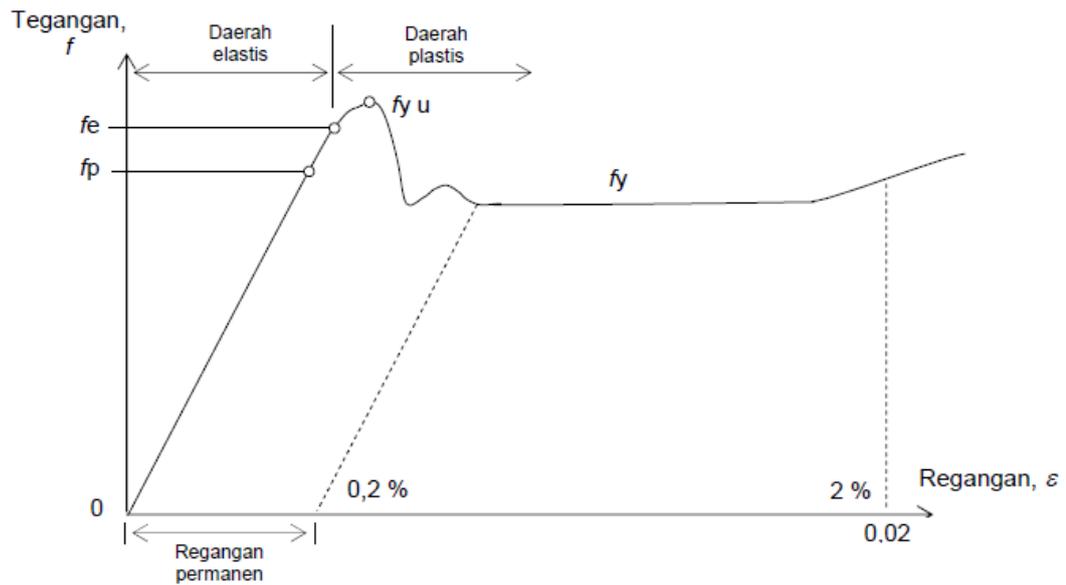
$$\varepsilon = \Delta L / L = \text{regangan.}$$

$$E = f / \varepsilon = \text{Young modulus} = \text{modulus elastisitas.}$$



Gambar 2.2. Kurva tegangan – regangan hasil pengujian.

ε = 0,2% merupakan regangan permanen.



Gambar 2.3. Bagian kurva yang diperbesar

Daerah elastis dari 0 sampai f_e . Yaitu apabila beban yang bekerja pada benda uji dihilangkan maka benda uji akan kembali ke bentuk semula (masih elastis).

Daerah plastis dibatasi dari f_e sampai dengan regangan 2% (0,02). Daerah dimana dengan tegangan yang hampir konstan mengalami regangan yang besar. Metode perencanaan plastis menggunakan daerah ini untuk menentukan kekuatan plastis. Daerah ini juga menunjukkan tingkat daktilitas dari material baja.

Daerah antara regangan sampai ϵ_{sh} . Pada daerah dimana benda uji sudah putus dinamai daerah penguatan regangan (strain hardening). Sesudah melewati daerah plastis tegangan kemudian naik kembali namun dengan regangan yang lebih besar, sampai pada puncaknya dimana terdapat tegangan ultimate (f_u), sesudah itu terjadi penurunan tegangan namun regangan terus bertambah, sampai kemudian benda uji menjadi putus.

Tabel 2.3. Sifat Mekanik Beberapa Jenis Baja.

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 56	550	410	13

Sifat-sifat mekanis baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan (SNI 03- 1729-2002) sebagai berikut:

Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$

Modulus geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$

Nisbah poisson : $\mu = 0,3$

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$

Bentuk elemen baja sangat dipengaruhi oleh proses yang digunakan untuk membentuk baja tersebut. Sebagian besar baja dibentuk oleh proses hot-rolling (penggilingan dengan pemanasan) atau cold-forming (pembentukan dengan pendinginan). Penggilingan dengan pemanasan (hot-rolling) adalah proses pembentukan utama di mana bongkahan baja yang merah menyala secara besar-besaran digelindingkan di antara beberapa kelompok penggiling. Penampang melintang dari bongkahan yang biasanya dicetak dari baja yang baru dibuat dan biasanya berukuran sekitar 0,5 m x 0,5 m persegi, yang akibat proses penggilingan

ukuran penampang melintang dikurangi menjadi lebih kecil dan menjadi bentuk yang tepat dan khusus.

Batasan bentuk penampang melintang yang dihasilkan sangat besar dan masing-masing bentuk memerlukan penggilingan akhir tersendiri. Bentuk penampang melintang I dan H biasanya digunakan untuk elemen-elemen besar yang membentuk balok dan kolom pada rangka struktur. Bentuk kanal dan siku cocok untuk elemen-elemen kecil seperti lapisan tumpuan sekunder dan sub-elemen pada rangka segitiga. Bentuk penampang persegi, bulat, dan persegi empat yang berlubang dihasilkan dalam batasan ukuran yang luas dan digunakan seperti halnya pelat datar dan batang solid dengan berbagai ketebalan. Perincian ukuran dan geometri yang dimiliki seluruh penampang standar didaftarkan dalam tabel penampang yang dibuat oleh pabrik baja.

Pembentukan dengan pendinginan (*cold-forming*) adalah metode lain yang digunakan untuk membuat komponen-komponen baja dalam jumlah yang besar. Dalam proses ini, lembaran baja tipis datar yang telah dihasilkan dari proses penggilingan dengan pemanasan dilipat atau dibengkokkan dalam keadaan dingin untuk membentuk penampang melintang struktur.

Struktur atap baja dimodelkan sebagai rangka *truss 2D*, Beban-beban dianggap hanya bekerja pada titik-titik joint truss. Mekanismenya, seluruh gaya berat yang bekerja pada reng, dalam jarak tertentu didistribusikan ke masing-masing titik joint atas, sementara untuk joint bawah dibebani berat dari penggantung (*langit-langit / eternit*). Sedangkan tumpuan dianggap terdiri atas sendi dan roll. Dari hasil reaksi di perletakan, dimasukkan ke dalam sistem struktur portal utama sebagai beban dari kuda-kuda.

Dengan bantuan program SAP 2000 versi 14, gaya-gaya batang dari rangka dapat dihitung untuk kemudian menentukan dimensi struktur. Untuk persyaratan perencanaan konstruksi baja adalah:

1. Hitungan tidak boleh dijalankan berdasarkan aturan menurut pengalaman (empiris), kecuali jika sesuai dengan yang ditentukan dalam SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung;
2. Perencanaan atap baja meliputi :
 - a. Pembebanan:

Beban mati (DL):

- Berat penutup atap
- Berat sendiri profil baja

$$q_x = q \cdot \sin a \dots\dots\dots (2.3.1)$$

$$q_y = q \cdot \cos a \dots\dots\dots (2.3.2)$$

Beban hidup (LL):

- Beban terpusat P (orang dan alat)

$$P_x = P \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (2.4.1)$$

$$P_y = P \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots (2.4.1)$$

- Beban air hujan yang besarnya dihitung :

$$(40 - 0,8\alpha) \dots\dots\dots (2.5.1)$$

dimana α = sudut kemiringan kuda-kuda.

Beban angin (WL):

- Daerah jauh dari tepi laut, diambil minimum 25kg/m^2
- Koefisien angin tekan ($\alpha < 65^\circ$) = $0,2 (\alpha) - 0,4 \dots\dots\dots (2.6.1)$
- Koefisien angin hisap = $-0,4 \dots\dots\dots (2.6.2)$

b. Perencanaan gording meliputi

- Momen nominal penampang :

$$M_{nx} = W_x \cdot f_y \dots\dots\dots (2.7.1)$$

$$M_{ny} = W_y \cdot f_y \dots\dots\dots (2.7.2)$$

- Persamaan Iterasi

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1 \dots\dots\dots (2.8.1)$$

- Kontrol tegangan

$$\sigma_{ijin} = f_y / 1,5 \dots\dots\dots (2.9.1)$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} \dots\dots\dots (2.9.2)$$

- Kontrol Lendutan

Syarat :

$$f = \frac{1}{240} \cdot L \dots\dots\dots (2.10.1)$$

Lendutan pada gording :

$$f_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_x \cdot l^4}{E \cdot I_y} + \frac{1}{48} \cdot \frac{p_x \cdot l^3}{E \cdot I_y} \dots\dots\dots (2.10.2)$$

$$f_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_y \cdot l^4}{E \cdot I_x} + \frac{1}{48} \cdot \frac{p_y \cdot l^3}{E \cdot I_x} \dots\dots\dots (2.10.3)$$

$$f_o = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = cm \dots\dots\dots (2.10.4)$$

$$f_o < f \longrightarrow \dots\dots\dots \text{Ok !}$$

c. Perhitungan Profil Kuda-kuda

- Batang Tekan :

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{2A}} = \dots\dots\dots (2.11.1)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{2A}} = \dots\dots\dots (2.11.2)$$

$$\lambda = \frac{lk}{i \min} = \dots\dots\dots (2.11.3)$$

$$\omega \frac{N}{2A} \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.11.4)$$

- Batang Tarik :

$$A_n = A - n.d.t \dots\dots\dots (2.12.1)$$

$$\sigma_r = \frac{N}{A_n} \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.12.2)$$

d. Perhitungan baut

- Tegangan geser yang diijinkan pada baut :

$$\sigma_{gs} = 0,6.\bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.13.1)$$

- Tegangan tarik

$$\sigma_{tr} = 0,7.\bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.14.1)$$

Tegangan idiil (akibat geser dan tarik) izin :

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sigma^2 + 1,56\pi^2} \leq \sigma \dots\dots\dots (2.14.2)$$

- Tegangan tumpu

$$\sigma_{tu} = 1,5.\bar{\sigma}.kg/cm^2 \rightarrow S_t \geq 2d \dots\dots\dots (2.15.1)$$

$$\sigma_{tu} = 1,2.\bar{\sigma} = kg/cm^2 \rightarrow 1,5d \leq S_t < 2d \dots\dots\dots (2.15.2)$$

(Ket. S_t = Jarak sumbu baut paling luar ke tepi pelat yang disambung)

apabila pelat tidak kuat bila dibandingkan dengan baut, maka lubang baut pada pelat akan berubah bentuk dari bulat akan berubah menjadi oval.

Karena itu harus dihitung kekuatan tumpuan dengan rumus :

$$\bar{N}_{tp} = d.s.\bar{\sigma}_{tp} \dots\dots\dots (2.15.3)$$

- Menentukan kekuatan satu baut

$$N_{gs} = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi(d)^2 \cdot 960 \dots\dots\dots (2.16.1)$$

$$N_{tp} = t \cdot d \cdot \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.16.2)$$

Mengenai jarak baut pada suatu sambungan, tetap harus berdasarkan PPBBI pasal 8.2, yaitu :

- Banyaknya baut yang dipasang pada satu baris yang sejajar arah gaya, tidak boleh lebih dari 5 buah.
- Jarak antara sumbu baut paling luar ke tepi atau ke ujung bagian yang disambung, tidak boleh kurang dari 1,2 d dan tidak boleh lebih besar dari 3d atau 6 t (t adalah tebal terkecil bagian yang disambungkan).
- Pada sambungan yang terdiri dari satu baris baut, jarak dari sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan tidak boleh kurang dari 2,5 d dan tidak boleh lebih besar dari 7 d atau 14 t.
- Jika sambungan terdiri dari lebih satu baris baut yang tidak berseling, maka jarak antara kedua baris baut itu dan jarak sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan pada satu baris tidak boleh kurang dari 2,5 d dan tidak boleh lebih besar dari 7 d atau 14 t.

$$2,5 d < s < 7 d \text{ atau } 14 t, 2,5 d < u < 7 d \text{ atau } 14 t, 1,5 d < s_1 < 3 d \text{ atau } 6 t$$

- Jika sambungan terdiri dari lebih dari satu baris baut yang dipasang berseling, jarak antara baris-baris baut (u) tidak boleh kurang dari 2,5 d dan tidak boleh lebih besar dari 7 d atau 14 t, sedangkan jarak antara satu baut dengan baut terdekat pada baris lainnya (s2) tidak boleh lebih besar dari 7

$$d - 0,5 u \text{ atau } 14 t - 0,5 u.$$

$$2,5 d < u < 7 d \text{ atau } 14 t$$

$$s^2 > 7d - 0,5u \text{ atau } 14t - 0,5u$$

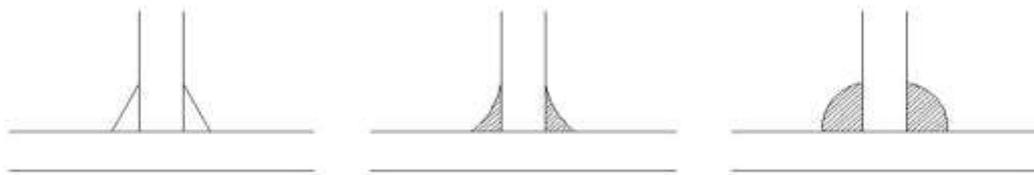
e. Sambungan Las

Menyambung pelat atau profil baja dengan menggunakan las harus berpedoman kepada Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) tahun 1983, pasal 8.5, antara lain :

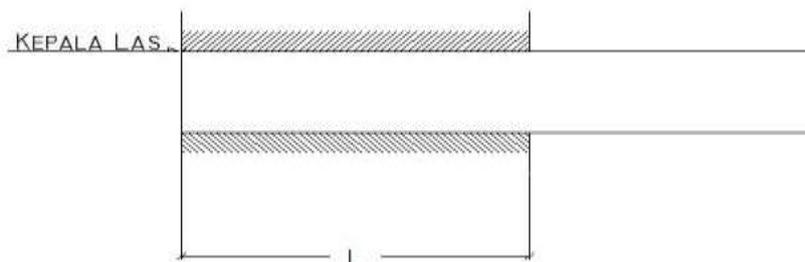
- 1) Panjang netto las adalah :

$$L_n = L_{bruto} - 3a \dots\dots\dots (2.17.1)$$

Dimana : a = tebal las



Gambar 2.4. Panjang Las

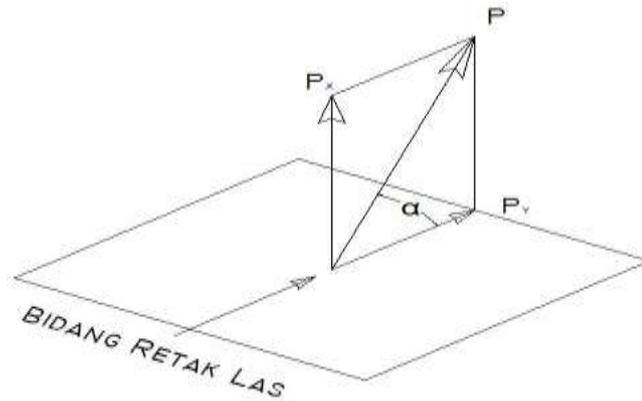


Gambar 2.5. Tebal Las

- 2) Panjang netto las tidak boleh kurang dari 40 mm atau 8 a 10 kali tebal las.
- 3) Panjang netto las tidak boleh lebih dari 40 kali tebal las. Kalau diperlukan panjang netto las yang lebih dari 40 kali tebal las, sebaiknya dibuat las yang terputus-putus.
- 4) Untuk las terputus pada batang tekan, jarak bagian-bagian las itu tidak boleh melebihi 16 t atau 30 cm. Sedangkan pada batang tarik, jarak itu tidak boleh melebihi 24 t atau 30 cm, dimana t adalah tebal terkecil dari elemen yang dilas.

- 5) Tebal las sudut tidak boleh lebih dari $\frac{1}{2} t$
- 6) Gaya P yang ditahan oleh las membentuk sudut α dengan bidang retak las, maka tegangan miring diizinkan adalah :

$$\overline{\sigma}_a = \frac{1}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}} \dots\dots\dots (2.18.1)$$



Gambar 2.6. Bidang retak las

- Tegangan miring yang terjadi dihitung dengan :

$$\overline{\sigma}_a = \frac{P}{A} \cdot \overline{\sigma}_a \dots\dots\dots (2.19.1)$$

Dimana :

P = Gaya yang ditahan oleh las

A = Luas Bidang retak las

- Tegangan idiil pada las dapat dihitung dengan :

$$\overline{\sigma}_a = \frac{\sigma_a}{c} = \frac{1}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cos^2 \alpha}} \dots\dots\dots (2.20.1)$$

f. Perhitungan Batang Tarik (trackstang)

Batang tarik (trackstang) berfungsi untuk mengurangi lendutan gording pada arah sumbu x (miring atap) sekaligus untuk mengurangi tegangan lendutan yang timbul pada arah x. Beban-beban yang dipikul oleh

trackstang yaitu beban-beban yang sejajar bidang atap (sumbu x), maka gaya yang bekerja adalah gaya tarik G_x dan P_x .

G_x = Berat sendiri gording+penutup atap sepanjang gording arah sumbu x

P_x = Beban hidup arah sumbu x

$$P_{\text{total}} = G_x + P_x = (q_x \cdot L) + P_x \dots\dots\dots (2.21.1)$$

Jika batang tarik yang dipasang dua buah, maka per batang tarik adalah :

$$P = P_{\text{total}} / 2 = (q_x \cdot L) + P_x / 2 \dots\dots\dots (2.21.2)$$

$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \bar{\sigma} = 1666 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (22.1.3)$$

$$F_n = \frac{P}{\sigma} \dots\dots\dots (2.21.4)$$

Dimana :

P : Beban hidup

q_x :beban mati arah x

L : lebar bentang

F_n : gaya yang terjadi

2.3.2. Balok

Balok adalah batang struktural yang berfungsi menahan gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya, yang mengakibatkan terjadinya lenturan/lendutan. Akibat dari gaya lentur dan gaya lateral ini ada dua hal utama yang dialami balok yaitu kondisi tekan dan tarik.

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, apakah akan terjadi leleh tulangan tarik ataukah hancurnya beton yang tertekan dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok sebagai berikut:

- *Penampang balanced*. Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diizinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya, yaitu $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_c}$.

- *Penampang over-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ε_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ε_y . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

- *Penampang under-reinforced*. Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan di atas ε_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.

Keruntuhan pada beton mendadak karena beton adalah material yang getas. Dengan demikian hampir semua peraturan perencanaan merekomendasikan perencanaan balok dengan tulangan yang bersifat *under-reinforced* untuk memberikan peringatan yang cukup, seperti defleksi yang berlebihan, sebelum terjadinya keruntuhan.

Kuat Lentur Balok

Beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin, atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan devormasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi devormasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya atau bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok.

Dalam pemeriksaan penampang balok harus memenuhi kriteria:

- $M_n > M_u$
- $\Phi M_n > M_u$

Dimana: Φ : faktor reduksi akibat kesalahan dalam pelaksanaan

M_n : momen nominal dari penampang

M_u : momen batas terfaktor (1,2 DL + 1,6 LL)

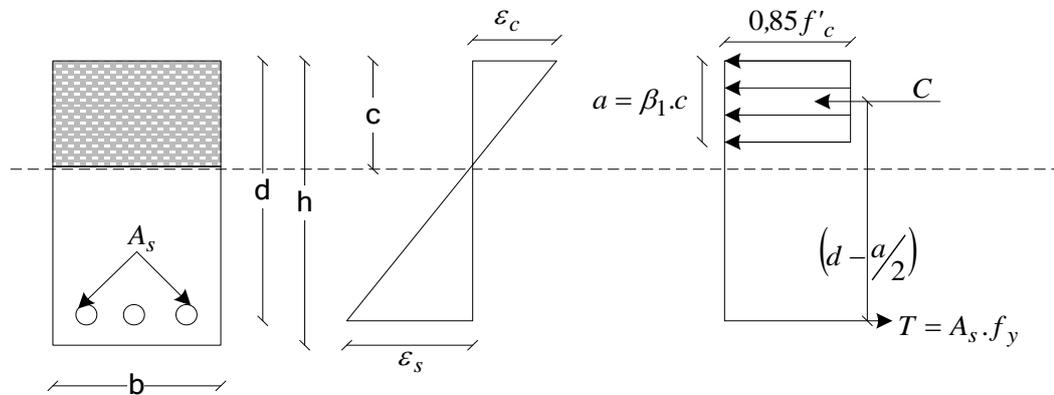
DL = beban mati, LL = beban hidup

Asumsi-asumsi dalam perencanaan penampang balok:

- Regangan baja dan beton berbanding lurus terhadap garis netral.
- Regangan beton yang dipakai adalah regangan batas (*ultimate*) $\epsilon_c = 0,003$.
- Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
- Modulus elastisitas baja $E_s = 2 \times 10^5$ MPa.
- Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang

mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis atau desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

Penampang bertulangan tunggal:



Gambar 2.7. Distribusi tegangan regangan penampang bertulangan tunggal

Dengan menggunakan tegangan persegi ekuivalen, kekuatan lentur Mn dapat diperoleh dengan menggunakan gambar 2.3. sebagai berikut:

$$C = 0,85 f'_c b a \dots\dots\dots (2.22.1)$$

$$T = A_s f_y \dots\dots\dots (2.22.2)$$

Dimana: C = gaya tekan

T = gaya tarik

b = lebar balok

a = tinggi distribusi tegangan persegi dari muka balok tekan

A_s = luas tulangan tarik

f'_c = kuat tekan beton

f_y = tegangan leleh dari baja

d = tinggi efektif

Pemakaian dari f_y memisalkan bahwa tulangan meleleh sebelum kehancuran beton. Penyamaan $C = T$ menghasilkan:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(2.22.3)$$

$$Mn = A_s f_y (d - a/2) \dots\dots\dots(2.22.4)$$

Dalam keadaan balanced:

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(2.22.5)$$

Garis netral kondisi balanced

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \dots\dots\dots(2.22.6)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \text{ atau } \rho_b = \frac{A_s \cdot b}{bd} \dots\dots\dots(2.22.7)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots(2.22.8))$$

Dimana: c_b = garis netral kondisi *balanced*

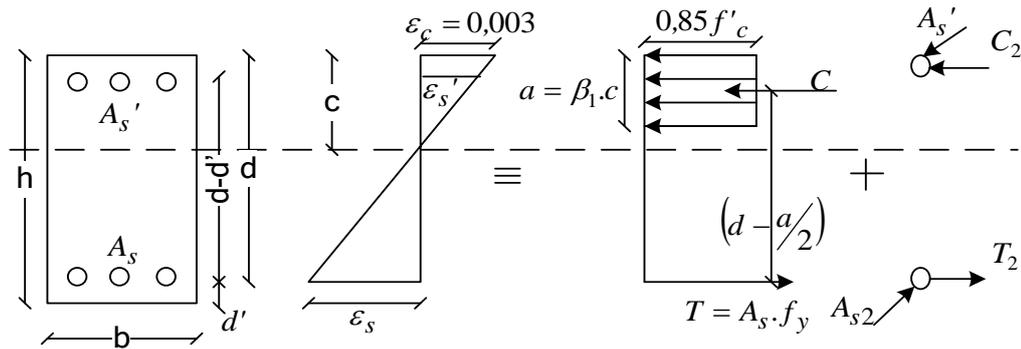
ρ_b = perbandingan tulangan kondisi regangan berimbang

Rasio penulangan ρ harus memenuhi syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$, dimana batasan rasio tulangan maksimum adalah nilai terkecil dari persamaan-persamaan berikut:

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b \dots\dots\dots(2.22.9)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.22.10)$$

Penampang bertulangan rangkap:



Gambar 2.8. Distribusi tegangan - regangan penampang bertulangan rangkap

Penampang persegi dengan penulangan tarik dan tekan dinamakan juga penampang yang “bertulangan rangkap (ganda)”. Oleh karena kekuatan tekan beton adalah relatif tinggi, maka kebutuhan akan tulangan tekan untuk mendapat kekuatan yang cukup tidak begitu besar.

Gaya tarik $T_1 = A_{s1}f_y = C_1$. Akan tetapi, $A_{s1} = A_s - A_s'$ karena syarat keseimbangan mengharuskan A_{s2} yang tertarik harus diimbangi oleh A_s pada sisi yang tertekan. Dengan demikian momen tahanan nominalnya adalah:

$$Mn_1 = A_{s1}f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ atau } Mn_1 = (A_s - A_s')f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots(2.22.11)$$

Dengan: $a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{0,85f'_c b} \dots\dots\dots(2.22.12)$

$$A_s' = A_{s2} = A_s - A_{s2} \dots\dots\dots(2.22.13)$$

$$T_2 = C_2 = A_{s2}f_y \dots\dots\dots(2.22.14)$$

Dimana: A_s' = luas tulangan tekan

C_2 = tambahan gaya tekan akibat tulangan tekan

T_2 = gaya tarik dalam baja untuk mengimbangi C_2

Dengan mengambil momen terhadap tulangan tarik kita peroleh:

$$Mn_2 = A_{s2} f_y (d - d') \dots\dots\dots(2.22.15)$$

Dengan menjumlahkan momen tahanan nominalnya, diperoleh:

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 = (A_s - A_{s'}) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_{s'} f_y (d - d') \dots\dots\dots(2.22.16)$$

Kekuatan momen rencana ϕMn harus lebih besar atau sama dengan momen luar rencana Mu , jadi:

$$Mu = \phi \left[(A_s - A_{s'}) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + a A_{s'} f_y d (d - d') \right] \dots\dots\dots(2.22.17)$$

Tulangan tekan leleh jika:

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \beta_1 f'_c d'}{f_y d} \times \frac{600}{600 - f_y} \dots\dots\dots(2.22.18)$$

Tegangan tulangan tekan f'_s dapat dihitung sebagai:

$$f'_s = 600 \left[1 - \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{(\rho - \rho') f_y} \times \frac{d'}{d} \right] \dots\dots\dots(2.22.19)$$

$$a = \frac{A_s f_y - A_{s'} f'_s}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(2.22.20)$$

Kekuatan momen nominal pada persamaan 5.11 menjadi:

$$Mu = \phi \left[(A_s f_y - A_{s'} f'_s) \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_{s'} f'_s (d - d') \right] \dots\dots(2.22.21)$$

Agar tulangan tekan leleh, kondisi di atas harus terpenuhi:

Kuat Geser Balok

Karena kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan kekuatan tekannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton.

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu, juga retak diagonalnya jauh lebih lebar dibandingkan dengan retak lentur. Perencana harus merancang penampang yang cukup kuat untuk memikul beban geser luar rencana tanpa mencapai kapasitas gesernya.

Penulangan geser pada dasarnya mempunyai empat fungsi utama, yaitu:

1. Memikul sebagian gaya geser luar rencana V_u
2. Membatasi bertambahnya retak diagonal
3. Memegang dan mengikat tulangan memanjang pada posisinya sehingga tulangan memanjang ini mempunyai kapasitas yang baik untuk memikul lentur
4. Memberikan semacam ikatan pada daerah beton yang tertekan apabila sengkang ini berupa sengkang tertutup

Penulangan geser balok didasarkan pada persamaan sebagai berikut ini.

$$\phi V_n \geq V_u \quad \dots\dots\dots(2.22.22)$$

Dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari persamaan sebagai berikut ini.

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots\dots\dots(2.22.23)$$

Dengan V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton dan

V_s adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \quad \dots\dots\dots(2.22.24)$$

Jika $\alpha = 90^0$:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots\dots\dots(2.22.25)$$

Gaya geser miring:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \dots\dots\dots(2.22.26)$$

dengan: b_w = lebar balok

d = tinggi efektif balok

A_v = luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak s

s = jarak antar sengkang

bila $\phi V_c > V_n > 0,5\phi V_c$

tulangan minimum, $A_v = \frac{b_w \cdot S}{3f_y} \dots\dots\dots(2.22.27)$

Jarak sengkang, S

$$S \text{ maksimum} = \frac{d}{2} \leq 600mm$$

$$\text{Jika } V_s > \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$\text{Maka: } S \leq \frac{d}{4} \leq 600mm$$

Menurut SK SNI 03-2847-2002 pasal 23.10 ayat 4.2, pada kedua ujung komponen struktur lentur harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum dari sengkang tidak boleh melebihi:

- a. $d/4$,
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- c. 24 kali diameter sengkang, dan
- d. 200 mm.

Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak boleh melebihi $d/2$.

2.3.3. Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan bidang datar yang lebar, biasanya mempunyai arah horisontal dengan permukaan atas dan bawah yang sejajar serta ditumpu balok atau secara menerus bertumpu pada tanah dan secara langsung didukung oleh kolom. Pelat memikul beban statis dan beban dinamis yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan pelat. Untuk merencanakan pelat beton bertulang, yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat tumpuan pada tepi.

Berdasarkan kemampuan untuk menyalurkan kekuatan terhadap beban maka struktur pelat dibedakan atas dua jenis yaitu sebagai berikut ini.

- a. Pelat satu arah, adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sedemikian sehingga lentur timbul hanya dalam satu arah saja, yaitu pada arah tegak lurus terhadap arah dukungan tepi. Pelat satu arah mempunyai nilai perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek lebih dari dua atau $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$.
- b. Pelat dua arah, adalah pelat yang didukung sepanjang keempat sisinya, dimana lentur akan timbul pada dua arah yang saling tegak lurus. Pelat dua

arah mempunyai nilai perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek lebih

kecil dari dua atau $\frac{l_y}{l_x} \leq 2$.

Direncanakan menggunakan pelat dua arah. Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut ini.

1. Menentukan syarat-syarat batas dan bentang (l_x dan l_y).
2. Menentukan tebal minimum pelat yang tercantum dalam SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.3 butir 3 adalah sebagai berikut ini.
 - a. Untuk $\alpha_m \leq 0,2$ ketebalan pelat minimum adalah sebagai berikut ini.
 - 1) pelat tanpa penebalan : 120 mm
 - 2) pelat dengan penebalan : 100 mm
 - b. Untuk $0,2 \leq \alpha_m \leq 2,0$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini.

$$h = \frac{\lambda_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots(2.23.1)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

- c. Untuk $\alpha_m \geq 2,0$ ketebalan pelat minimum harus memenuhi persamaan sebagai berikut ini.

$$h = \frac{\lambda_n \left[0,8 - \frac{f_y}{1500} \right]}{36 - 9 \cdot \beta} \dots\dots\dots(2.23.2)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dengan:

h = tebal pelat minimum (cm).

F_y = tulangan leleh baja tulangan (MPa).

α = rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kuat lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis sumbu tengah dari panel-panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok.

α_m = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

β = rasio bentang bersih dalam suatu arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.

λ_n = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya.

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan persamaan (3.47) atau persamaan (3.48) harus dinaikkan paling tidak 10% pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

$$e. \quad \alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \dots\dots\dots(2.23.3)$$

dengan:

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

E_{cp} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

I_p = momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat

3. Menghitung beban-beban yang dipikul pelat dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$W_u = 1,2W_D + 1,6W_L \dots\dots\dots(2.23.4)$$

dengan : W_u = beban ultimit

W_D = beban mati

W_L = beban hidup

4. Menghitung $k = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{Mu}{\phi.b.d^2}$ (2.23.5)

dengan : k = koefisien tahanan

M = momen yang ditinjau

b = lebar permeter pelat

d = tinggi efektif pelat

5. Menghitung tulangan dengan syarat $\rho_{min} < \rho \leq \rho_{maks}$. Apabila $\rho > \rho_{maks}$ maka perlu menentukan kembali tebal pelat kemudian memilih tulangan, dengan:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \cdot \dots\dots\dots(2.23.6)$$

Dimana : A_s = luas tulangan

ρ = rasio tulangan

2.3.4. Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (runtuhnya) lantai yang bersangkutan, dan juga runtuh batas total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya.

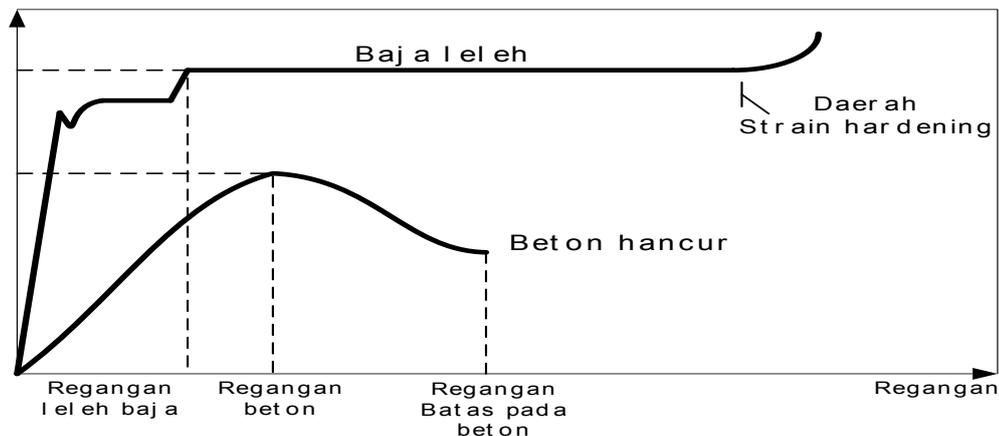
Keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang sangat berarti ditinjau dari segi ekonomis maupun segi manusiawi. Dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi

daripada yang dilakukan pada balok dan elemen struktural horizontal lainnya, terlebih karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang jelas.

Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu dapat pula kolom mengalami keruntuhan apabila terjadi kehilangan stabilitas lateral, yaitu terjadi tekuk. Apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short coloumn*).

Kekuatan Kolom Pendek Dengan Beban Sentris

Gambar 2.7 menyajikan pembebanan pada beton dan baja pada saat beban kolom meningkat. Pada awalnya, beton maupun baja berperilaku elastis.



Gambar 2.9. Hubungan tegangan regangan pada beton dan baja (beban sentries)

Pada saat regangan mencapai sekitar 0,003, beton mencapai kekuatan maksimum f'_c . secara teoritis, beban maksimum yang dapat dipikul oleh kolom adalah beban yang menyebabkan terjadinya regangan f'_c pada beton. Penambahan beban lebih lanjut bisa saja terjadi apabila *strain hardening* pada baja terjadi di sekitar regangan 0,003.

Dengan demikian kapasitas beban sentris maksimum pada kolom dapat diperoleh dengan menambahkan kontribusi beton, yaitu $(A_g - A_{st}) 0,85 f'_c$ dan kontribusi baja, $A_{st} f_y$. A_g adalah luas bruto total penampang beton, dan A_{st} adalah luas total tulangan baja = $A_s + A'_s$, yang digunakan dalam perhitungan disini adalah $0,85 f'_c$, bukan f'_c . hal ini disebabkan oleh kekuatan maksimum yang dapat dipertahankan pada struktur aktual mendekati harga $0,85 f'_c$. Dengan demikian, kapasitas beban sentries maksimum adalah P_o yang dapat dinyatakan sebagai:

$$P_o = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \quad \dots\dots\dots(2.24.1)$$

Untuk mengurangi perhitungan eksentrisitas minimum yang diperlukan dalam analisis dan desain, perlu adanya reduksi beban aksial sebesar 20% untuk kolom bersengkang dan 15% untuk kolom berspiral. Dengan menggunakan factor-faktor ini, kapasitas beban aksial nominal pada kolom tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$P_n(maks) = 0,8 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \quad \dots\dots\dots(2.24.2)$$

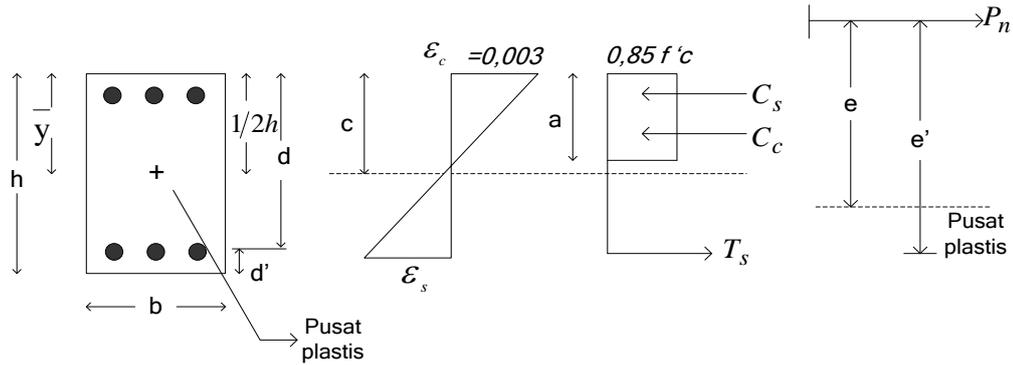
Untuk kolom bersengkang, dan

$$P_n(maks) = 0,85 [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \quad \dots\dots\dots(2.24.3)$$

Untuk kolom berspiral.

Beban rencana: $P_u \leq \phi P_n$.

Kekuatan Kolom Dengan Beban Eksentris: Aksial dan Lentur



Gambar 2.10. Tegangan dan gaya-gaya pada kolom.

Regangan:

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c}$$

$$\epsilon_s' = 0,003 \frac{c - d'}{c}$$

Tegangan:

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \leq f_y$$

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s' \leq f_y$$

Gaya dalam:

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a$$

$$C_s = A'_s \cdot f'_s$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

Eksentrisitas:

$$e = \frac{Mu}{Pu} \dots\dots\dots(2.24.4)$$

Gaya tahan aksial P_n dalam keadaan runtuh:

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$P_n = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \dots\dots\dots(2.24.5)$$

Momen tahanan nominal $M_n = P_n \cdot e$

$$M_n = P_n \cdot e = C_c \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_s (\bar{y} - d') + T_s (d - \bar{y}) \dots\dots\dots(2.24.6)$$

Dimana: c = jarak sumbu netral

\bar{y} = jarak pusat plastis

e = eksentrisitas beban ke pusat plastis

e' = eksentrisitas beban ke tulangan tarik

d' = selimut efektif tulangan tekan

M_u = Momen berfaktor

P_u = Gaya aksial berfaktor

Ragam Kegagalan Dalam Material Pada Kolom

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik, penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu:

1. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.
2. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan.

Kondisi *balanced* terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan.

Apabila P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial pada kondisi *balanced*, maka:

$P_n < P_{nb} \rightarrow$ keruntuhan tarik

$P_n = P_{nb} \rightarrow$ keruntuhan *balanced*

$P_n > P_{nb} \rightarrow$ keruntuhan tekan

Keruntuhan *balanced* pada kolom:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad \dots\dots\dots(2.24.7)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 \cdot d \quad \dots\dots\dots(2.24.8)$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(2.24.9)$$

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b = 0,85 f'_c b \cdot a_b \cdot \left(\bar{y} - \frac{a_b}{2} \right) + A'_s \cdot f'_s (\bar{y} - d') + A_s \cdot f_y (d - \bar{y}) \quad \dots\dots\dots(2.24.10)$$

$$\text{Dimana } f'_s = 0,003 \text{ Es } \frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y \quad \dots\dots\dots(2.24.11)$$

Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat:

Apabila tulangan tekan diasumsikan telah leleh, dan $A'_s = A_s$, maka:

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad \dots\dots\dots(2.24.12)$$

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b \cdot a \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y (\bar{y} - d') + A_s \cdot f_y (d - \bar{y})$$

atau $\dots\dots\dots(2.24.13)$

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b \cdot a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y (d - \bar{y})$$

Jika $\rho = \rho' = \frac{A_s}{bd}$

$$P_n = 0,85 f'_c b \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2A_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b}} \right] \quad \dots\dots(2.24.14)$$

Dan jika $m = \frac{f_y}{0,85 f'_c}$, maka :

$$P_n = 0,85 f'_c b d \left[\frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \quad \dots\dots(2.24.15)$$

Keruntuhan Tekan pada Kolom Segiempat:

Agar dapat terjadi keruntuhan yang diawali dengan hancurnya beton, eksentrisitas e gaya normal harus lebih kecil daripada eksentrisitas balanced e_b , dan tegangan padatan tariknya lebih kecil daripada tegangan leleh, yaitu $f_s < f_y$.

Kuat Geser Kolom

Menurut SK SNI 03-2847-2002 pasal 23.4 ayat 5.1, gaya geser rencana V_e harus ditentukan dengan memperhitungkan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok-kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya pada muka hubungan balok-kolom tersebut harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum M_{pr} dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja.

Gaya geser rencana V_e pada kolom dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut ini.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \dots\dots\dots(2.24.16)$$

dengan:

V_e = gaya geser rencana kolom

M_{pr1} = kuat momen lentur 1

M_{pr2} = kuat momen lentur 2

H = tinggi kolom

Momen-momen ujung M_{pr} untuk kolom tidak perlu lebih besar daripada momen yang dihasilkan oleh M_{pr} untuk balok yang merangka pada hubungan balok-kolom. V_e tidak boleh lebih kecil daripada nilai yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisis struktur.

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada persamaan sebagai berikut ini.

$$\Phi.V_n \geq V_n + V_c \dots\dots\dots(2.24.17)$$

Komponen struktur yang dibebani tekan aksial berlaku persamaan sebagai berikut ini.

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w.d \quad \dots\dots\dots(2.24.18)$$

Pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang λ_o), SK SNI 03-2847-2002 pasal 23.3 ayat 4.2 mensyaratkan untuk tetap meninjau V_c selama gaya tekan aksial termasuk akibat pengaruh gempa melebihi $A_g f'_c / 20$. Dalam hal ini sangat jarang gaya aksial kolom kurang dari $A_g f'_c / 20$. Sehingga V_c pada daerah sendi plastis bisa tetap diabaikan ($V_c = 0$), hal ini karena meskipun peningkatan gaya aksial meningkatkan nilai V_c tetapi juga meningkatkan penurunan ketahanan geser.

2.3.5. Pondasi

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem struktur yang berfungsi memindahkan beban-beban pada struktur atas ke tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Fungsi ini dapat berlaku secara baik apabila kestabilan pondasi terhadap efek guling, geser, penurunan, dan daya dukung. Pada pekerjaan pondasi kegagalan suatu pekerjaan dapat terjadi karena dua macam perilaku struktur pondasi. Pertama, seluruh pondasi atau sebagian elemennya akan masuk terus ke dalam tanah karena tanah tidak mampu menahan beban tanpa keruntuhan, kegagalan ini disebut sebagai kegagalan daya dukung tanah (*bearing capacity failure*). Kedua, tanah pendukung tidak runtuh tetapi penurunan bangunan sangat besar atau tidak sama, sehingga struktur atas retak dan rusak. Kegagalan itu disebut sebagai kegagalan penurunan yang berlebihan.

A. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan.

Pondasi tiang pancang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

Pelaksanaan pekerjaan pemancangan menggunakan diesel hammer. Sistem kerja diesel Hammer adalah dengan pemukulan sehingga dapat menimbulkan suara keras dan getaran pada daerah sekitar. Itulah sebabnya cara pemancangan pondasi ini menjadi permasalahan tersendiri pada lingkungan sekitar.

Permasalahan lain adalah cara membawa diesel hammer kelokasi pemancangan harus menggunakan truk tronton yang memiliki crane. Crane berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan. Namun saat ini sudah ada alat pancang yang menggunakan system hidraulik hammer dengan berat 3 – 7 ton.

Pekerjaan pemukulan tiang pancang dihentikan dan dianggap telah mencapai tanah keras jika pada 10 kali pukulan terakhir, tiang pancang masuk ke tanah tidak lebih dari 2 cm.

B . Langkah Langkah Perencanaan Pondasi

1. Menentukan ukuran rencana pondasi

Daya dukung tiang pancang yang perlu diperhitungkan meliputi daya dukung vertikal maupun daya dukung horisontal.

Untuk menentukan daya dukung tiang pancang dapat menggunakan berbagai cara/data hasil penyelidikan tanah, baik menggunakan data sondir, data N-SPT, maupun *Soil Properties*.

- **Berdasarkan Data Sondir**

Jika perhitungan tiang pancang didasarkan terhadap tahanan ujung (q) dan tahanan selimut (c), persamaan daya dukung yang diijinkan adalah sebagai berikut :

$$q_{safe} = \frac{A_{tiang} \cdot P}{3} + \frac{O \cdot L \cdot C}{5} \dots\dots\dots (2.25.1)$$

dimana :

q_{safe} = Daya dukung tiang pancang (Kn)

A_{tiang} = Luas penampang tiang pancang (m^2)

P = Nilai *conus resistance* (kN/m^2)

O = Keliling tiang pancang (m)

L = Panjang tiang tiap harga *cleef* rata-rata (m)

C = *total friction* (kN/m^2)

Apabila tiang pancang yang dihitung berdasarkan pada rahanan ujung dan memindahkan beban yang diterima ke lapisan tanah keras dibawahnya maka rumus yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap tiang menjadi :

$$q_{safe} = \frac{A_{tiang} \cdot P}{3} \dots\dots\dots (2.25.2)$$

Kemampuan terhadap kekuatan bahan :

$$P_{tiang} = \sigma_{bahan} + A_{tiang} \dots\dots\dots (2.25.3)$$

Dimana :

P_{tiang} = kekuatan yang diijinkan pada tiang (kg)

σ_{tiang} = tegangan tekan ijin bahan tiang (kg/cm^2)

A_{tiang} = luas penampang tiang (cm^2)

Jika pemancangan tiang sampai tanah keras sulit dilaksanakan karena letaknya sangat dalam, dapat digunakan tiang pancang yang daya dukungnya berdasarkan peletakan antara tiang dengan tanah (*cleef*). Persamaannya menjadi :

$$q_{safe} = \frac{O.L.C}{5} \dots\dots\dots (2.25.4)$$

- **Berdasarkan Data N-SPT**

Standart Penetration Test (SPT) Menghasilkan suatu nilai N (banyaknya pukulan) pada kedalaman tertentu. Daya dukung tiang pada tanah pondasi umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat dan tahanan geser pada dinding. Besarnya daya dukung yang diijikan R_a , diperoleh dari pasangan berikut :

$$R_a = \frac{1}{n} \cdot R_u = \frac{1}{n} \cdot R \cdot (R_p + R_f) \dots\dots\dots (2.26.1)$$

Dimana :

n = faktor keamanan

R_u = daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)

R_p = daya dukung terousat tiang (ton)

R_f = gaya geser dinding tiang (ton)

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum I_i \cdot f_i \dots\dots\dots (2.26.2)$$

Dimana :

q_d = daya dukung terpusat tiang (ton) A = luas ujung tiang (m^2)

U = panjang keliling tiang (m)

I_i = tebal lapisan tiang dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

f_i = besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang (ton/m²)

Perkiraan satuan (unit) daya dukung terpusat q_d diperoleh dari hubungan antara L/D dan $q_d/N.L$ adalah panjang ekuivalen penetrasi pada lapisan pendukung. D adalah diameter tiang, N adalah harga rata-rata N pada ujung tiang, yang didasarkan pada persamaan tiang berikut ini :

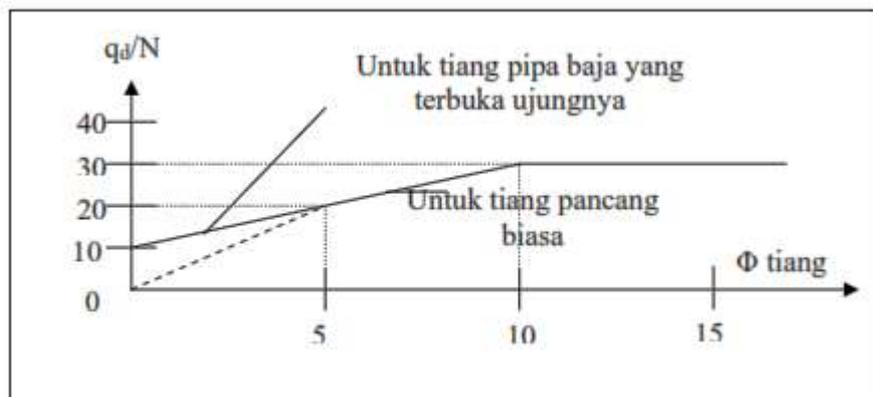
$$N = \frac{N_1 + N_2}{2} \dots\dots\dots (2.26.3)$$

Dimana :

N = harga rata-rata untuk perencanaan tanah pondasi pada ujung tiang

N_1 = harga N pada ujung tiang

N_2 = harga rata-rata N pada jarak $4D$ dari ujung tiang



Gambar 2.11. Intensitas Daya Dukung

Berdasarkan soil *Properties* dapat pula dihitung daya dukung tiang dengan rumus sebagai berikut :

$$q_u + W = \alpha.ds.le.C + \pi/4.db^2 (Nc.Cb + \gamma.D) \dots\dots\dots (2.26.4)$$

Dimana :

q_u = beban *ultimate*

W = berat sendiri tiang d_s = diameter tiang

l_e = panjang efektif dinding tiang

α = faktor kekuatan geser tanah pada dinding pile = 0,30- 0,50

C = kekuatan geser tanah didasar tiang d_b = diameter dasar tiang

C_b = kekuatan tanah pada dasar tiang

N_c = *bearing capacity factor*

D = kedakaman/panjang tiang

Disamping itu perlu pula diperhitungkan adanya kondisi beban eksentris (momen) yang akan menyebabkan timbulnya momen luar disamping adanya beban terpusat vertikal.

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{\max}}{(n_y \cdot \sum x^2)} \pm \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{(n_x \cdot \sum y^2)} \dots\dots\dots (2.26.5)$$

Dimana :

X_{\max} = absis maksimum dari tiang ke pusat berat kelompok tiang

Y_{\max} = ordinat maksimum tiang pancang ke pusat berat kelompok tiang

M_x = momen yang bekerja pada kelompok tiang yang tegak lurus sumbu Y

M_y = momen yang bekerja pada kelompok tiang yang tegak lurus sumbu X

n = banyaknya tiang pancang (pile group)

n_y = banyak tiang dalam satu baris dalam arah sumbu Y

n_x = banyak tiang dalam satu baris dalam arah sumbu X

$\sum X^2$ = jumlah kuadrat absis jarak tiang-tiang kepusat kelompok tiang

$\sum Y^2$ = jumlah kuadrat ordinat jarak tiang-tiang kepusat berat kelompok tiang

2.4. Analisis Struktur

2.4.1. Program Komputer Analisa Struktur SAP 2000 v.14

Program SAP 2000 v.14 adalah salah satu program analisa struktur yang telah dikenal luas dikalangan teknik sipil. Seiring dengan perkembangannya perangkat keras computer, terutama prosesor yang mempunyai kemampuan kecepatan semakin tinggi, perangkat lunak juga berkembang mengikuti kemajuan perangkat keras. Keunggulan SAP 2000 v.14 antara lain ditunjukkan dengan adanya fasilitas *Auto Select Section* untuk material profil baja normal maupun profil baja. sehingga pengguna tidak perlu menentukan profil untuk masing – masing elemen, tetapi cukup memberikan data profil secukupnya dan program akan memilih sendiri profil yang sesuai dengan beban rencana.

Secara garis besar, perancangan model struktur *truss* dengan SAP 2000 v.14 ini akan melalui 6 tahapan yaitu :

1. Menentukan geometri struktur

2. Mendefinisikan data-data

jenis dan kekakuan bahan

Dimensi penampang elemen struktur

Macam beban

Kombinasi pembebanan

3. Menetapkan (Assign) data-data yang telah didefinisikan ke model struktur
4. Memeriksa input data
5. Analisis Mekanika Teknik
6. Modifikasi struktur/ReDesign.