

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Struktur Beton Bertulang

Proses desain suatu struktur secara garis besar dilakukan melalui dua tahapan yaitu: (1) Menentukan gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur tersebut dengan menggunakan metode –metode analisis struktur yang tepat dan (2) menentukan dimensi daalam ukuran dari tiap elemen struktur secara ekonomis dengan mempertimbangkan faktor keamanan, stabilitas, kemampulayanan, serta fungsi dari struktur tersebut. Beton adalah salah satu jenis material yang paling sering digunakan dalam pembuatan berbagai jenis struktur.

Beton sendiri adalah material kontruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, krikil/ batu pecah, semen serta air. Terkadang beberapa macam bahan tambahan dicampurkan kedalam campuran tersebut dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat dari beton, yakni antara lain untuk meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton. Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja secara bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat Tarik yang tidak dimiliki oleh beton. (Perancangan Struktur Beton Bertulang SNI 2847 :2013, halaman 2 ).

Berdasarkan penjelasan diatas maka beton bertulang tersusun dari penggabungan antara beton dan tulangan baja.

### 1. Beton

Secara umum material beton terbuat dari susunan semen, agregat serta air sebagai pereaksi. Disamping itu terkadang ditambahkan material tambahan (*admixture*) untuk meningkatkan sifat-sifat beton.

Kelebihan dan kekurangan (karakteristik) beton dibandingkan bahan bangunan lain diantaranya adalah :

- Kelebihan Beton:
  1. Harganya relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar dari bahan lokal.
  2. Beton termasuk tahan aus dan tahan kebakaran, sehingga biaya perawatan termasuk rendah.
  3. Beton termasuk bahan yang berkekuatan tekan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan/pembusukan oleh kondisi lingkungan.
  4. Ukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan beton tak bertulang atau pasangan batu.
  5. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran sebarang tergantung keinginan .
- Kekurangan Beton:
  1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan.

2. Beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah sehingga dilatasi (*contraction joint*) perlu diadakan pada beton yang panjang/lebar untuk memberi tempat bagi susut pengerasan dan pengembangan beton.
3. Beton keras (beton) mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi untuk mencegah terjadinya retak-retak akibat perubahan suhu.
4. Beton sulit untuk kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air, dan air yang membawa kandungan garam dapat merusakkan beton.
5. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan didetail secara seksama agar setelah dikombinasikan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

a. Kekuatan Beton

Berdasarkan (Balok dan Pelat Beton Bertulang menurut Ali Asroni halaman 15) Kuat tekan beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat yang lain (misalnya: kuat tarik, modulus elastisitas beton) kuat tekan beton diberi notasi  $f'_c$  yaitu kuat tekan silinder yang disyaratkan pada waktu 28 hari.

Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya yaitu:

1. Mutu beton dengan  $f'c$  kurang dari 10 MPa digunakan untuk beto non struktur (misalnya: kolom praktis, balok praktis).
2. Mutu beton dengan  $f'c$  antara 10 MPa sampai 20 MPa, digunakan untuk beton struktur (misalnya kolom, balok, pelat maupun fondasi)
3. Mutu beton dengan  $f'c$  lebih dari 20 MPa digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

## 2. Baja Tulangan

Berdasarkan (Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2013, halaman 25) Dalam aplikasi lapangan, disarankan untuk menggunakan tulangan baja sirip untuk digunakan sebagai tulangan utama karena bentuk penampangnya yang bersirip mampu meningkatkan lekatan dengan beton serta mengurangi lebar retak beton pada daerah Tarik. Ukuran diameter tulangan baja tersedia dilapangan mulai dari diameter 6mm, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 29, 32 hingga 50 mm. Mutu baja tulangan ditentukan berdasarkan kuat lelehnya ( $f_y$ ). **Tabel 2.1** memberikan beberapa nilai mutu baja tulangan yang dapat digunakan.

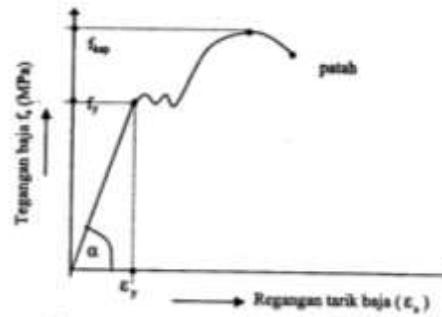
**Tabel 2.1.** Mutu Tulangan Baja SNI 03-6861.2-2002, Spesifikasi Bahan Bangunan dari Besi/Baja

Jenis	Kelas	Simbol	Kuat Leleh Minimum, $f_y$ , $\text{kg/mm}^2$ (MPa)	Kuat Tarik Minimum, $f_u$ , $\text{kg/m}^2$ (MPa)
Polos	1	Bj.TP 24	24 (235)	39 (382)
	2	Bj.TP 30	30 (294)	49 (480)
Ulir	1	Bj.TD 24	24 (235)	39 (382)
	2	Bj.TD 30	30 (294)	49 (480)
	3	Bj.TD 35	35 (343)	50 (490)
	4	Bj.TD 40	40 (392)	57 (5590)
	5	Bj.TD 50	50 (490)	63 610)

a. Kekuatan Baja Tulangan

Meskipun baja tulangan juga mempunyai sifat tahan terhadap beban tekan, tetapi karena harganya cukup mahal maka baja tulangan ini hanya diutamakan untuk menahan beban tarik pada struktur beton bertulang. Sedangkan beban tekan yang bekerja cukup ditahan oleh betonnya.

Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan dilukiskan pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Baja Tulangan

b. Modulus Elastisitas Baja Tulangan

Modulus elastisitas baja tulangan dari hubungan tegangan dan regangan tarik baja tulangan terlihat sudut  $\alpha$  yaitu sudut antar garis kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai tegangan leleh  $f_y$  dan garis regangan  $\epsilon_s$ . Modulus elastisitas baja ( $E_s$ ) merupakan tangens dari sudut  $\alpha$  tersebut. Menurut pasal 10.5.2 SNI 03-2487-2002, modulus elastisitas baja tulangan non pratekan  $E_s$  dapat diambil sebesar 200000 MPa.

- Kelebihan Baja Tulangan

1. Kuat tarik (juga kuat tekan) tinggi, memungkinkan membuat struktur yang langsung dengan bentang yang panjang.

Hal lain dapat mempertinggi ruang efektif bangunan serta volume ruang.

2. Kemudahan pemasangan, dapat difabrikasi di bengkel, selanjutnya dipasang di lapangan. Profil baja sudah standar serta mudah diperoleh

3. Homogen, Sifat baja lebih homogen karena proses produksinya dikendalikan dengan baik. Faktor ketidakpastian mutu bahan lebih kecil.
  4. Daktail, Dapat mengalami deformasi yang besar pada tegangan yang cukup tinggi sehingga dapat mencegah robohnya bangunan secara tiba-tiba.
  5. Proses perakitan di lapangan berlangsung cepat.
- Kekurangan Baja Tulangan
    1. Lemah terhadap suhu relatif tinggi bila dibandingkan dengan bahan beton, mudah meleleh (bukan terbakar). Bahan kayu dengan dimensi besar juga lebih tahan terhadap serangan api.
    2. Perlu biaya pemeliharaan dari bahaya karat.
    3. Mudah menekuk karena komponen yang langsing.

**(Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2013, halaman 25)** untuk melindungi tulangan terhadap bahaya korosi maka di sebelah tulangan luar harus diberi selimut beton. Untuk beton bertulang, tebal selimut beton minimum yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2.2 Batasan Tebal Selimut Beton

Kondisi Struktur	Selimut Beton (mm)
a. Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b. Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-57 Batang D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	50 40
c. Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah: <u>Slab, dinding, balok usuk:</u> Batang tulangan D-44 dan D-57 Batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil <u>Balok, kolom:</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral <u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u> Batang tulangan D-19 dan yang lebih besar Batang tulangan D-16, kawat M-16 ulir atau polos, dan yang lebih kecil	40 20 40 20 13

Sumber : Persyaratan Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2013

## 2.2 Karakteristik dan Jenis-Jenis Pembebanan

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.1.1 dan 2 tentang ketentuan kekuatan dan kemampu layan yaitu struktur dan komponen struktur harus didesain agar mempunyai kekuatan desain disemua penampang paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya terfaktor dalam kombinasi sedemikian rupa.

Komponen struktur juga harus memenuhi semua ketentuan Standar ini yang lainnya untuk menjamin kinerja yang mencukupi pada tingkat beban layan.

Kekuatan yang tersedia ditetapkan berdasarkan peraturan yang ada, sedangkan kuat perlu ditetapkan berdasarkan analisis struktur terhadap beban berfaktor.

Beban adalah gaya yang bekerja pada suatu struktur. Penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layanannya merupakan salah satu pekerjaan yang cukup sulit. Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi dari struktur dapat diketahui secara pasti, distribusi beban dari elemen ke elemen dalam suatu struktur pada umumnya memerlukan asumsi dan pendekatan. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi maka masalah berikutnya adalah menentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur. Beban- beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku. Beberapa jenis beban antara lain:

### 2.2.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Menurut Agus Setiawan berdasarkan (SNI 2847-2013 halaman 6) Beban Mati adalah beban gravitasi yang berasal dari berat semua komponen gedung/ bangunan yang bersifat permanen selama masa layan struktur tersebut. Termasuk pula kedalam

jenis beban mati adalah unsur-unsur tambahan, mesin serta peralatan tetap yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Berat dari komponen bangunan penting yang digunakan untuk menentukan besarnya beban mati.

**Tabel 2.3.** Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Material Gedung	Berat (kg/m <sup>3</sup> )
Baja	7850
Batu alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung ( berat tumpuk )	1500
Batu karang ( berat tumpuk )	700
Batu pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton Bertulang	2400
Kayu ( kelas I )	1000
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650
Pasangan bata merah	1700
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
Pasangan batu cetak	2200
Pasangan batu karang	1450
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600

Pasir (jenuh air)	1800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
Tanah lempung dan lanau ( kering udara sampai lembab )	1700
Tanah lempung dan lanau ( basah)	2000
Timah hitam	11400
Komponen Gedung	Kg/m <sup>2</sup>
Adukan, per cm tebal	
- Dari semen	21
- Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bhan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah	
- Satu bata	450
- Setengah bata	250
Dinding pasangan batako	
Berlubang :	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	200
Tanpa Lubang :	120

- Tebal dinding 15 cm	
- Tebal dinding 10 cm	
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya	300
tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri	200
dari :	
- Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	
- Kaca, dengan tebal 3 – 5 mm	
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa	11
langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk	10
beban hidup maksimum 200 kg/m <sup>2</sup>	
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang	
maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	40
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per	
m <sup>2</sup> bidang atap	7
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m <sup>2</sup>	
bidang atap	50
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa	
gordeng	40
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan	

beton, tanpa adukan, per cm tebal	10
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	24
	11

Sumber: Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987

### 2.2.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Menurut Agus Setiawan berdasarkan (SNI 2847-2013 halaman 6) Beban Hidup termasuk kedalam kategori beban gravitasi yaitu jenis beban yang timbul akibat penggunaan suatu gedung selama masa layan gedung tersebut. Beban manusia, peralatan permanen. Oleh karena besar dan lokasi beban hidup berubah-ubah, maka penentuan beban hidup dengan tepat merupakan suatu hal yang cukup sulit. Berikut beban hidup berdasarkan fungsi suatu bangunan ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

**Tabel 2.4.** Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Beban Hidup	Berat ( $\text{kg/m}^3$ )
a. Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200
b. Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125
c. Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba,	

restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250
d. Lantai ruang olahraga	400
e. Lantai ruang dansa	500
f. Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400
g. Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500
h. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300
i. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	500
j. Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	250
k. Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup	

yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400
l. Lantai gedung parkir bertingkat:	
- Untuk lantai bawah	
- Untuk lantai tingkat lainnya	
m. Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus	800
direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang	400
berbatasan, dengan minimum	
	300

Sumber: *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987*

### 2.2.3. Beban angin (*Wind Load*)

Beban angin adalah beban yang bekerja pada bangunan atau bagiannya karena adanya selisih tekanan udara (hembusan angin kencang). Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (hisap), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Berikut ini merupakan ketentuan untuk beban angin menurut Pedoman Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (**SKBI-1.3.53.1987 halaman 18**) sebagai berikut:

1. Tekanan tiup harus diambil minimal  $25 \text{ kg/m}^2$ .
2. Tekanan tiup ditepi laut dan ditepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil  $40 \text{ kg/m}^2$ .

3. Untuk daerah-daerah di dekat laut dan daerah-daerah lain tertentu, di mana terdapat kecepatan-kecepatan angin yang mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar daripada yang ditentukan di atas, tekanan tiup ( $p$ ) dihitung dengan rumus:

$$p = \frac{V^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{) .....(2.1)}$$

Keterangan:

$p$  = tekanan angin tiup ( $\text{kg/m}^2$ )

$V$  = kecepatan angin ( $\text{m/s}$ )

4. Apabila dapat dijamin suatu gedung terlindungi efektif terhadap angin dari satu jurusan tertentu oleh gedung-gedung lain, hutan-hutan pelindung atau penghalang lain, maka tekanan angin tiup dari jurusan itu dapat dikalikan dengan koefisien reduksi sebesar 0,5.
5. Sedangkan koefisien angin untuk gedung tertutup, ditentukan sebagai berikut:

a. Dinding vertikal:

Dipihak angin = +0,9

Dibelakang angin = -0,4

Sejajar dengan arah angin = -0,4

b. Atap segitiga dengan kemiringan  $\alpha$ :

Dipihak angin:

$$\alpha < 65^\circ = (0,02 \alpha - 0,4)$$

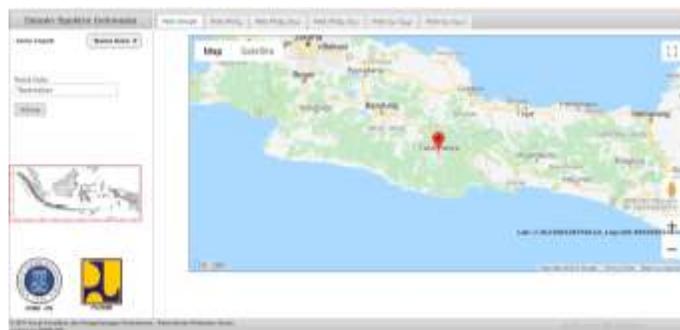
$$65^\circ < \alpha < 90^\circ = +0,9$$

$$\text{Dibelakang angin, untuk semua } \alpha = -0,4$$

#### 2.2.4. Beban Gempa (*Earth Quake Load*)

Menurut Agus Setiawan berdasarkan (SNI 2847-2013 halaman 7) Beban Gempa merupakan beban dalam arah horizontal dari struktur yang ditimbulkan oleh adanya gerakan tanah akibat gempa bumi, baik dalam arah vertikal maupun horizontal. Pada beberapa kasus umumnya pengaruh gempa alam vertikal lebih menentukan daripada pengaruh gempa arah vertikal.

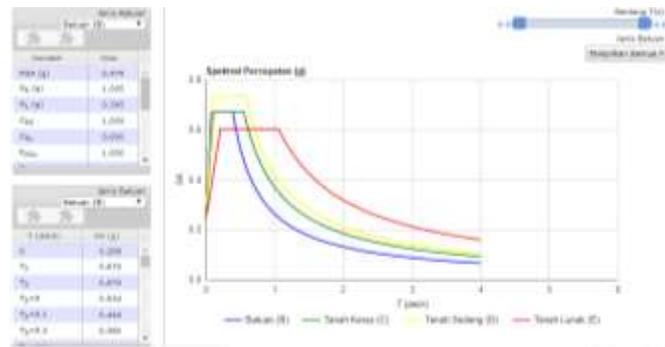
Berdasarkan peraturan (SNI 1726:2012 ) tiap kota atau wilayah di Indonesia memiliki grafik spektrum respons masing-masing, tidak hanya terbatas pada 6 Wilayah Gempa seperti sebelumnya. Dibawah ini adalah peta zona gempa di seluruh wilayah Indonesia yang disajikan dalam Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Peta Zona Gempa Indonesia

(Sumber: [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/))

Adapun grafik spektrum respon gempa untuk perencanaan struktur gedung rumah kost putri di Cilolohan Kota Tasikmalaya melalui program grafik gempa, yang disajikan dalam Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Grafik Spektrum Respon Gempa Kota Tasikmalaya

(Sumber: [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/result/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/result/))

Prosedur analisis desain sismik yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dan komponennya harus seperti yang ditetapkan dalam pasal 7.1.1 SNI-1726-2012 halaman 32). Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gerak tanah desain harus diasumsikan terjadi disepanjang setiap arah horizontal struktur bangunan gedung. Kecukupan sistem struktur harus ditunjukkan melalui pembentukan model matematik dan pengevaluasian model tersebut untuk pengaruh gerak tanah desain. Gaya gempa desain, dan distribusinya disepanjang ketinggian

struktur bangunan gedung, harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai dan gaya dalam serta deformasi yang terkait komponen elemen struktur tersebut harus ditentukan. Prosedur alternatif yang disetujui tidak boleh dipakai untuk menentukan gaya gempa dan distribusinya kecuali bila gaya-gaya dalam dan deformasi yang terkait pada komponen/elemen struktur ditentukan menggunakan model yang konsisten dengan prosedur yang diadopsi.

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung sesuai SK-SNI pasal 4.1.2 1726-2012 halaman 13) tentang pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  dan jenis pemanfaatan pada rumah susun/apartemen menurut SNI 1726-2012 termasuk kategori risiko kelas II.

**Tabel 2.5** Kategori risiko bangunan gedung dan non Gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perikanan, perikanan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur test lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Fasilitas</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stadion</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penelitian anak</li> <li>- Persewa</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik tenaga</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, pengemasan atau tempat penyimpanan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau potensial di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang ditetapkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kecelakaan.</p>	III

**Tabel 2.6** Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726:2012 halaman 15.*

1) Prosedur Klasifikasi situs untuk desain seismik

Klasifikasi situs merupakan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan dan dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari bantuan berdasarkan permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan dilaboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik. Penentuan jenis tanah nanti didasarkan pada hasil pengujian N-SPT.

Tabel 2.7 Klasifikasi situs

Kelas situs	$\bar{v}_z$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{60}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber : (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726:2012 halaman 17).

## 2) Perhitungan Spectrum Respons Desain

- a. Untuk penentuan respons parameter spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{MS}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs,

harus ditentukan dengan persamaan berikut menurut (SNI 1726-2012 halaman 21).

$$SMS = F_a SS \dots\dots\dots(2.2.a)$$

$$SMI = F_v SI \dots\dots\dots(2.2.b)$$

Keterangan :

$S_s$  = parameter respons spektral gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek.

$S_1$  = Parameter repons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

**Tabel 2.8** Koefisien situs  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_z$				
	$S_z \leq 0,25$	$S_z = 0,5$	$S_z = 0,75$	$S_z = 1,0$	$S_z \geq 1,25$
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>				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_z$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

**Tabel 2.9** Koefisien situs  $F_v$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada perioda 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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>				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726:2012 halaman 22.

- b. Menghitung parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek  $S_{DS}$

Dan untuk perioda 1 detik  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(2.3.a)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots(2.3.b)$$

- c. Membuat spektrum respons desain dengan acuan mengikuti SNI 1726:2012 halaman 23).

- 1. Untuk membuat periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , nilai  $S_a$  menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{ds} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(2.4)$$

- 2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$  spektrum respons percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{ds}$ .

- 3. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  diambil menggunakan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{d1}}{T} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

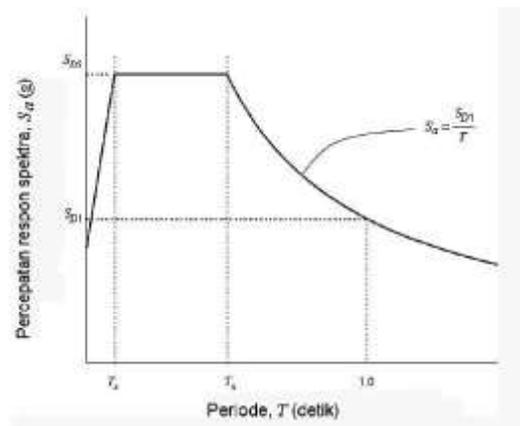
$S_{DS}$ = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

$S_{DS}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

$T$  = Perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}} \dots\dots\dots(2.7)$$



**Gambar 2.4** Spektrum Respons Desain

*Sumber : tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726:1726 halaman 23.*

- d. Menghitung koefisien respons seismik ( $C_s$ )

Faktor menurut (SNI 1726-2012 pasal 7.8.1 halaman 54) dapat dilihat menurut kategori risiko.

Koefisien respons seismik,  $C_s$  harus dihitung dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas tidak boleh melebihi:

$$C_s (maks) = \frac{S_1}{T \left(\frac{R}{I}\right)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung juga tidak boleh kurang dari :

$$C_s (min) = 0,044 \cdot S_{ds} \cdot I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots (2.10)$$

### 3) Perhitungan Beban Geser Dasar Seismik Statik Ekuivalen

Beban gempa didapat dari hasil perhitungan gaya geser dasar seismik (V) yang diperoleh dari rumus :

$$V = C_s \cdot W \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

$C_s$  = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

Koefisien seismik  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_c}\right)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang perioda pendek

R = Faktor modifikasi respons

$I_c$  = Faktor keutamaan gempa

Gaya geser dasar seismik yang telah dihitung selanjutnya didistribusikan ke semua tingkat menjadi gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang besarnya ditentukan sebagai berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \dots\dots\dots(2.13)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN).

$w_i$  dan  $w_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$  (kN)

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ , dalam meter (m)

$k$  = eksponen yang terkait dengan perioda struktur berikut ini: struktur dengan perioda 0,5 atau kurang,  $k=1$  struktur dengan perioda 2,5 atau lebih,  $k=2$  struktur dengan perioda 0,5 -2,5  $k=2$ , atau interpolasi linear antara 1 dan 2.

Sedangkan pada distribusi horizontal gaya gempa, geser tingkat desain gempa di semua tingkat ( $V_x$ ) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

$F_i$  = bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) yang timbul di tingkat  $i$ , dalam kilo newton (kN).

Geser tingkat desain gempa ( $V_x$ ), dalam (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma.

### 2.3 Kombinasi Pembebanan

Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan (SNI-2847-2013 halaman 7) kekuatan perlu  $U$ , yang harus dipertimbangkan sebagai kondisi paling kritis yang harus dipikul suatu elemen struktur adalah:

$$1. U = 1,4 D \dots\dots\dots(2.16)$$

$$2. U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \dots\dots\dots(2.17)$$

$$3. U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W) \dots\dots\dots(2.18)$$

$$4. U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \dots\dots\dots(2.19)$$

$$5. U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L \dots\dots\dots(2.20)$$

$$6. U = 0,9 D + 1,0 W \dots\dots\dots(2.21)$$

$$7. U = 0,9 D + 1,0 E \dots\dots\dots(2.22)$$

Kecuali sebagai berikut:

- a. Faktor beban pada beban hidup  $L$  dalam persamaan (2.17) sampai (2.20) diizinkan direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi, luasan yang

ditempati sebagai tempat publik, dan semua luasan dimana L lebih besar dari 4,8 kN/m<sup>2</sup>.

- b. Bila W didasarkan pada beban angin tingkat layan, 1,6W harus digunakan sebagai pengganti dari 1,0W dalam persamaan (2.18) dan (2.21), dan 0,8W harus digunakan sebagai pengganti dari 0,5W dalam persamaan (2.17).

Keterangan:

U = Kombinasi beban terfaktor

D = Beban mati ( *Dead Load* )

L = Beban hidup ( *Live Load* )

R = Beban air hujan

W = Beban angin ( *Wind Load* )

E = Beban gempa ( *Earth Quake Load* )

#### 2.4 Sistem Bekerjanya Beban

Menurut (SNI 2847-2013 pasal 9.3.1 halaman 66) Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari Standar ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ),

Dalam SNI 2847-2013 digunakan beberapa nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) sebagai berikut:

Untuk penampang terkendali tarik  $\phi = 0,90$

Untuk penampang terkendali tekan

a. Dengan tulangan spiral  $\phi = 0,75$

b. Dengan non-spiral  $\phi = 0,65$

Untuk geser dan puntir  $\phi = 0,75$

Untuk tumpu pada beton  $\phi = 0,65$

### **2.5 Analisa Struktur Menggunakan Program SAP 2000 v.14.0.0.**

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi global sekarang ini, berbagai macam dampak berkembangnya teknologi adalah munculnya *software* baik dibidang desain grafis maupun pada bidang rancang bangun, adapun salah satu wujud teknologi pada bidang rancang bangun yang digunakan untuk menganalisis dan mendesain suatu struktur.

Program SAP merupakan program yang berasal dari Universitas of California at Berkeley, USA sekitar tahun 1970, dari tahun ketahun SAP mengalami perkembangan yang cukup berarti, dari SAP yang under DOS hingga sekarang sudah sampai ke SAP yang under window, Maka Untuk melayani keperluan komersial dari program SAP pada tahun 1975 dibentuklah perusahaan Komputer yang diberi nama, CSi (Computer and structure,Inc).

Program SAP2000 dapat melakukan perhitungan analisis struktur statik / dinamik, saat melakukan desain penampang beton bertulang maupun struktur baja,

---

*Perencanaan Pembangunan Rumah Kost Putri di Cilolohan Kota Tasikmalaya*

SAP2000 juga menyediakan metode interface (antarmuka) yang secara grafis mudah digunakan dalam proses penyelesaian analisis struktur. Secara garis besar, perancangan model struktur baik truss maupun frame dengan software SAP2000 v.14.0.0 ini akan melalui tahapan yaitu:

1. Samakan satuan
2. Buat Model Struktur
3. Definisikan material yang dipakai
4. Definisikan profil yang dipakai
5. Aplikasikan profil struktur
6. Definisikan beban
7. Aplikasikan beban
8. Cek gambar struktur – model SAP
9. Run analisis
10. Cek hasil analisa

## **2.6 Perencanaan Struktur**

Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas muka tanah, . Komponen-komponen struktur atas gedung meliputi struktur atap, balok dan pelat lantai, serta kolom Serta struktur bawah pondasi bored pile.

### **2.6.1 Struktur Rangka Atap Baja**

Rangka atap adalah struktur bangunan yang posisi berada di atas bangunan yang berdiri. Rangka memiliki beberapa struktur seperti konstruksi kuda-kuda.

---

Rangka atap ini berdiri tepat di atas ring balk yang memungkinkan penyaluran tekanan langsung ke struktur bangunan lain yang berada di bawahnya.

1. Tegangan-tegangan baja

Menurut (Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia 1984 halaman 4) Tegangan-tegangan leleh dan tegangan-tegangan dasar dari bermacam-macam baja bangunan tercantum dalam tabel 2.10 apabila titik lelehnya tidak jelas maka tegangan leleh tersebut didefinisikan sebagai tegangan yang menyebabkan regangan tetap sebesar 0,2%.

Untuk dasar perhitungan tegangan-tegangan diizinkan pada suatu kondisi pembebanan tertentu, dipakai tegangan dasar yang besarnya dapat dihitung dari persamaan:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_L}{1,5} \dots\dots\dots(2.23)$$

Besarnya tegangan-tegangan dan tegangan dasar untuk mutu baja ditunjukkan pada tabel 2.10.

**Tabel 2.10** Harga tegangan dasar

Macam baja	Tegangan leleh		Tegangan dasar	
	$\sigma_L$		$\bar{\sigma}$	
	kg/cm <sup>2</sup>	mPa	kg/cm <sup>2</sup>	mPa
Bj 34	2100	210	1400	140
Bj 37	2400	240	1600	160
Bj 41	2500	250	1666	166,6
Bj 44	2800	280	1867	186,7
Bj 50	2900	290	1933	193,3
Bj 52	3600	360	2400	240

MPa = mega pascal-satuan sistem Internasional.

$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ kg/cm}^2$$

### 2.6.1.1 Perencanaan Gording

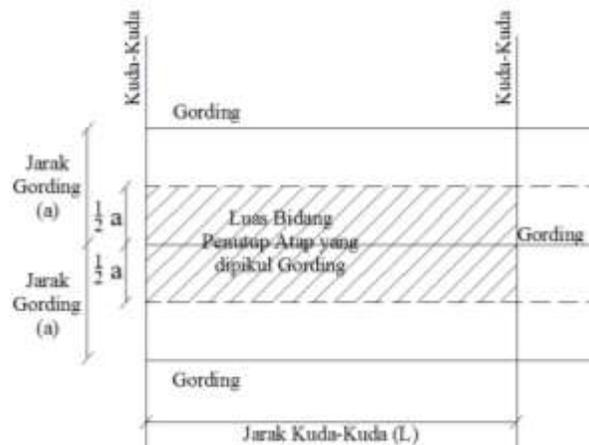
#### 1. Pembebanan

Pembebanan pada gording meliputi:

##### a. Beban mati (DL)

##### 1) Berat penutup atap:

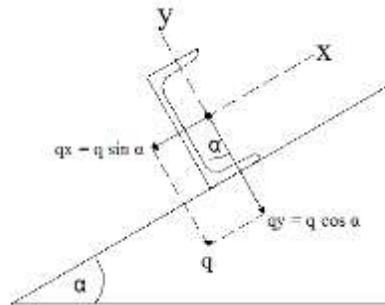
$$= \text{jarak gording} \times \text{berat penutup atap per m}^2 \text{ (kg/m)}$$



**Gambar 2.5** Berat Penutup Atap yang Dipikul Gording

##### 2) Berat sendiri gording

Distribusi beban mati pada gording ditampilkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Beban Mati pada Gording

$$q_x = q \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (2.24)$$

$$q_y = q \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan:

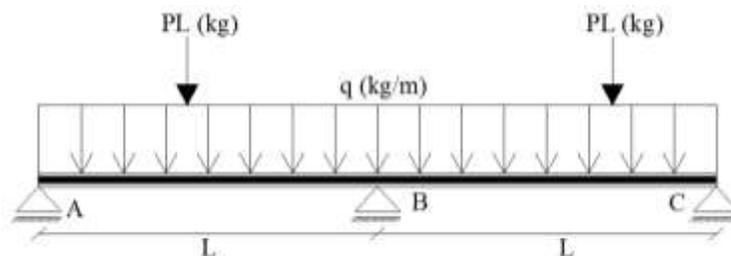
$q_x$  = beban mati arah x.

$q_y$  = beban mati arah y.

$\alpha$  = sudut kemiringan.

Jika dilihat dari gambar gaya kerja pada gording, diketahui bahwa beban mati sumbu y bernilai cos, karena sumbu tersebut terletak lebih dekat dengan arah beban P dan q.

Gording diletakan di atas beberapa tumpuan (kuda-kuda), sehingga merupakan balok menerus.



**Gambar 2.7** Gaya yang Bekerja pada Gording

Momen maksimum akibat beban mati:

$$M_{x1} = \frac{1}{8} \cdot q_x \cdot L^2 \dots\dots\dots(2.26)$$

$$M_{y1} = \frac{1}{8} \cdot q_y \cdot L^2 \dots\dots\dots(2.27)$$

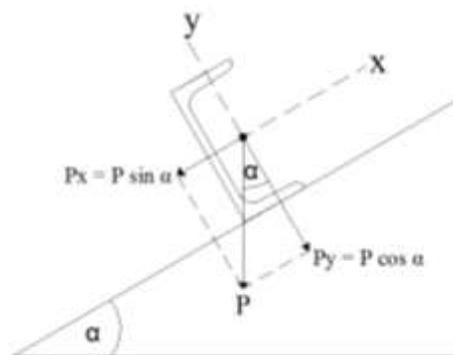
Keterangan:

$M_{x1}$  = momen maksimum arah x.

$M_{y1}$  = momen maksimum arah y.

b. Beban hidup (LL)

Beban hidup diperhitungkan sebesar  $P = 100$  kg, berdasarkan PPURG 1987. Beban hidup berada di tengah bentang gording, beban ini diperhitungkan jika ada orang yang bekerja di atas gording.

**Gambar 2.8** Beban Hidup yang Bekerja pada Gording

Gording diletakkan diatas beberapa tumpuan (kuda-kuda) sehingga merupakan balok menerus.

$$PL_x = PL \times \sin \alpha \dots\dots\dots (2.28)$$

$$PL_y = PL \times \cos \alpha \dots\dots\dots (2.29)$$

Keterangan:

$PL_x$  = beban hidup arah x.

$PL_y$  = beban hidup arah y.

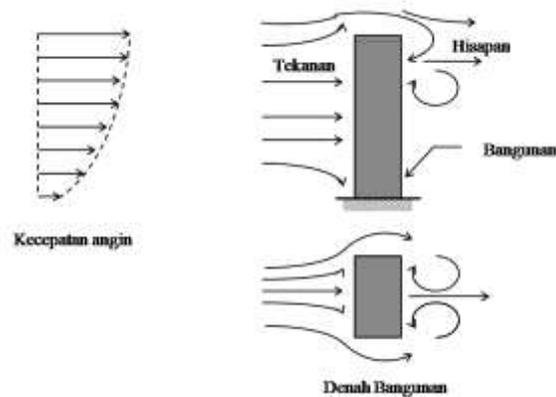
Momen yang timbul akibat beban terpusat dianggap sebagai momen *continous beam*.

$$M_{x_2} = \frac{1}{4} \cdot P_x \cdot L \dots\dots\dots (2.30)$$

$$M_{y_2} = \frac{1}{4} \cdot P_y \cdot L \dots\dots\dots (2.31)$$

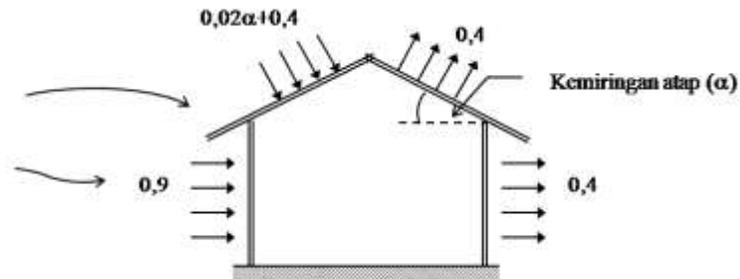
#### c. Beban angin (WL)

Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur. Bangunan yang berada pada lintasan angin, akan menyebabkan angin berbelok atau dapat berhenti. Sebagai akibatnya, energi kinetik dari angin akan berubah menjadi energi potensial, yang berupa tekanan atau hisapan pada bangunan.

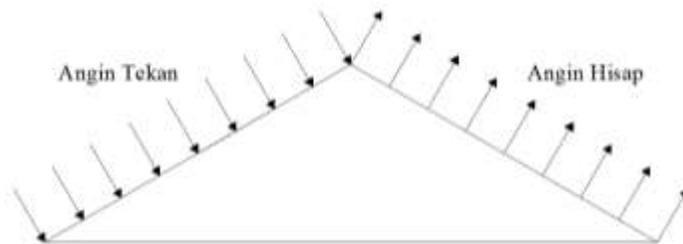


**Gambar 2.9** Pengaruh Angin pada Bangunan Gedung

Baban angin diperhitungkan dengan menganggap adanya tekanan positif (tiup) dan tekan negatif (hisap) yang bekerja tegak lurus pada bidang atap.



**Gambar 2.10** Koefisien Angin untuk Tekanan dan Hisapan pada Bangunan



**Gambar 2.11** Arah Angin Tekan dan Angin Hisap

Menurut PPPURG 1987, tekan tiup harus diambil  $25 \text{ kg/m}^2$ . Adapun hal-hal yang berpengaruh terhadap beban angin, yaitu:

- 1) Kemiringan atap =  $(\alpha = 25^0)$
- 2) Jarak antar gording = (5)
- 3) Lokasi = Kota Tasikmalaya
- 4) Muatan Angin (q) =  $25 \text{ kg/m}^2$  (jarak lebih dari 5 km dari pantai)
- 5) Koefisien angin tekan =  $(0,02 (\alpha) - 0,4) \dots \dots \dots (2.32)$
- 6) Koefisien angin hisap =  $(- 0,4) \dots \dots \dots (2.33)$
- 7) Angin tekan (Wt) =  $(0,02 \times (\alpha) - 0,4) \times q \times \text{jarak gording} \dots \dots (2.34)$

Momen yang terjadi akibat beban angin tekan:

$$M_{x3} = \frac{1}{8} \cdot W_t \cdot L^2 \dots \dots \dots (2.35)$$

- 8) Angin hisap (Wh) =  $(-0,4 \times q \times \text{jarak gording}) \dots \dots \dots (2.36)$

Momen yang terjadi akibat beban angin hisap:

$$M_{x3} = \frac{1}{8} \cdot W_h \cdot L^2 \dots \dots \dots (2.37)$$

My tidak diperhitungkan, karena tidak ada momen arah x.

2.6.1.2 Kontrol Tegangan dan Lendutan Terhadap Momen

1. Kontrol Tegangan

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia 1984, kontrol Tegangan untuk mutu baja yang telah direncanakan.

$$\bar{\sigma} = \frac{f_y}{1,5} \dots\dots\dots (2.38)$$

Akibat beban tetap, yaitu beban mati + beban hidup.

$$\sigma = \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.37)$$

Akibat beban sementara, yaitu beban mati + beban hidup + beban angin + beban hujan.

$$\sigma = \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} \leq 1,3 \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.39)$$

Keterangan:

$\sigma$  = tegangan yang bekerja (kg/cm<sup>2</sup>)

$\bar{\sigma}$  = tegangan ijin maksimal (kg/cm<sup>2</sup>)

$W_x$  = beban arah x

$W_y$  = beban arah y

2. Kontrol Lendutan

Menurut PPBBI 1984, secara umum lendutan maksimum akibat beban mati dan beban hidup yaitu:

$$F < \frac{1}{250} \cdot L \dots\dots\dots (2.40)$$

Pada balok yang terletak bebas atas dua tumpuan, L adalah bentang balok tersebut, pada balok menerus atas banyak perletakan, L adalah jarak antara titik-titik beloknya akibat beban mati, sedangkan pada balok kantilever L adalah dua kali panjang kantilevernya. Lendutan yang diijinkan untuk gording (pada arah x terdiri 2 wilayah yang ditahan oleh trakstang)

$$f_x = \frac{5 \cdot q_x \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot I_y} + \frac{1 \cdot P_x \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$f_y = \frac{5 \cdot q_y \cdot L^4}{348 \cdot E \cdot I_x} + \frac{1 \cdot P_y \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \dots\dots\dots (2.42)$$

Keterangan:

$f_x$  = lendutan arah x

$f_y$  = lendutan arah y

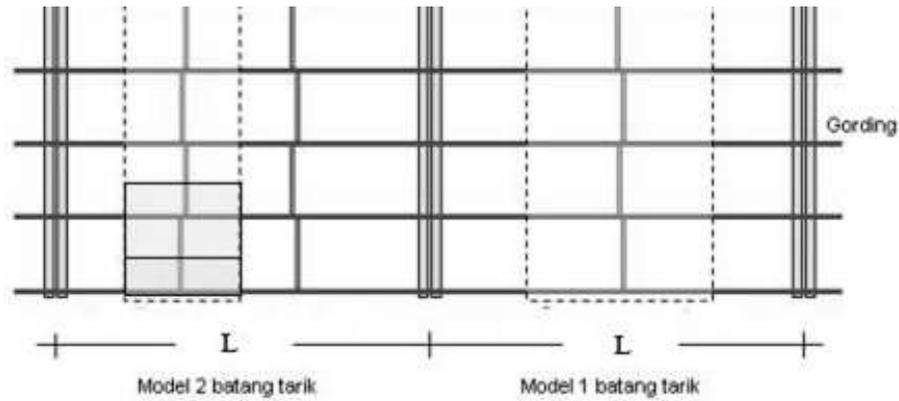
E = modulus elastisitas

$I_x$  = momen inersia penampang x

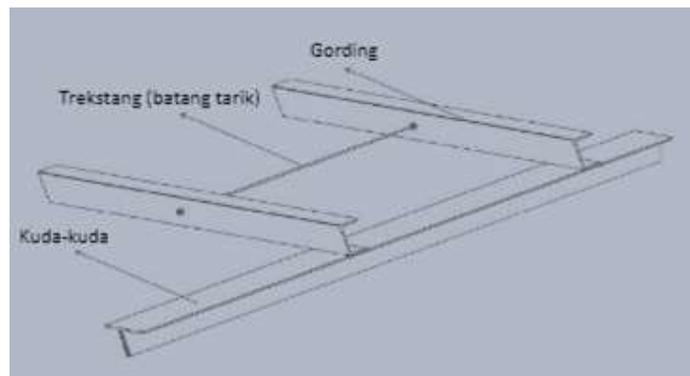
$I_y$  = momen inersia penampang y

### 2.6.1.3 Perencanaan Batang Tarik (Trackstang)

Batang tarik (*trackstang*) atau dikenal dengan sagrod berfungsi untuk mengurangi lendutan gording pada arah sumbu x (miring atap) sekaligus untuk tegangan lendutan yang timbul pada arah x.

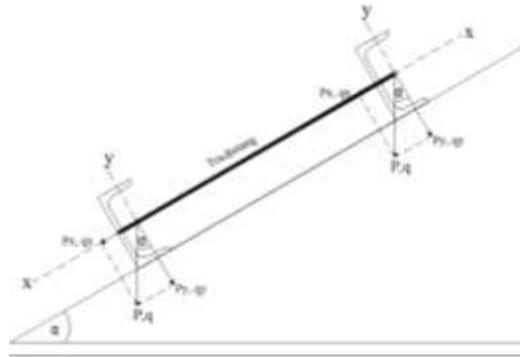


**Gambar 2.12** Pemodelan Batang Tarik (*Trackstang*)



**Gambar 2.13** Batang Tarik (*Trackstang*)

Beban-beban yang dipikul oleh trekstang yaitu sejajar bidang atap (sumbu x), maka gaya yang bekerja adalah gaya tarik  $G_x$  dan  $P_x$ .



**Gambar 2.14** Rencana Batang Tarik (*Trackstang*)

$G_x$  = berat sendiri gording + penutup atap sepanjang sumbu x

$P_x$  = beban hidup arah sumbu x

$$P_{total} = G_x + P_x = (q_x \cdot L) + P_x \dots\dots\dots(2.43)$$

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

$$P = \frac{P_{total}}{2} = \frac{(q_x \cdot L) + P_x}{2} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$\sigma = \frac{P}{F_n} \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$F_n = \frac{P}{\sigma} \dots\dots\dots(2.46)$$

Keterangan:

$P$  = beban hidup

$q_x$  = beban mati arah x

$L$  = lebar bentang

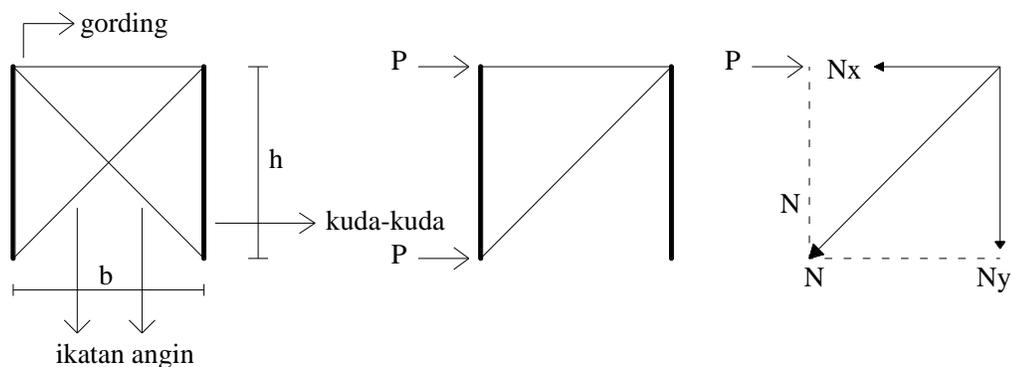
$F_n$  = gaya yang terjadi

$\sigma$  = tegangan yang bekerja

$\bar{\sigma}$  = tegangan ijin

#### 2.6.1.4 Ikatan Angin

Ikatan angin (*bracing*) hanya bekerja menahan gaya normal (*axial*). Adapun cara kerjanya adalah apabila salah satu ikatan angin bekerja sebagai batang tarik, maka yang lainnya tidak menahan gaya apapun. Sebaliknya apabila arah angin berubah, maka secara bergantian batang tersebut bekerja sebagai batang tarik.

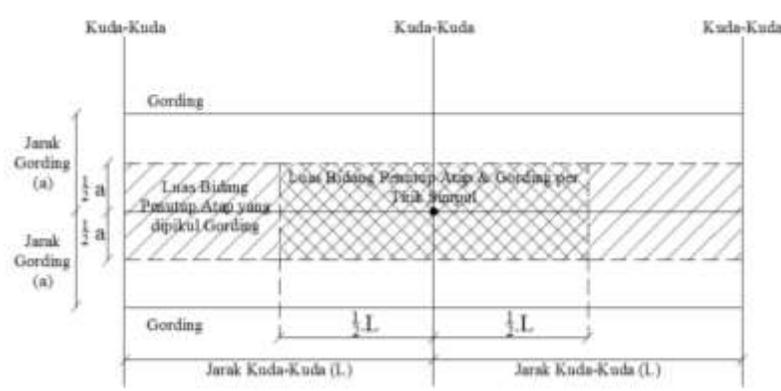


**Gambar 2.15** Pembebanan pada Ikatan Angin

#### 2.6.1.5 Pembebanan Kuda-Kuda

##### 1. Beban Mati ( $qD$ )

Beban mati terdiri dari beban pada gording dikalikan dengan jarak antar kuda-kuda. Diasumsikan bekerja vertikal pada tiap titik simpul batang tepi atas.



**Gambar 2.16** Beban Mati pada Kuda-Kuda

2. Beban Hidup

Beban hidup diperhitungkan sebesar  $P = 100 \text{ kg}$ , sesuai PPURG 1987.

3. Beban Angin

a. Angin Tekan ( $W$ ) =  $(0,02 \cdot \alpha - 0,4) \cdot q$

Beban angin per joint:

$P = W \times \text{jarak gording} \times \text{jarak kuda-kuda}$

b. Angin Hisap ( $W$ ) =  $(-0,4) \cdot q$

Beban angin per joint:

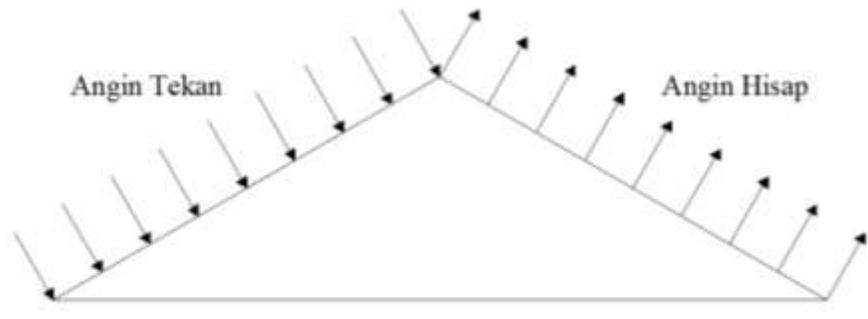
$P = W \times \text{jarak gording} \times \text{jarak kuda-kuda}$

Sementara itu, distribusi beban angin terhadap arah horizontal ( $x$ ) dan vertikal ( $y$ ) yaitu sebagai berikut:

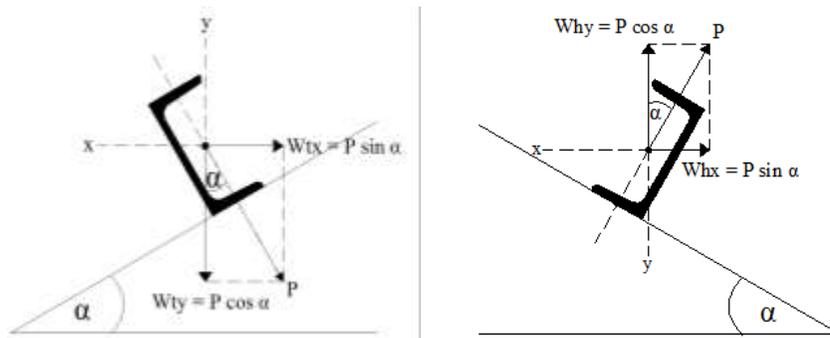
$W_{tx} = P \sin \alpha \dots \dots \dots (2.47)$

$W_{ty} = P \cos \alpha \dots \dots \dots (2.48)$

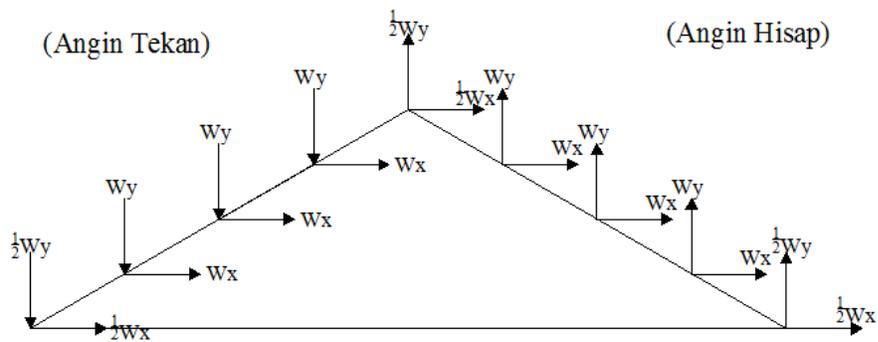
Beban Angin Kiri



Gambar 2.17 Arah Beban Angin Kiri

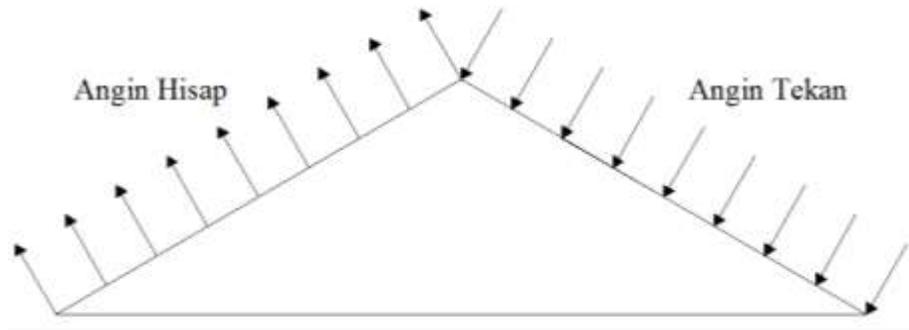


Gambar 2.18 Distribusi Angin Tekan dan Angin Hisap pada Beban Angin Kiri

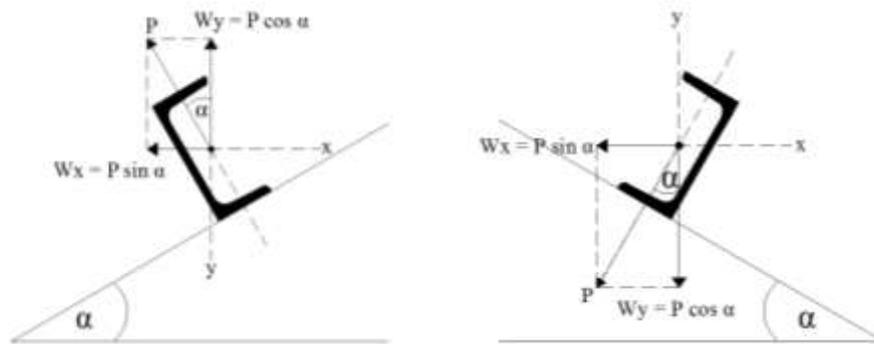


Gambar 2.19 Beban Angin Kiri

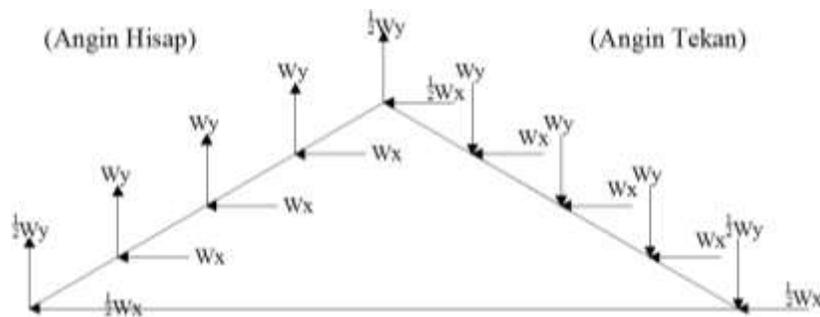
Beban Angin Kanan



Gambar 2.20 Arah Beban Angin Kanan



Gambar 2.21 Distribusi Angin Tekan dan Angin Hisap pada Beban Angin Kanan



Gambar 2.22 Beban Angin Kanan

### 2.6.1.6 Perencanaan Sambungan Baut

Jenis sambungan sambungan baut adalah jenis sambungan yang paling banyak digunakan pada rangka baja. Sambungan baut yang dibebani geser dapat gagal dalam satu atau beberapa mode kegagalan. Mode tersebut adalah mode kegagalan geser baut, robekan tepi, miring dan tercabutnya baut, dan kegagalan tumpu pada material yang disambungkan. Untuk menghitung kapasitas tumpu yang lebih rendah dari dua batang berdasarkan ketebalan dan kuat tariknya. Kuat tumpu pelat yang mengalami kontak dengan baut ditentukan dengan rumus berikut berdasarkan Peraturan Pembebanan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1984.

#### 1. Tegangan dasar

$$\bar{\sigma} = \frac{fy}{1,5} \dots\dots\dots (2.49)$$

#### 2. Tegangan geser baut

$$\bar{\sigma}_{gs} = 0,6 \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.50)$$

#### 3. Tegangan tarik baut

$$\bar{\sigma}_{tr} = 0,7 \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2.51)$$

#### 4. Tegangan tumpu

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,5 \bar{\sigma} \rightarrow S_1 \geq 2d \dots\dots\dots (2.62)$$

$$\bar{\sigma}_{tu} = 1,2 \bar{\sigma} \rightarrow 1,5d \leq S_1 < 2d \dots\dots\dots (2.63)$$

#### 5. Menentukan kekuatan satu baut

$$N_{gs} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \bar{\sigma}_{gs} \dots\dots\dots (2.54)$$

$$Nt_p = t \times d \times \bar{\sigma}_{tu} \dots\dots\dots (2.65)$$

6. Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{N}{N'} \dots\dots\dots (2.66)$$

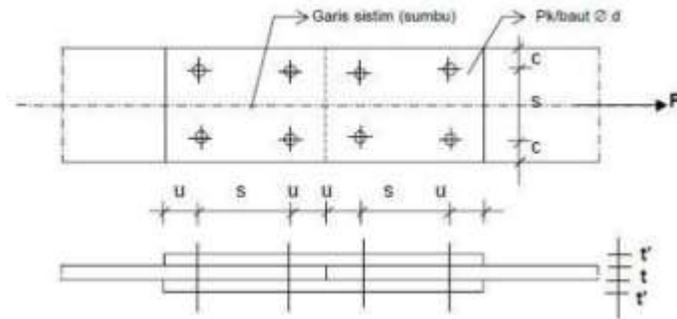
Keterangan:

S = jarak dari sumbu baut yang paling luar ke tepi bagian yang disambung.

d = diameter baut.

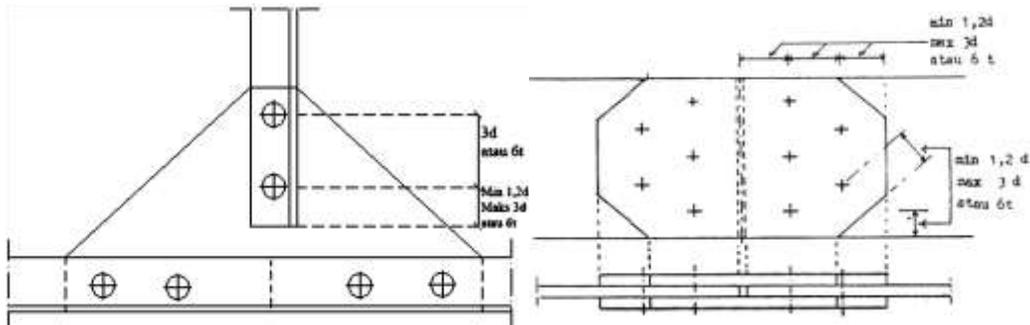
$\bar{\sigma}$  = tegangan dasar.

7. Banyaknya baut yang dipasang pada satu baris yang sejajar arah gaya tidak boleh lebih dari 5 buah.



**Gambar 2.23** Jarak Sambungan Baut

8. 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  $3 d$  atau  $6 d$ . Dimana  $t$  merupakan tebal terkecil bagian yang disambung



**Gambar 2.24** Geometri Penempatan Baut

9. Pada sambungan yang terdiri dari satu baris baut, jarak dari sumbu ke sumbu dari 2 baut yang berurutan tidak boleh kurang dari  $2,4 d$  dan tidak boleh lebih dari  $7 d$  atau  $14 t$ .

### 2.6.2 Pelat Lantai

Menurut Perancangan Struktur (berdasarkan SNI 2847-2013 halaman 252) Pelat beton dibuat untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan, atap, jembatan atau jenis struktur lainnya. Pelat beton dapat ditumpu oleh dinding balok, kolom, atau dapat juga terletak langsung diatas tanah (*slab on ground*). Pada struktur balok, pelat, umumnya balok dan pelat dicor secara bersamaan sehingga menghasilkan suatu kesatuan struktur yang monolit. Ketebalan dari pelat beton umumnya jauh lebih kecil dibandingkan ukuran bentangnya.

### 2.6.2.1 Jenis Perletakan pelat pada balok

Kekakuan hubungan antara pelat dan konstruksi pendukungnya (balok) menjadi salah satu bagian dari perencanaan pelat. Ada 3 jenis perletakan pelat pada balok, menurut (Balok dan Pelat Beton Bertulang berdasarkan Ali Asroni halaman 193) yaitu sebagai berikut:

a. Terletak Bebas

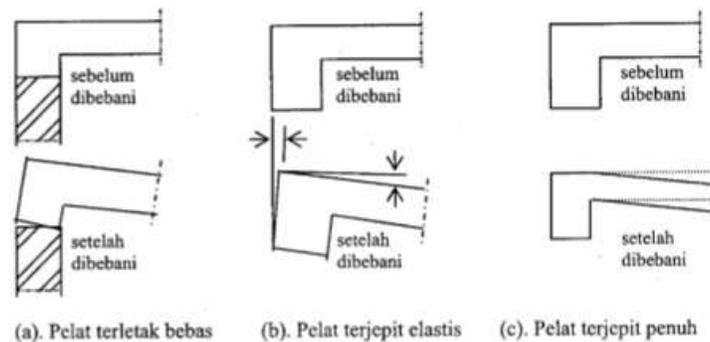
Keadaan ini terjadi jika pelat diletakkan begitu saja diatas balok atau antara pelat dan balok tidak dicor bersama-sama, sehingga pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan tersebut. (lihat gambar 2.25 (a)).

b. Terjepit elastis

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolit, tetapi ukuran balok cukup kecil sehingga balok induk tidak cukup kuat untuk mencegah terjadinya rotasi pelat ( lihat gambar 2.25 (b)).

c. Terjepit penuh

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolit, dan ukuran cukup besar, sehingga mampu untuk mencegah terjadinya rotasi pelat (lihat gambar 2.25 (c)).



**Gambar 2.25** Jenis Perletakan Pelat dan Balok

### 2.6.2.2 Sistem penulangan pelat

Berdasarkan (Balok dan Pelat Beton Bertulang menurut Ali Asroni halaman 195) Sistem perencanaan pelat pada dasarnya dibagi menjadi 2 macam yaitu: sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok satu arah (selanjutnya disebut: pelat satu arah/*one way slab*) dan sistem perencanaan pelat dengan tulangan pokok dua arah (disebut pelat dua arah/*two way slab*).

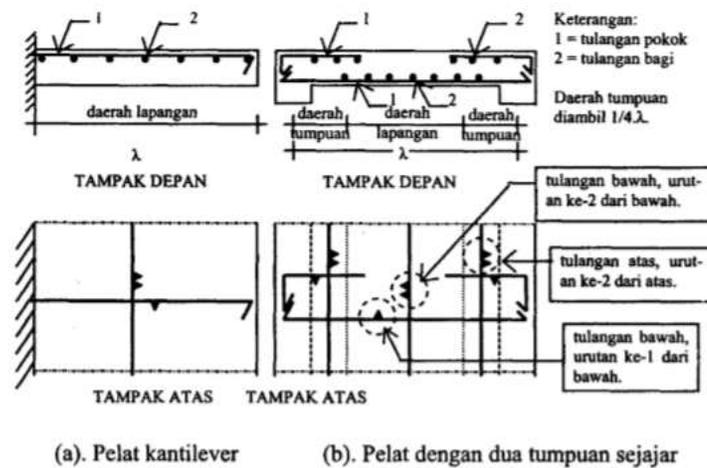
#### a. Penulangan pelat satu arah

Konstruksi pelat satu arah. Pelat dengan tulangan pokok satu arah ini akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. Contoh pelat satu arah adalah kantilever dan pelat ditumpu oleh 2 tumpuan sejajar.

Karena momen lentur hanya bekerja pada 1 arah saja, yaitu searah bentang  $\lambda$  maka tulangan pokok juga dipasang 1 arah yang searah bentang  $\lambda$  tersebut.

Untuk menjaga agar kedudukan tulangan pokok (pada saat pengecoran beton) tidak berubah dari tempat semula, maka dipasang pula tulangan tambahan yang arahnya tegak lurus tulangan pokok. Tulangan tambahan ini lazim disebut : tulangan bagi, seperti terlihat pada gambar.

Kedudukan tulangan pokok dan tulangan bagi selalu bersilangan tegak lurus, tulangan pokok dipasang dekat dengan tepi luar beton, sedangkan tulangan bagi dipasang dibagian dalamnya dan menempel pada tulangan pokok. Tepat pada lokasi persilangan tersebut, kedua tulangan diikat kuat dengan kawat binddraad. Pusing tulangan bagi selain memperkuat tulangan pokok, juga sebagai tulangan untuk menahan leatk beton akibat susut dan perbedaan suhu pada beton.

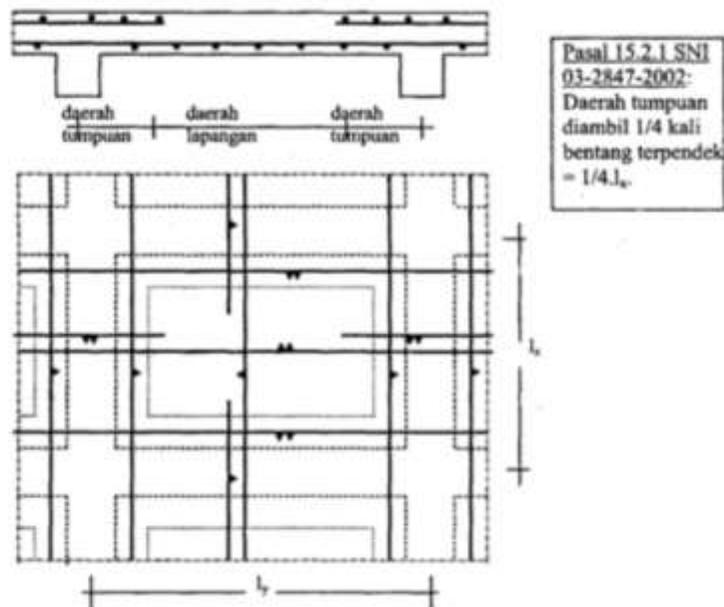


**Gambar 2.26** Contoh Pelat dengan Tulangan Satu Arah

b. Penulangan pelat dua arah

Konstruksi pelat dua arah. Pelat dengan tulangan pokok dua arah ini dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua

arah. Contoh pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu oleh 4 (empat) sisi yang saling sejajar. Karena momen lentur bekerja pada 2 arah, yaitu searah dengan bentang  $I_x$ , dan bentang  $I_y$ , maka tulangan pokok juga dipasang pada 2 arah yang saling tegak lurus (bersilangan), sehingga tidak perlu tulangan bagi. Tetapi pada pelat di daerah tumpuan hanya bekerja momen lentur satu arah saja, sehingga untuk daerah tumpuan ini pada gambar 2.27. Bentang  $I_y$  selalu dipilih  $\geq I_x$ , tetapi momennya  $M_{Iy}$  selalu  $\leq M_{Ix}$ , sehingga tulangan arah  $I_x$  (momen yang besar) dipasang didekat tepi luar.



**Gambar 2.27** Pelat dengan tulangan pokok dua arah

Pelat menerima beban yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan pelat. Berdasarkan kemampuannya untuk menyalurkan gaya akibat beban, pelat dibedakan menjadi:

1. Pelat satu arah

Sistem pelat hanya ditumpu kedua sisinya, maka pelat tersebut akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan. Beban akan didistribusikan oleh pelat dalam satu arah saja.

Suatu pelat dikatakan satu arah jika  $\frac{L_y}{L_x} \geq 2$ . Dimana  $L_y$  merupakan sisi

terpanjang, dan  $L_x$  merupakan sisi terpendek dari pelat.

Menurut (SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2 halaman 69) bila lendutan harus dihitung, maka lendutan yang terjadi seketika sesudah bekerjanya beban harus dihitung dengan metoda atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan komponen struktur.

**Tabel 2.11** Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan dihitung

Tebal minimum, h				
Komponen struktur	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
		Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar		
Pelat masif satu-arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat	1/16	2/18,5	1/21	1/8

rusuk satu-arah				
-----------------	--	--	--	--

Sumber : Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI-2847-2013 halaman 70).

Catatan :

Panjang bentang dalam mm.

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut :

- a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*),  $W_c$ , di antara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tadi harus dikalikan dengan  $(1,65 - 0,0003W_c)$  tetapi tidak kurang dari 1,09.
- b. Untuk  $f_y$  selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ .

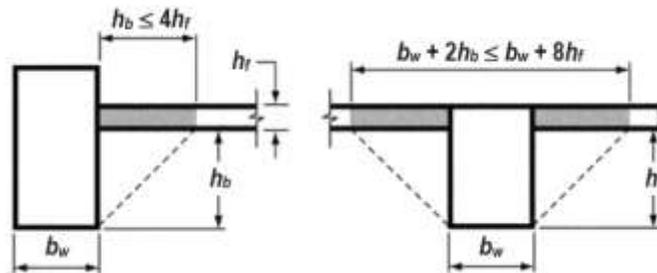
2. Pelat dua arah

Pelat dua arah adalah pelat dengan tulangan pokok dua arah yang akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah.

Apabila struktur beton ditopang di keempat sisinya, dan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2, maka pelat tersebut dikategorikan sebagai system pelat dua arah.

Menurut (Pasal 13.2.4 SNI 2847-2013 halaman 128) untuk konstruksi monolit atau komposit penuh, suatu balok mencakup bagian slab pada setiap

sisi balok yang membentang dengan jarak yang sama dengan proyeksi balok diatas atau dibawah slab tersebut, yang mana lebih besar, tetapi tidak lebih besar dari empat kali tebal slab.



**Gambar 2.28** Contoh bagian slab yang disertakan dengan balok

Menurut (pasal 13.3.1 SNI 2847-2013 halaman 129) Luas slab dalam masing-masing arah untuk sistem slab dua arah harus ditentukan dari momen-momen pada penampang kritis, tetapi tidak boleh kurang dari yang disyaratkan.

Adapun syarat tebal pelat minimum menurut (SNI – 2847-2013 pasal 9.5.3.3 halaman 72) adalah sebagai berikut:

- 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:

$$h = \frac{\ell_n \left[ 0,8 + \frac{fy}{1400} \right]}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \dots\dots\dots (2.57)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm

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

$$h = \frac{\ell_n \left[ 0,8 - \frac{fy}{1400} \right]}{36 - 9 \cdot \beta} \dots\dots\dots (2.58)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

Keterangan:

h = tebal pelat minimum (cm).

fy = tulangan leleh baja tulangan (MPa).

$\alpha$  = 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.

$\alpha_m$  = nilai rata-rata  $\alpha$  untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

$\beta$  = rasio bentang bersih dalam suatu arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.  $\beta = \ln y / \ln x$  .

$\ell_n$  = 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  $\alpha$  tidak kurang dari 0,8.

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cp} \cdot I_p} \dots\dots\dots (2.59)$$

Keterangan:

$E_{cb}$  = 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.

e. Beban yang bekerja pada pelat.

$$qU = 1,2 \cdot qD + 1,6 qL \dots\dots\dots (2.60)$$

Keterangan:

$qU$  = beban ultimit.

$qD$  = beban mati pelat.

$qL$  = beban hidup pelat.

f. Mencari tebal efektif pelat

Untuk menentukan tinggi efektif pelat ditinjau dari dua arah yaitu:

Arah x  $d_x$  = tebal pelat – selimut beton –  $\frac{1}{2} \cdot \emptyset$  tulangan arah x

Arah y  $d_y$  = tebal pelat – selimut beton –  $\frac{1}{2} \cdot \emptyset$  tulangan arah y

- g. Mencari momen yang bekerja pada arah sumbu x dan y, dengan bantuan tabel momen Marcus.

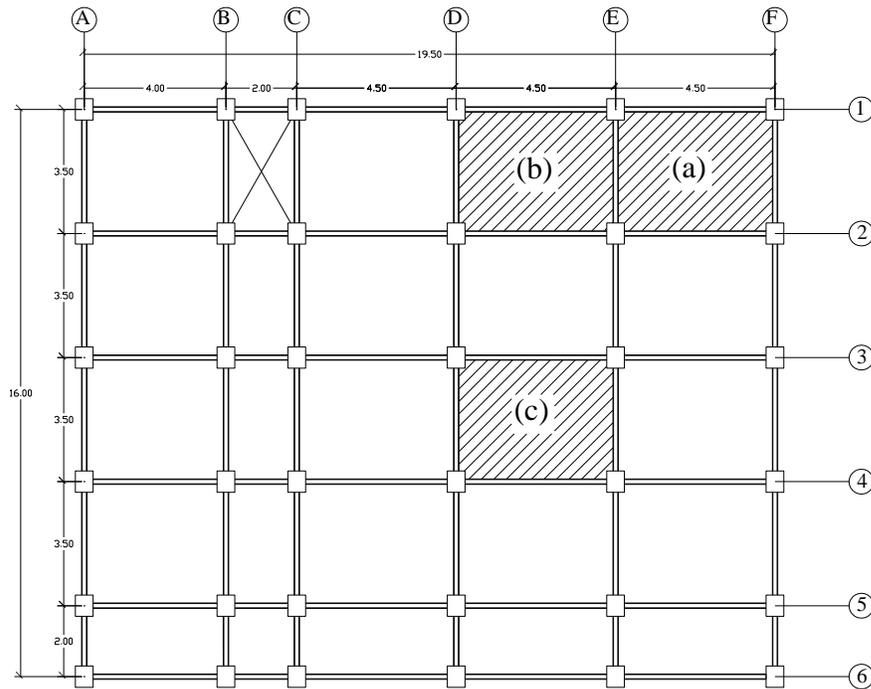
**Tabel 2.12** Momen didalam pelat persegi yang menumpu pada keempat tepinya akibat beban terbagi rata

		$l_y / l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	>2,5	
I lx		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	44	45	45	44	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	25	
II lx		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	25	28	31	34	36	37	40	40	40	41	41	41	42	42	42	42	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	10	10	8	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
III		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	68	77	85	92	98	103	107	111	113	116	118	119	120	121	122	122	125	
IV A		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	32	35	37	39	40	41	41	41	41	40	39	38	37	36	35	35	25	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	123	125
IV B		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	22	20	18	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83
V A		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	105	108	125	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	25	
		$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125	
V B		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	15	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	124	125
V I A		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	55	65	74	82	89	94	99	103	106	110	114	116	117	118	119	120	125	
V I B		$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	60	65	69	72	74	76	77	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79	
		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	26	29	32	35	36	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8	
V I B		$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	
		$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

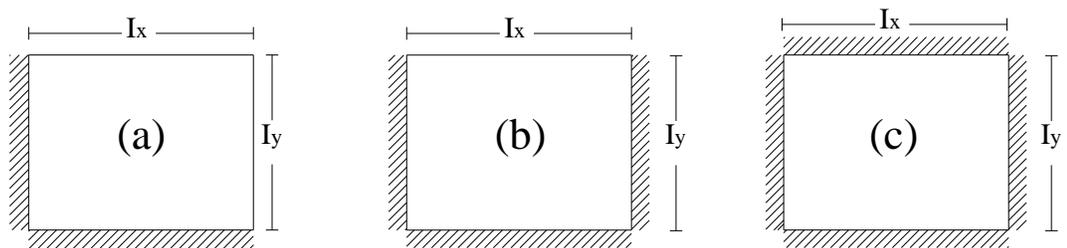
Keterangan : = Terletak bebas  
 = Terjepit penuh

(Sumber:Peraturan Beton Bertulang 1971 halaman 202)

Berikut beberapa contoh tipe perletakan pelat pada potongan denah pembangunan Rumah Kost Putri dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2.29** Denah Lantai 2 As (D-F; 1-4).



- (a) terjepit pada 2 sisi      (b) terjepit pada 3 sisi      (c) terjepit pada 4 sisi

**Gambar 2.30** Perletakan Pelat pada Potongan Denah Lantai 2 As (D-F; 1-4).

(a). Tipe perletakan pelat terjepit pada kedua sisinya

Berikut rumus perhitungan momen untuk pelat lantai dengan tipe perletakan terjepit pada 2 sisi :

Untuk nilai  $M_{lx}$ ,  $M_{ly}$ ,  $M_{tx}$  dan  $M_{ty}$  diperoleh dari tabel momen diatas dengan melihat hasil dari pembagi anantara jarak  $ly$  dengan  $lx$  ( $\frac{Ly}{Lx}$ ).

$$M_{lx} = 0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

$$M_{tx} = -0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

(b). Tipe perletakan pelat terjepit pada ketiga sisinya

Berikut rumus perhitungan untuk pelat lantai dengan tipe perletakan terjepit pada 3 sisi :

Untuk nilai  $M_{lx}$ ,  $M_{ly}$ ,  $M_{tx}$  dan  $M_{ty}$  diperoleh dari tabel momen diatas dengan melihat hasil dari pembagi anantara jarak  $ly$  dengan  $lx$  ( $\frac{Ly}{Lx}$ ).

$$M_{lx} = 0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

$$M_{tx} = -0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

(c). Tipe perletakan pelat terjepit pada keempat sisinya

Berikut perhitungan untuk pelat lantai dengan tipe perletakan terjepit pada 4 sisi :

Untuk nilai  $M_{lx}$ ,  $M_{ly}$ ,  $M_{tx}$  dan  $M_{ty}$  diperoleh dari tabel momen diatas dengan melihat hasil dari pembagi anantara jarak  $ly$  dengan  $lx$  ( $\frac{Ly}{Lx}$ ).

$$M_{lx} = 0,001 \cdot qu \cdot lx^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{tx} = -0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

### 2.6.2.3 Desain Penulangan Pelat

Dari perhitungan momen pada perhitungan sistem pelat diatas maka diambil hasil perhitungan momen terbesar untuk ( $M_{lx}$ ,  $M_{tx}$ ,  $M_{ly}$ ,  $M_{ty}$ ).

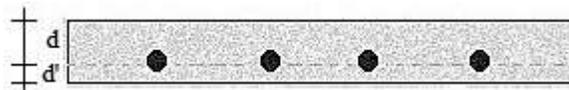
Dengan memasukan juga data-data yang sudah direncanakan sebagai notasi berikut :

Tebal pelat ( $h$ ), Tebal Selimut ( $d'$ ), Diameter tulangan ( $D$ ),  $b$ , mutu beton ( $f'_c$ ), dan mutu baja tulangan ( $f_y$ ).

**Penulangan arah x :**

**Tulangan lapangan :**  $M_{lx}(+) = k_g m = Nmm$

$$d' = d' + \frac{1}{2} \cdot D$$



**Gambar 2.31** Perencanaan Tinggi Efektifitas Tulangan Lapangan pada Pelat Lantai

Arah x

Faktor momen pikul ( $K$ ) didefinisikan diperoleh hitungan / persamaan sebagai berikut:

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \text{ dengan syarat } K \leq K_{\max}$$

Dan  $K_{\max}$  didapat dari tabel faktor momen Pikul Maksimal ( $K_{\max}$ ) berikut ini

**Tabel 2.13** Faktor Momen Pikul Maksimal ( $K_{\max}$ ) dalam MPa

Mutu beton $f'_c$ (MPa)	Mutu Baja Tulangan $f_y$ (MPa)						
	240	300	350	400	450	500	
15	4.4839	4.2673	4.1001	3.9442	3.7987	3.6627	(Su
20	5.9786	5.6897	5.4668	5.2569	5.0649	4.8836	mb
25	7.4732	7.1121	6.8335	6.5736	6.3311	6.1045	er:
30	8.9679	8.5345	8.2002	7.8883	7.5973	7.3254	Bal
35	10.1445	9.6442	9.2595	8.9016	8.5682	8.2573	
40	11.2283	10.6639	10.2313	9.8296	9.4563	9.1087	ok
45	12.1948	11.5704	11.0930	10.6509	10.2407	9.8593	
50	13.0485	12.3683	11.8497	11.3705	10.9266	10.5145	dan
55	13.7846	13.0535	12.4977	11.9850	11.5109	11.0716	
60	14.6670	13.8816	13.2853	12.7358	12.2283	11.7583	Pel

at Beton Bertulang menurut Ali Asroni halaman 64)

Tinggi pelat tegangan beton tekan persegi ekuivalen pada kuat nominal pelat dapat dihitung dengan rumus :

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \cdot d$$

Luas tulangan perlu ( $A_{s,u}$ ), dirumuskan dengan :

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y}$$

Jika  $f'_c < 31,36$  Mpa, Maka :

$$A_{s,u} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d$$

Jika  $f'_c > 31,36$  Mpa, Maka :

$$A_{s,u} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \cdot b \cdot d$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}}$$

$s \leq 2 \cdot h$  Catatan : dipilih nilai yang terkecil.

Luas tulangan :

$$A_{s,tul} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s}$$

$$A_{s,tul} \geq A_{s,u}$$

**Tulangan Tumpuan** :  $M_{tx}^{(-)} = \text{kgm} = \text{Nmm}$



**Gambar 2.32** Perencanaan Tinggi Efektifitas Tulangan Tumpuan pada Pelat Lantai

Arah x

Faktor momen pikul (K) didefinisikan diperoleh hitungan / persamaan sebagai berikut :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \text{ dengan syarat } K \leq K_{\max}$$

Tinggi pelat tegangan beton tekan persegi ekuivalen pada kuat nominal pelat dapat dihitung dengan rumus :

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.K}{0,85.f'c}} \right) . d$$

Luas tulangan perlu ( $A_{s,u}$ ), dirumuskan dengan :

$$A_{s,u} = \frac{0,85.f'c.a.b}{f_y}$$

Jika  $f'c < 31,36$  Mpa, Maka :

$$A_{s,u} = \frac{1,4}{f_y} . b . d$$

Jika  $f'c > 31,36$  Mpa, Maka :

$$A_{s,u} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.f_y} . b . d$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{\frac{1}{4} . \pi . D^2 . S}{A_{s,u}}$$

$s \leq 2.h$  Catatan : dipilih nilai yang terkecil.

Luas tulangan :

$$A_{s,tul} = \frac{\frac{1}{4} . \pi . D^2 . S}{s}$$

$$A_{s,tul} \geq A_{s,u}$$

Tulangan Bagi :

$$A_{s,b} = 20 \% \cdot A_{s,u} \text{ atau,}$$

$$A_{s,b} = 0,002 \cdot b \cdot h$$

Dipilih nilai terbesar.

Jarak tulangan :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}} \text{ mm}$$

$s \leq 5 \cdot h$  Catatan: dipilih nilai yang terkecil.

Luas tulangan :

$$A_{s,tul} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} \text{ mm}^2$$

$$A_{s,tul} \geq A_{b,u}$$

**Penulangan arah y :**

**Tulangan Lapangan :**  $M_{ly}^{(+)} = \text{kgm} = \text{Nmm}$

$$d' = d' + D + \frac{1}{2} \cdot D$$

$$d = h - d'$$



**Gambar 2.33** Perencanaan Tinggi Efektifitas Tulangan Lapangan pada Pelat Lantai  
Arah y

Faktor momen pikul (K) didefinisikan diperoleh hitungan / persamaan sebagai berikut :

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \text{ dengan syarat } K \leq K_{\max}$$

Tinggi pelat tegangan beton tekan persegi ekuivalen pada kuat nominal pelat dapat dihitung dengan rumus :

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'c}} \right) \cdot d$$

Luas tulangan perlu ( $A_{s,u}$ ), dirumuskan dengan :

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y}$$

Jika  $f'c < 31,36$  Mpa, Maka :

$$A_{s,u} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d$$

Jika  $f'c > 31,36$  Mpa, Maka :

$$A_{s,u} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \cdot f_y} \cdot b \cdot d$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{A_{s,u}}$$

$s \leq 2 \cdot h$  Catatan : dipilih nilai yang terkecil.

Luas tulangan :

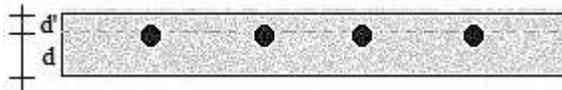
$$A_{s,tul} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s}$$

$$A_{s,tul} \geq A_{s,u}$$

**Tulangan Tumpuan** :  $M_{ty}^{(-)} = \text{kgm} = \text{Nmm}$

$$d' = d' + D + \frac{1}{2} \cdot D$$

$$d = h - d'$$



**Gambar 2.34** Perencanaan Tinggi Efektifitas Tulangan Tumpuan pada Pelat Lantai  
Arah y

Faktor momen pikul (K) didefinisikan diperoleh hitungan / persamaan sebagai berikut : Berdasarkan (Balok dan Pelat Beton Bertulang menurut Ali Asroni halaman 45)

$$K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \text{ dengan syarat } K \leq K_{\max}$$

Tinggi pelat tegangan beton tekan persegi ekuivalen pada kuat nominal pelat dapat dihitung dengan rumus : (Menurut Ali Asroni halaman 46)

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot K}{0,85 \cdot f'c}} \right) \cdot d$$

Luas tulangan perlu ( $A_{s,u}$ ), dirumuskan dengan :

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y}$$

Jika  $f'c < 31,36$  Mpa, Maka :

$$A_{s,u} = \frac{1,4}{f_y} . b . d$$

Jika  $f'c > 31,36$  Mpa, Maka :

$$A_{s,u} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 . f_y} . b . d$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{\frac{1}{4} . \pi . D^2 . S}{A_{s,u}}$$

$s \leq 2.h$  Catatan : dipilih nilai yang terkecil.

Luas tulangan :

$$A_{s,tul} = \frac{\frac{1}{4} . \pi . D^2 . S}{s}$$

$$A_{s,tul} \geq A_{s,u}$$

Tulangan Bagi :

$$A_{s,b} = 20 \% . A_{s,u} \text{ atau,}$$

$$A_{s,b} = 0,002 . b . h \text{ Catatan: dipilih nilai terbesar.}$$

Jarak tulangan :

$$s = \frac{\frac{1}{4} . \pi . D^2 . S}{A_{s,u}} \text{ mm}$$

$s \leq 5.h$  Catatan: dipilih nilai yang terkecil.

Luas tulangan :

$$A_{s,tul} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S}{s} \text{ mm}^2$$

$$A_{s,tul} \geq A_{b,u}$$

### 2.6.3 Balok

Berdasarkan (Struktur beton bertulang menurut Istimawan Dipohusodo halaman 66) Balok merupakan struktur penopang pelat yang bertujuan untuk menghindari lendutan yang besar pada pelat yang terbebani. Analisis dan perencanaan balok yang dicetak menjadi satu kesatuan monolit dengan pelat lantai atau atap didasarkan pada anggapan bahwa antara pelat dengan balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Interaksi antara pelat dan balok yang menjadi satu kesatuan pada penampangnya membentuk huruf T sehingga itulah dinamakan sebagai balok T.

Balok dapat diartikan sebagai 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.

Sama seperti pada pelat syarat untuk dimensi awal balok direncanakan dengan batasan pada pasal 9.5.2.2 tabel 9.5 (a) halaman 69 SNI-2847-2013, yang

tercantum dalam tabel minimum balok non pratekan atau pelat bila lendutan tidak dihitung berikut.

**Tabel 2.14** Tebal minimum balok non-pratekan atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

KOMPONEN STRUKTUR	TEBAL MINIMUM, $h$			
	TERTUMPU SEDERHANA	SATU UJUNG MENERUS	KEDUA UJUNG MENERUS	KANTILEVER
	KOMPONEN STRUKTUR TIDAK MENUMPU ATAU TIDAK DIHUBUNGKAN DENGAN PARTISI ATAU KONSTRUKSI LAINNYA YANG MUNGKIN RUSAK OLEH LENDUTAN YANG BESAR			
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat jalur satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

(Sumber: SNI 2847-2013 hakaman 70)

Sedangkan pemilihan lebar balok ( $b$ ) diambil tidak boleh kurang dari sama dengan  $h/2$ . Untuk  $f_y$  selain 420 Mpa harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/700)$ .

#### A. Keruntuhan lentur dan sistem perencanaan

##### 1. Jenis Keruntuhan Lentur

Berdasarkan (Balok dan Pelat Beton Bertulang menurut Ali Asroni halaman

54) Jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok lentur bergantung pada

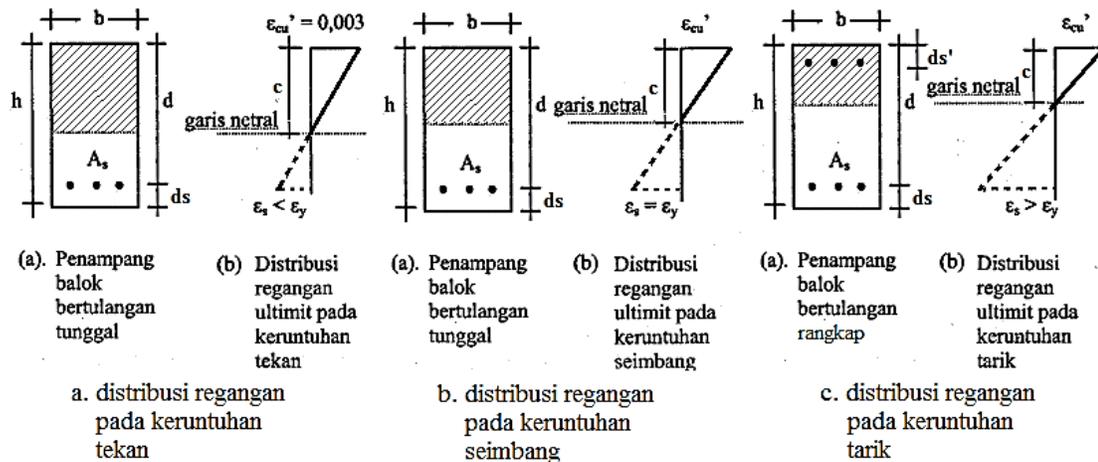
sifat – sifat penampang balok dan dibedakan menjadi 3 jenis berikut :

- a. Keruntuhan tekan ( *brittle failure* )
- b. Keruntuhan Seimbang ( *balance* )

c. Keruntuhan tarik ( *ductile failure* )

Distribusi regangan pada penampang beton untuk ketiga jenis keruntuhan lentur tersebut dilukiskan seperti gambar berikut :

Distribusi regangan pada penampang beton untuk ketiga jenis keruntuhan lentur tersebut dilukiskan seperti gambar berikut :



**Gambar 2.35** Distribusi regangan ultimit pada keruntuhan lentur

a. Keruntuhan Tekan ( *brittle failure* )

Pada keadaan penampang beton dengan keruntuhan tekan, beton hancur sebelum baja tulangan leleh. Hal ini berarti regangan tekan beton sudah melampaui regangan batas 0,003 tetapi regangan tarik baja tulangan belum mencapai leleh atau  $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}'$  tetapi  $\epsilon_s < \epsilon_y$  seperti pada gambar 2.35 (a). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan ( $\rho$ ) yang besar dan disebut *over – reinforced*.

Karena beton memiliki sifat yang kuat menahan beban tekan tetapi getas, maka keruntuhan beton seperti ini disebut keruntuhan tekan atau keruntuhan getas (*brittle failure*) pada balok yang mengalami keruntuhan getas, pada saat beton mulai hancur baja tulangnya masih kuat (belum leleh), sehingga lendutan pada balok relative tetap (tidak bertambah). Tetapi, jika di atas balok ditambah beban besar, maka baja tulangan akan meleleh dan dapat terjadi keruntuhan secara mendadak, tanpa ada tanda – tanda/peringatan tentang lendutan yang membesar pada balok. Keadaan demikian ini sangat membahayakan bagi kepentingan kelangsungan hidup manusia, sehingga sistem perencanaan beton bertulang yang dapat mengakibatkan *over – reinforced* tidak diperbolehkan.

b. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Pada penampang beton dengan keruntuhan seimbang, keadaan beton hancur dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan. Hal ini berarti regangan tekan beton mencapai regangan batas 0,003 dan regangan tarik baja tulangan mencapai leleh pada saat yang sama, atau  $\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}'$  dan  $\varepsilon_s = \varepsilon_y$  terjadi pada waktu yang sama, seperti pada Gambar 2.35 (b). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang beton dengan rasio tulangan seimbang (*balance*). Rasio tulangan *balance* diberi notasi  $\rho_b$ .

Karena beton dan baja tulangan mengalami kerusakan pada saat yang sama, maka kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga penggunaan material beton dan baja tersebut menjadi hemat. Sistem perencanaan beton bertulang yang demikian ini merupakan system perencanaan yang ideal, tetapi

sulit dicapai karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya : ketidaktepatan mutu baja dengan mutu baja rencana, ketidaktepatan mutu beton dalam pelaksanaan pembuatan adukan dengan mutu beton rencana, maupun kekurangan dan ketelitian pada perencanaan hitungan akibat adanya pembulatan – pembulatan.

c. Keruntuhan tarik ( *ductile failure* )

Pada keadaan penampang beton dengan keruntuhan tarik, baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur. Hal ini berarti regangan tarik baja tulangan sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan beton belum mencapai regangan batas 0,003 atau  $\varepsilon_s = \varepsilon_y$  tetapi  $\varepsilon_c' < \varepsilon_{cu}'$ , seperti terlihat pada Gambar 2.35 (c). Balok yang mengalami keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan (  $\rho$  ) yang kecil dan disebut dengan *under – reinforced*.

Karena kerusakan terjadi pada baja tulangan yang menahan beban tarik lebih dulu dan baja tulangan bersifat liat, maka keruntuhan beton seperti ini disebut keruntuhan tarik atau keruntuhan liat ( *ductile failure* ). Pada balok yang mengalami keruntuhan liat, pada saat baja tulangan mulai leleh betonnya masih kuat ( belum hancur ), sehingga dapat terjadi lendutan pada balok. Jika diatas balok ditambah lagi beban yang besar, maka lendutan balok semakin besar dan akhirnya dapat terjadi keruntuhan. Keadaan demikian ini “ menguntungkan” bagi kepentingan kelangsungan hidup manusia, karena ada “ peringatan” tentang lendutan membesar sebelum runtuh, sehingga sistem perencanaan beton bertulang yang *under – reinforced* ini lebih aman dan diperbolehkan.

Jika balok menahan momen lentur cukup besar, maka pada serat – serat balok bagian atas akan mengalami tegangan tekan dan pada serat – serat balok bagian bawah mengalami tegangan tarik. Untuk serat – serat balok bagian atas yang mengalami tegangan tekan, tegangan ini akan ditahan oleh beton, sedangkan untuk serat – serat balok yang mengalami tegangan tarik akan ditahan oleh baja tulangan, karena kuat tarik beton diabaikan.( Pasal 12.2.5. SNI 2847 -2002 ).

Berdasarkan (Balok dan Pelat Beton Bertulang menurut Ali Asroni halaman 44) Pada perencanaan beton bertulang, diusahakan kekuatan beton dan baja agar dimanfaatkan dengan sebaik – baiknya. Untuk beton, karena sangat kuat menahan beban tekan, maka dimanfaatkan kuat tekan beton jangan sampai melebihi batas runtuh pada regangan tekan beton maksimal ( $\epsilon_{cu}'$ ) = 0,003. Sedangkan untuk baja tulangan tarik yang tertanam di dalam beton, dapat dimanfaatkan kekuatan sepenuhnya sampai mencapai batas leleh, yaitu tegangan tarik baja  $f_s$  sama dengan tegangan leleh  $f_y$ .

a.) Gaya tekan beton

Gaya tekan beton dapat diperhitungkan dari hubungan tegangan – regangan beton, dengan balok tegangan tekan persegi ekuivalen dapat dihitung besar gaya tekan beton  $C_c$  sebagai berikut :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.61)$$

b.) Gaya tarik baja tulangan

Gaya tarik baja tulangan (  $T_s$  ) dapat dihitung dengan cara membuat perkalian antara luas baja tulangan dan tegangan lelehnya, yaitu sebagai berikut :

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.62)$$

c.) Luas tulangan longitudinal balok

Karena balok dalam keadaan seimbang, maka gaya tekan beton akan sama dengan gaya tarik baja tulangan, diperoleh luas tulangan balok ( $A_s$ ) sebagai berikut :

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \dots\dots\dots (2.63)$$

Momen nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_n = C_c \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } M_n = T_s \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.64)$$

Faktor momen pikul (  $K$  ) didefinisikan diperoleh hitungan / persamaan berikut :

$K \leq K_{\max} \rightarrow$  Balok Bertulangan Tunggal.

$K \geq K_{\max} \rightarrow$  Balok Bertulangan Rangkap.

$$K = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \text{ atau } K = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (2.65)$$

Tinggi balok tegangan tegangan beton tekanan persegi ekuivalen pada kuat nominal balok dapat dihitung dengan rumus :

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.K}{0,85.f'c}} \right) . d \dots\dots\dots (2.66)$$

Untuk regangan tekan beton  $\epsilon_c'$  dibatasi sampai batas retak  $\epsilon_{cu}'$  sebesar 0,003. Nilai regangan  $\epsilon_c'$  ( bukan  $\epsilon_{cu}'$  ) ini dapat ditentukan berdasarkan diagram distribusi regangan didapat rumus :

$$\epsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 . d - a} . \epsilon_y \dots\dots\dots (2.67)$$

Pada perencanaan / hitungan beton bertulang harus dipenuhi 2 syarat yaitu:

- a.) Momen rencana  $M_r$  harus  $\geq$  momen perlu  $M_u$  .
- b.) Regangan tekan beton  $\epsilon_c'$  harus  $\leq \epsilon_{cu}'$  ( 0,003 ) .

Untuk menghitung momen – momen rencana  $M_r$  dilaksanakan sebagai berikut :

- a.) Diperoleh tinggi balok tegangan tekan beton persegi ekuivalen sebagai berikut:

$$a = \frac{A_s . f_y}{0,85 . f'c . b} \dots\dots\dots (2.68)$$

- b.) Moment rencana dihitung dengan persamaan :

$$M_r = \phi . M_n , \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots (2.69)$$

2. Sistem perencanaan yang digunakan

Menurut peraturan beton Indonesia (SNI 2847-2013), sistem perencanaan beton bertulang dibatasi dengan 2 kondisi berikut :

Agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan  $\rho$  tidak terlalu kecil, diberikan syarat berikut ( Pasal 10.5 SNI 2847 – 2013 )

:

$$A_s \text{ harus } \geq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\text{min}} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)} \dots\dots\dots(2.70)$$

dengan :

$$A_{s,\text{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.fy} . b.d \text{ atau}$$

$$A_{s,\text{min}} = \frac{1,4}{fy} . b.d \text{ ( dipilih yang besar )} \dots\dots\dots (2.71)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.fy} \text{ atau } \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{fy} \text{ ( dipilih yang besar )} \dots\dots\dots(2.72)$$

Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang, diberikan syarat berikut ( Perancangan Struktur Beton Bertulang berdasarkan SNI 2847 – 2013 halaman 36) :

$$A_s \text{ harus } \leq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \leq \rho_{\text{min}} \text{ dengan } \rho = \frac{A_s}{(b.d)}$$

$$\text{dengan : } A_{s \text{ maks}} = 0,75 . A_{s,b} \text{ dan } \rho_{\text{maks}} = 0,75 . \rho_b \dots\dots\dots(2.73)$$

#### B. Tinjauan penampang beton pada keruntuhan seimbang

Keadaan seimbang akan terjadi jika nilai :

$$\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}' = 0,003 \text{ dan } \varepsilon_s = \varepsilon_y \text{ atau } \varepsilon_s = \frac{fy}{E_s} = \frac{fy}{200000}$$

Nilai  $c_b$  dapat dihitung dengan rumus :

$$c_b = \frac{600.d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.74)$$

Nilai  $a_b = \beta_1.c_b$ , maka diperoleh juga rumus :

$$a_b = \frac{600.\beta_1.d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.75)$$

Dalam keadaan seimbang nilai Tulangan dihitung dengan rumus :

$$A_{s,b} = \frac{0,85.f'c.a_b.b}{f_y} \dots\dots\dots (2.76)$$

Rasio tulangan balance :

$$\rho_b = \frac{510.\beta_1.f'c}{(600 + f_y).f_y} \dots\dots\dots (2.77)$$

Rasio tulangan maksimal dan minimal :

Penggunaan tulangan atau rasio tulangan pada sistem perencanaan beton

bertulang menurut SNI 2847 – 2013 dibatasi oleh :

$$A_{s,\min} \leq A_s \leq A_{s,\maks}, \text{ atau}$$

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{maks}$$

$$\rho_{maks} = 0,75.\rho_b = \frac{382,5.\beta_1.f'c}{(600 + f_y).f_y} \dots\dots\dots (2.78)$$

Untuk rasio tulangan minimal, diberi batasan sebagai berikut :

- Untuk mutu beton  $f'c \leq 31,36MPa$ , maka:

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.79)$$

- Untuk mutu beton  $f'c \geq 31,36MPa$ , maka :

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \cdot fy} \dots\dots\dots (2.80)$$

Untuk rasio tulangan perlu :

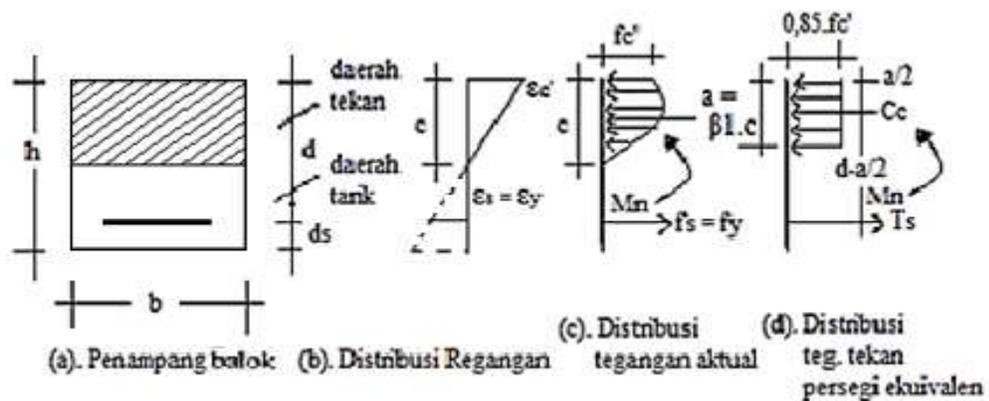
$$\rho = \frac{As}{b \cdot d} \dots\dots\dots (2.81)$$

Momen pikul maksimal (  $K_{maks}$  ) , dapat dicari dengan rumus :

$$K_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'c \cdot (600 + fy - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + fy)^2} \dots\dots\dots (2.82)$$

**2.6.3.1 Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Tunggal**

Balok dengan tulangan tunggal sering juga disebut dengan balok bertulangan sebelah atau balok dengan tulangan saja. Untuk keperluan hitungan balok persegi panjang dengan tulangan tunggal, berikut ini dilukiskan bentuk penampang balok yang dilengkapi dengan distribusi regangan dan tegangan beton serta notasinya, seperti pada Gambar berikut:



**Gambar 2.36** Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok

## Tulangan T tunggal

Keterangan notasi pada **Gambar 36** :

a : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen  $=\beta_1.c$  , mm.

$$a = \beta_1.c \dots\dots\dots (2.83)$$

$A_s$  : luas tulangan tarik, mm<sup>2</sup>.

b : lebar penampang balok, mm.

c : jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.

$C_c$  : resultan gaya tekan beton, N.

d : tinggi efektif penampang balok, mm.

$d_s$  : jarak antara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.

$f'c$  : tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa.

$E_s$  : modulus elastisitas baja tulangan, diambil sebesar 200.000 MPa.

$f_s$  : tegangan tarik baja tulangan  $= \varepsilon_s . E_s$  , dalam MPa.

$$f_s = \varepsilon_s . E_s \dots\dots\dots (2.84)$$

$f_y$  : tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, MPa.

h : tinggi penampang balok, mm.

$M_n$  : momen nominal aktual, Nmm.

$T_s$  : resultan gaya tarik baja tulangan, N.

$\beta_1$  : faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang bergantung pada mutu beton ( $f'c$ ) sebagai berikut (Perancangan Struktur Beton Bertulang SNI 2847 – 2013 halaman 35).

Untuk  $17 \text{ MPa} \leq f'c \leq 28 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85$

Untuk  $f'c > 28 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'c - 28)}{7}$

tetapi  $\beta_1 = 0,65$

$\varepsilon_c'$  : regangan tekan beton,

dengan  $\varepsilon_c'$  maksimal ( $\varepsilon_{cu}'$ ) = 0,003

$\varepsilon_s$  : regangan tarik baja tulangan.

$\varepsilon_s'$  : regangan tekan baja tulangan.

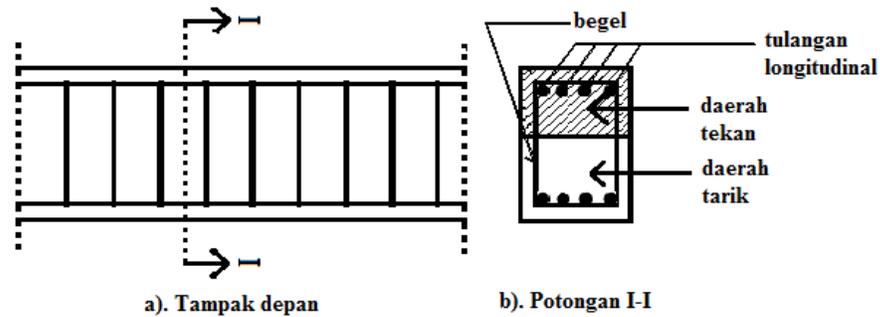
$$\varepsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{c} \cdot 0,003 \dots\dots\dots (2.85)$$

$\varepsilon_y$  : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \dots\dots\dots (2.86)$$

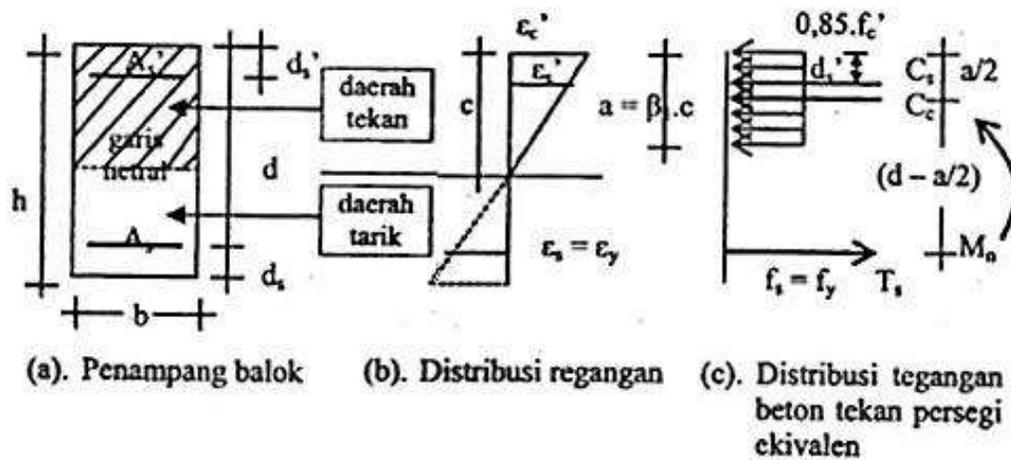
### 2.6.3.2 Balok Persegi Panjang dengan Tulangan Rangkap

Yang dimaksud dengan balok beton bertulangan rangkap ialah balok beton yang diberi tulangan pada penampang beton daerah tarik dan daerah tekan. Dengan dipasang tulangan pada daerah tarik dan tekan, maka balok akan lebih kuat dalam hal menerima beban yang berupa momen lentur.



Gambar 2.37 Letak Tulangan pada Balok

Distribusi Regangan dan tegangan pada balok dengan penampang beton bertulangan rangkap :



Gambar 2.38 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok

Tulangan Rangkap

Keterangan notasi pada Gambar 2.53 :

A : tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekivalen =  $\beta_1 \cdot c$  , mm.

$$a = \beta_1 \cdot c \dots \dots \dots (2.87)$$

A<sub>s</sub> : luas tulangan tarik, mm<sup>2</sup>.

- $A_s'$  : luas tulangan tekan, mm<sup>2</sup>.
- $b$  : lebar penampang balok, mm.
- $c$  : jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm.
- $C_c$  : resultan gaya tekan beton, N.
- $C_s$  : gaya tekan baja tulangan, N.
- $d$  : tinggi efektif penampang balok, mm.
- $d_s$  : jarak anatara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm.
- $d_s'$  : jarak antara titik berat tulangan tekan dan tepi serat beton tekan, mm.
- $E_s$  : modulus elastisitas baja tulangan, diambil sebesar 200.000 MPa.
- $f'c$  : tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa.
- $f_s$  : tegangan tarik baja tulangan =  $\varepsilon_s \cdot E_s$ , dalam MPa.
- $$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \dots\dots\dots (2.88)$$
- $f_s'$  : tegangan tekan baja tulangan =  $\varepsilon_s' \cdot E_s$ , dalam MPa.
- $f_y$  : tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, MPa.
- $h$  : tinggi penampang balok, mm.
- $M_n$  : momen nominal aktual, Nmm.
- $T_s$  : resultan gaya tarik baja tulangan, N.
- $\beta_1$  : faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang bergantung pada mutu beton (  $f'c$  ) sebagai berikut (Perancangan Struktur Beton Bertulang SNI 2847 – 2013 halaman 35).

Untuk  $17 \text{ MPa} \leq f'c \leq 28 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85$ ..... (2.89)

Untuk  $f'c > 28 \text{ Mpa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'c - 28)}{7}$  ..... (2.90)

tetapi  $\beta_1 = 0,65$ ..... (2.91)

$\epsilon_c'$  : regangan tekan beton,

dengan  $\epsilon_c'$  maksimal ( $\epsilon_{cu}'$ ) = 0,003 .....(2.92)

$\epsilon_s$  : regangan tarik baja tulangan.

$\epsilon_s'$  : regangan tekan baja tulangan.

$$\epsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{c} \cdot 0,003 \dots\dots\dots (2.93)$$

$\epsilon_y$  : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \dots\dots\dots (2.94)$$

Tegangan tekan baja tulangan  $f_s'$  dihitung dengan rumus :

$$f_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{a} \cdot 600 \dots\dots\dots (2.95)$$

dengan ketentuan  $f_s' \geq 0$

Jika  $f_s' \geq f_y$ , maka dipakai  $f_s' = f_y$

Tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen ( a ) pada balok

bertulangan rangkap dihitung dengan rumus :

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.96)$$

Nilai momen nominal :

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots (2.97)$$

$$M_{nc} = C_c \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.98)$$

$$M_{ns} = C_s \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_s = A_s' \cdot f_s' \dots\dots\dots (2.99)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots (2.100)$$

dengan :

$M_n$  = momen nominal aktual penampang balok, Nmm.

$M_{nc}$  = momen nominal yang dihasilkan oleh gaya tekan beton, Nmm.

$M_{ns}$  = momen nominal yang dihasilkan oleh gaya tekan tulangan, Nmm.

$M_r$  = momen rencana pada penampang balok, Nmm.

Untuk  $17 \text{ MPa} \leq f'c \leq 28 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 \dots\dots\dots (2.101)$

Untuk  $f'c > 28 \text{ Mpa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'c - 28)}{7} \dots\dots\dots (2.102)$

tetapi  $\beta_1 = 0,65 \dots\dots\dots (2.103)$

$\epsilon_c'$  : regangan tekan beton,

dengan  $\epsilon_c'$  maksimal ( $\epsilon_{cu}'$ ) = 0,003  $\dots\dots\dots (2.104)$

$\epsilon_s$  : regangan tarik baja tulangan.

$\epsilon_s'$  : regangan tekan baja tulangan.

$$\epsilon_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{c} \cdot 0,003 \dots\dots\dots (2.105)$$

$\varepsilon_y$  : regangan tarik baja tulangan pada saat leleh,

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{200000} \dots\dots\dots (2.106)$$

Tegangan tekan baja tulangan  $f_s'$  dihitung dengan rumus :

$$f_s' = \frac{a - \beta_1 \cdot d_s'}{a} \cdot 600 \dots\dots\dots (2.107)$$

dengan ketentuan  $f_s' \geq 0$

Jika  $f_s' \geq f_y$ , maka dipakai  $f_s' = f_y$

Tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (  $a$  ) pada balok

bertulangan rangkap dihitung dengan rumus :

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.108)$$

Nilai momen nominal :

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots (2.109)$$

$$M_{nc} = C_c \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2.110)$$

$$M_{ns} = C_s \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right), \text{ dengan } C_s = A_s' \cdot f_s' \dots\dots\dots (2.111)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n, \text{ dengan } \phi = 0,8 \dots\dots\dots (2.112)$$

dengan :

$M_n$  = momen nominal aktual penampang balok, Nmm.

$M_{nc}$  = momen nominal yang dihasilkan oleh gaya tekan beton, Nmm.

$M_{ns}$  = momen nominal yang dihasilkan oleh gaya tekan tulangan, Nmm.

$M_r$  = momen rencana pada penampang balok, Nmm.

Pada perencanaan beton bertulang, baja tulangan tarik dimanfaatkan kekuatannya sampai batas leleh, atau tegangan tulangan tarik ( $f_s$ ) besarnya sama dengan tegangan leleh baja tulangan ( $f_y$ ).

Untuk batas tulangan tarik leleh, dengan rumus – rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan :

$$c = \frac{0,003 \cdot d_d}{\frac{f_y}{200000} + 0,003} = \frac{600 \cdot d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.113)$$

Tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen :

$$a_{maks,leleh} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 + f_y} \dots\dots\dots (2.114)$$

Untuk tulangan tarik yang tidak lebih dari 2 baris, praktis diambil :

$$d_d = d \dots\dots\dots (2.115)$$

a). Untuk batas tulangan tekan leleh, dengan rumus – rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan :

$$c = \frac{0,003 \cdot d_d}{\frac{f_y}{200000} - 0,003} = \frac{600 \cdot d_d}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.116)$$

Tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekuivalen :

$$a_{\min \text{leleh}} = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_d}{600 - f_y} \dots\dots\dots (2.117)$$

Untuk tulangan tarik yang tidak lebih dari 2 baris, praktis diambil :

$$d_d = d_s' \dots\dots\dots (2.118)$$

b). Manfaat nilai  $a_{\max \text{leleh}}$  dan  $a_{\min \text{leleh}}$  pada hitungan beton bertulang

Nilai  $a_{\max \text{leleh}}$  dan  $a_{\min \text{leleh}}$  ini berguna untuk mengetahui kondisi tulangan tarik dan tulangan tekan pada suatu penampang balok beton, apakah semua tulangan tarik dan semua tulangan tekan sudah leleh atau belum.

Pada prinsip perencanaan balok beton bertulang, semua tulangan tarik diperhitungkan sudah leleh. Kondisi tulangan tarik sudah leleh atau belumnya dihitung dengan nilai  $a$  ( tinggi balok tegangan tekan beton persegi ekuivalen), kemudian dibandingkan dengan  $a_{\max}$  dan  $a_{\min}$  sehingga didapat kemungkinan – kemungkinan berikut :

Untuk  $a_{\max}$  :

- 1.) Jika nilai  $a \leq a_{\max \text{leleh}}$  , berarti semua tulangan tarik sudah leleh.
- 2.) Jika nilai  $a > a_{\max \text{leleh}}$  , berarti tulangan tarik pada baris paling dalam belum leleh, maka sebaiknya dimensi balok diperbesar.

Untuk  $a_{\min}$  :

- 1) Jika nilai  $a \geq a_{\min \text{leleh}}$  , berarti semua tulangan tekan sudah leleh.
- 2) Jika nilai  $a < a_{\min \text{leleh}}$  , berarti tulangan tekan pada baris paling dalam belum leleh, sehingga nilai tegangan tekan tulangan masih lebih kecil daripada tegangan lelehnya (  $f_s' < f_y$  ).

Untuk keadaan penampang balok beton bertulang tulangan tekan belum leleh, berarti regangan  $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ .

Nilai  $a$  ( tinggi balok tegangan tekan beton persegi ekuivalen ) :

$$a = \left( \sqrt{p^2 + q} \right) - p \dots\dots\dots (2.119)$$

dengan :

$$p = \frac{600.A_s' - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.120)$$

$$q = \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d_s' \cdot A_s'}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2.121)$$

### 2.6.3.3 Kuat Geser Balok

Kuat geser balok beton bertulang akan bertambah dengan dipasangnya tulangan geser. Sebelum terjadinya retak diagonal, tulangan geser hanya memiliki kontribusi yang kecil terhadap kuat geser beton. Namun setelah terbentuknya retak diagonal, tulangan geser memberikan kontribusi terhadap kuat geser beton, dan distribusi gaya internal terjadi pada daerah penampang yang retak. Bila jumlah tulangan geser kecil, maka kegagalan tang terjadi diakibatkan deoleh lelehnya tulangan geser. Sedangkan bila luas tulangan geser yang digunakan cukup besar, maka ada kemungkinan terjadinya kegagalan geser-tekan.

Beberapa rumus yang digunakan sebagai dasar untuk perhitungan tulangan geser / begel balok yang tercantum dalam pasal – pasal SNI 2847 – 2013 menurut Ali Asroni halaman 137, yaitu sebagai berikut :

- 1) Pasal 11.1.1 SNI 2847 – 2013 halaman 87, gaya geser rencana, gaya geser nominal, gaya geser yang ditahan oleh beton dan begel dirumuskan :

$$V_r = \phi.V_n \text{ dan } \phi.V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2.122)$$

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.123)$$

dengan :

$V_r$  : Gaya geser rencana, Kn

$V_n$  : Gaya geser nominal, kN

$V_c$  : Gaya geser yang ditahan oleh beton, kN

$V_s$  : Gaya geser yang ditahan oleh begel, kN

$\phi$  : Faktor reduksi geser = 0,75

- 2) Pasal 11.1.3.1 SNI 2847 – 2013, nilai  $V_u$  boleh diambil pada jarak  $d$  ( menjadi  $V_{ud}$  ) dari muka kolom, sebagai berikut :

$$V_{ud} = V_{ut} + \frac{x}{y} \cdot (V_u - V_{ut}) \dots\dots\dots (2.124)$$

- 3) Pasal 11.2.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser yang ditahan oleh beton ( $V_c$ ) dihitung dengan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.125)$$

- 4) Pasal 11.4.7.1 SNI 2847 – 2013, gaya geser yang ditahan oleh begel ( $V_s$ ) dihitung dengan rumus :

$$V_s = \frac{(V_u - \phi \cdot V_c)}{\phi} \dots\dots\dots (2.126)$$

5) Pasal 11.4.7.9 SNI 2847 – 2013

$$V_s \text{ harus } \leq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (2.127)$$

Jika  $V_s$  ternyata  $\geq \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$ , maka ukuran balok diperbesar.

6) Pasal 11.4.6.3. Bila tulangan geser yang disyaratkan oleh 11.4.6.1 atau untuk kekuatan dan bila 11.5.1 memperbolehkan torsi diabaikan, maka  $A_{vmin}$  untuk komponen struktur prategang (kecuali dengan komponen seperti yang diberikan dalam 11.4.6.4) dan non prategang harus dihitung dengan

$$A_{v,min} = 0,062 \sqrt{f'c} \frac{b \cdot S}{f_y} \dots\dots\dots (2.128)$$

Dengan S (panjang balok)=1000 mm

7) SNI 2847 – 2013, luas tulangan geser per meter panjang balok yang diperlukan ( $A_{v,u}$ ) dihitung dengan memilih nilai terbesar dari rumus berikut:

a. Pasal 11.4.7.2

$$A_{v,u} = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} \dots\dots\dots (2.129)$$

dengan S ( Panjang Balok ) = 1000 mm

b. Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.130)$$

dengan S ( Panjang Balok ) = 1000 mm

c. Pasal 11.4.6.3

$$A_{v,u} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.131)$$

dengan S ( Panjang Balok ) = 1000 mm

8) Spasi begel ( s ) dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{a.) Spasi begel } s = \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot dp^2 \cdot S}{A_{v,u}} \dots\dots\dots (2.132)$$

b.) Pasal 11.4.5.1 untuk  $V_s < \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$  , maka

$$s \leq \frac{d}{2} \text{ dan } s \leq 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.133)$$

c.) Pasal 11.4.5.3 untuk  $V_s > \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$  , maka

$$s \leq \frac{d}{4} \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.134)$$

dengan :

n : jumlah kaki begel ( 2,3 atau 4 kaki )

dp : diameter begel dari tulangan polos, mm

### C. Momen puntir ( Torsi)

Menurut Ali Asroni Balok dan Pelat Beton Bertulang alaman162, Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok atau elemen struktur. Torsi dapat terjadi karena adanya beban eksentrik yang bekerja pada balok tersebut. Menurut pasal 13.6.1 SNI 2847 – 2013, Pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor  $T_u$  memenuhi syarat berikut:

$$T_u \leq \frac{\phi \cdot \sqrt{f'c}}{12} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \text{ dengan } \phi = 0,75 \dots\dots\dots (2.135)$$

Keterangan :  $A_{cp}$  : luas penampang brutto  
 $P_{cp}$  : keliling penampang brutto

1. Kecukupan penampang:

a. Penampang solid

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b.d}\right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7Aoh^2}\right)^2} \geq \phi \left[ \left(\frac{Vc}{b.d}\right) + 0,66\sqrt{f'c} \right] \dots\dots\dots (2.136)$$

b. Penampang berongga

$$\left(\frac{Vu}{b.d}\right) + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7Aoh^2}\right) \geq \phi \left[ \left(\frac{Vc}{b.d}\right) + 0,66\sqrt{f'c} \right] \dots\dots\dots (2.137)$$

$$x_o = b - 2 \left(p + \frac{\phi}{2}\right) \dots\dots\dots (2.138)$$

$$y_o = h - 2 \left(p + \frac{\phi}{2}\right) \dots\dots\dots (2.139)$$

$$A_{oh} = x_o \cdot y_o \dots\dots\dots (2.140)$$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} \dots\dots\dots (2.141)$$

$$Ph = 2 (x_o + y_o) \dots\dots\dots (2.142)$$

1. Kebutuhan tulangan sengkang:

$$\frac{Avt}{s} = \frac{Tn}{2.Ao.fys.cot \theta} \dots\dots\dots (2.143)$$

$$Tn = \frac{Tu}{\phi} \dots\dots\dots (2.144)$$

$$Avt = \frac{Tn}{2.Ao.fys.cot \theta} \cdot S \dots\dots\dots (2.145)$$

$$Avs = \left( n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot S \right) s \dots\dots\dots (2.146)$$

Keterangan:

$A_{vt}$  = luas tulangan torsi (sengkang) per meter ( $\text{mm}^2$ )

$S$  = bentang balok yang dipasang sengkang torsi (1000 mm)

$\theta$  = sudut retak  $45^\circ$  untuk non-prategang.

Kontrol luas begel geser dan torsi ( $A_{vt} + A_{vs}$ )

$$(A_{vt} + A_{vs}) > \frac{75\sqrt{f'c}.b.S}{1200.f_y} \dots\dots\dots(2.147)$$

$$(A_{vt} + A_{vs}) > \frac{b.S}{3.f_y} \dots\dots\dots(2.148)$$

Jarak begel torsi:

$$s = \frac{\left( \frac{n \cdot \pi \cdot d^2 \cdot S}{4} \right)}{A_{vs} + A_{vt}} \dots\dots\dots(2.149)$$

$$s = \frac{Ph}{8} \dots\dots\dots(2.150)$$

Tulangan Memanjang:

$$A_t = \frac{A_{vt}}{s} \cdot Ph \cdot \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 \theta \dots\dots\dots(2.151)$$

Kontrol luas tulangan memanjang :  $A_t + A_{st}$

$$\frac{5 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_{cp}}{12 \cdot f_y} - \frac{A_{vt}}{s} \cdot Ph \cdot \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \dots\dots\dots(2.152)$$

$$(A_t + A_{st}) > \frac{5 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_{cp}}{12 \cdot f_y} - \frac{A_{vt}}{s} \cdot Ph \cdot \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \dots\dots\dots(2.153)$$

Keterangan:

$A_t$  = luas tulangan longitudinal torsi ( $\text{mm}^2$ ).

$Ph$  = keliling daerah yang dibatasi oleh sengkang tertutup (mm).

#### 2.6.4 Kolom

Pada suatu konstruksi bangunan gedung, kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat, untuk diteruskan ke tanah dasar melalui fondasi. Beban dari balok dan pelat ini berupa beban aksial tekan serta momen lentur.

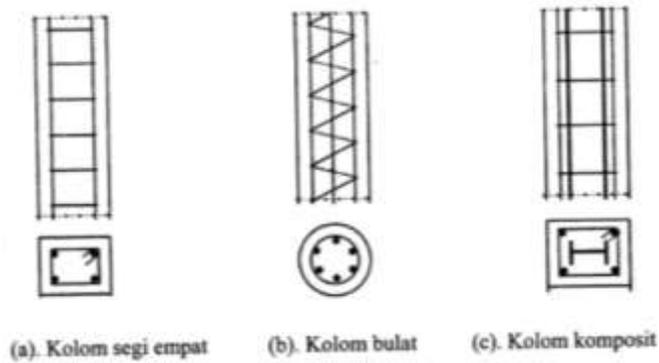
Kolom merupakan komponen struktur yang sangat penting untuk diperhatikan . Karena apabila kolom mengalami kegagalan maka dapat berakibat keruntuhan struktur bangunan dari gedung secara keseluruhan.

##### 2.6.4.1 Jenis Kolom

Kolom dibedakan beberapa jenis menurut bentuk dan susunan tulangannya, serta posisi beban aksial pada penampang kolom. Disamping juga dibedakan menurut panjang pendeknya kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya.

Bentuk kolom ada bermacam-macam seperti segi empat, bulat ataupun komposit. Ada beberapa jenis kolom, yaitu :

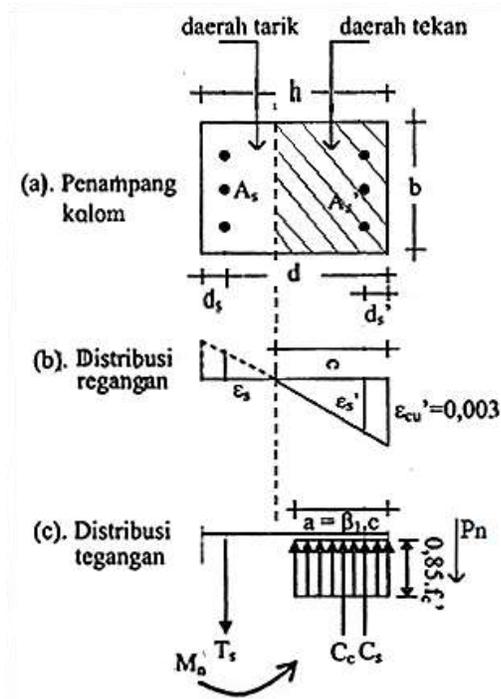
- a. Kolom segi empat, baik berbentuk empat persegi panjang maupun bujur sangkar dengan tulangan memanjang dan sengkang.
- b. Kolom bulat dengan tulangan memanjang dan sengkang atau spiral.
- c. Kolom komposit, yaitu kolom yang terdiri atas beton dan profil baja struktural yang berada di dalam beton.



Gambar 2.39 Jenis kolom berdasarkan bentuk dan tulangnya

2.6.4.2 Asumsi Dasar Perencanaan Kolom

Sama halnya dengan balok, pada perencanaan kolom juga digunakan asumsi dasar sebagai berikut:



(Sumber : Ali Asroni, Kolom pondasi dan balok T Beton Bertulang halaman 6)

Gambar 2.40 Distribusi regangan dan tegangan dan gaya-gaya pada kolom.

- 1) Pasal 12.2.2 SNI 03-2847-2002: Distribusi regangan di sepanjang tebal kolom dianggap berupa garis lurus (*linear*), seperti tertulis pada Gambar 2.40 (b).
- 2) Pasal 12.2.2 SNI 03-2847-2002: Tidak terjadi slip antara beton dan tulangan.
- 3) Pasal 12.2.3 SNI 03-2847-2002: Regangan tekan maksimal beton dibatasi pada kondisi ultimit  $\epsilon_{cu}' = 0,003$  (Lihat Gambar 2.40).
- 4) Pasal 12.2.4 SNI 03-2847-2002: Tegangan baja tulangan tarik maupun tekan ( $f_s$  maupun  $f_s'$ ) yang belum mencapai leleh ( $< f_y$ ) dihitung sebesar modulus elastisitas baja tulangan ( $E_s$ ) dikalikan dengan regangannya ( $\epsilon_s$  maupun  $\epsilon_s'$ ).
- 5) Pasal 12.2.5 SNI 03-2847-2002: Kekuatan tarik beton diabaikan.
- 6) Pasal 12.2.7 SNI 03-2847-2002: Bila hubungan antara distribusi tegangan dan regangan beton diasumsikan berbentuk tegangan persegi ekuivalen, maka dipakai nilai tegangan beton sebesar  $0,85 \cdot f_c'$  yang terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen (lihat Gambar 2.40 (c) yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar garis netral sejarak  $a = \beta_1 \cdot c$  dari serat tekan maksimal.
- 7) Pasal 12.2.7.3 SNI 03-2847-2002: Faktor  $\beta_1$  diambil sebagai berikut :
  - a). Untuk  $17 \text{ MPa} \leq f_c' \leq 28 \text{ MPa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85$
  - b).  $f_c' > 28 \text{ Mpa}$ , maka  $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f_c' - 28)}{7}$

tetapi  $\beta_1 = 0,65$

### 2.6.4.3 Ketentuan Perencanaan

Beberapa ketentuan yang penting untuk diperhatikan dalam perencanaan kolom meliputi hal-hal berikut :

- 1) Luas tulangan total ( $A_{st}$ )

Menurut Pasal 12.9.1 SNI 03-2847-2002, luas total ( $A_{st}$ ) tulangan longitudinal (tulangan memanjang) kolom harus memenuhi syarat berikut :

$$0,01.A_g \leq A_{st} \leq 0,08.A_g$$

Dengan :  $A_{st}$  = Luas total tulangan memanjang,  $\text{mm}^2$

$$A_g = \text{Luas bruto penampang kolom, } \text{mm}^2$$

- 2) Diameter tulangan geser (begel atau sengkang)

Diameter begel kolom ( $\phi_{\text{begel}}$ ) disyaratkan :

$$10 \text{ mm} \leq \phi_{\text{begel}} \leq 16 \text{ mm}$$

- 3) Gaya tarik dan gaya tekan pada penampang kolom

Kolom yang sering dijumpai/digunakan pada bangunan gedung yaitu kolom dengan penampang segi empat seperti telah dilukiskan pada Gambar 2.40 diatas.

Jika kolom menahan beban eksentris  $P_n$ , maka pada penampang kolom bagian bawah menahan beban tarik yang akan ditahan oleh baja tulangan, sedangkan bagian atas pada gambar menahan beban tekan yang akan ditahan oleh beton dan baja tulangan.

Gaya tarik bagian bawah ditahan oleh tulangan, sebesar :

$$T_s = A_s.f_s$$

Gaya tekan yang ditahan beton bagian atas, sebesar :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

Sedangkan gaya tekan yang ditahan oleh tulangan atas ( $C_s$ ), yaitu :

a). Jika luas beton tekan diperhitungkan, maka

$$C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c')$$

b). Jika luas beton tekan diabaikan, maka

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

Biasanya kebanyakan pada perencanaan memakai rumus yang luas tulangan beton tekan diabaikan.

Selanjutnya dengan memperhatikan keseimbangan gaya vertikal pada Gambar 2.40 (c), diperoleh gaya aksial sebagai berikut :

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

4) Nilai regangan dan tegangan baja tulangan

Besar regangan baja tulangan dapat ditentukan berdasarkan perbandingan 2 segitiga yang sebangun pada Gambar 2.40 (b).

Untuk regangan tarik baja tulangan bagian bawah, dihitung sebagai berikut :

$$\frac{\varepsilon_s}{d - c} = \frac{\varepsilon_c'}{c} \text{ sehingga diperoleh}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot \varepsilon_c'$$

Untuk regangan tekan baja tulangan bagian atas, dihitung sebagai berikut :

$$\frac{\varepsilon_s'}{c - ds'} = \frac{\varepsilon_c'}{c} \text{ sehingga diperoleh}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{c - ds'}{c} \cdot \varepsilon_c'$$

Untuk baja tulangan (tarik maupun tekan) yang sudah leleh, maka nilai regangannya diberi notasi dengan:  $\varepsilon_y$ , dan dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

Dengan:  $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Selanjutnya tegangan baja tulangan tarik dan tekan dihitung sebagai berikut :

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \text{ dan } f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s$$

Jika  $\varepsilon_s$  (atau  $\varepsilon_s'$ )  $\geq \varepsilon_y$ , maka tulangan sudah leleh, dipakai:

$$f_s \text{ (atau } f_s') = f_y$$

#### 5) Kolom dengan beban aksial tekan kecil

Pasal 11.3.2.2 SNI 03-2847-2002 mensinyalir, bahwa untuk komponen struktur yang memakai  $f_y \leq 400 \text{ MPa}$  dengan tulangan simetris dan dengan  $(h-d_s-d_s')/h \geq 0,7$  boleh dianggap hanya menahan momen lentur saja apabila nilai  $\phi \cdot P_n$  kurang dari  $0,10 \cdot f_c' \cdot A_g$ , sedangkan untuk kolom yang lain ( $f_y > 400 \text{ MPa}$ ,  $(h-d_s-d_s')/h < 0,7$ ), boleh dianggap hanya menahan momen lentur saja apabila nilai  $\phi \cdot P_n$  kurang dari nilai terkecil dari nilai  $0,10 \cdot f_c' \cdot A_g$  dan  $\phi \cdot P_{n,b}$  (dengan  $\phi=0,65$  untuk kolom dengan tulangan sengkang, dan  $\phi = 0,70$  untuk kolom dengan tulangan spiral).

Jika menurut pasal tersebut dapat dikatakan, bahwa untuk semua kolom dengan beban kurang dari " $\phi \cdot P_n$  kecil" (kurang dari nilai terkecil antara nilai  $0,10 \cdot f_c' \cdot A_g$

atau  $\phi \cdot P_{n,b}$ ), nilai  $\phi$  dapat ditingkatkan menjadi  $\phi = 0,80$  (hanya menahan momen lentur saja).

Jika diambil nilai " $\phi \cdot P_n$  kecil" =  $P_{u\phi}$ , maka:

$P_{u\phi}$  diambil nilai terkecil dari nilai  $0,10 \cdot f_c' \cdot A_g$  atau  $\phi \cdot P_{n,b}$

Untuk kolom dengan tulangan sengkang berlaku ketentuan berikut:

- a). Jika beban  $P_u$  ( $P_u = \phi \cdot P_n$ )  $\geq P_{u\phi}$ , maka nilai  $\phi = 0,65$
- b). Jika beban  $P_u$  ( $P_u = \phi \cdot P_n$ )  $< P_{u\phi}$ ,

$$\text{maka nilai } \phi = 0,80 - \frac{0,10 \cdot P_u'}{P_{u\phi}}$$

dengan:

$P_u$  = Gaya aksial perlu atau gaya aksial tekan terfaktor, Kn.

$P_{u\phi}$  = Gaya aksial tekan terfaktor pada batas nilai  $\phi$  yang sesuai, Kn.

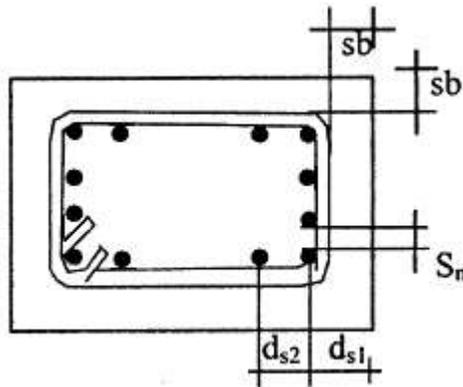
$P_{n,b}$  = Gaya aksial nominal pada kondisi regangan penampang seimbang (*balance*), kN.

$\phi$  = Faktor reduksi kekuatan.

$A_g$  = Luas bruto penampang kolom, mm<sup>2</sup>.

#### 6) Penempatan tulangan kolom

Tulangan kolom ditempatkan/diatur seperti pada Gambar 2.41.



(Sumber : Ali Asroni, Kolom pondasi dan balok T Beton Bertulang halaman 10)

**Gambar 2.41** Contoh Penempatan Tulangan Kolom

Keterangan Notasi :

sb = Lapis lindung beton (Pasal 9.7.1)

= 50 mm, jika berhubungan dengan tanah atau cuaca dan  $D \geq 19$  mm

= 40 mm, jika tidak berhubungan dengan tanah atau cuaca atau  $D < 19$  mm

$S_n$  = Jarak bersih antar tulangan (pasal 9.6.3)  $\geq 1,5 D$  ( $D$ =diameter tulangan)  $\geq$  40 mm.

$d_{s1}$  =  $sb + \phi_{\text{begel}} + D/2$

$d_{s2}$  =  $S_n + D$

1) Jumlah Tulangan longitudinal dalam satu baris

Jumlah tulangan longitudinal maksimal perbaris dirumuskan sebagai berikut :

$$m = \frac{b - 2.d_{s1}}{D + S_n} = 1$$

dengan :

$m$  = jumlah tulangan longitudinal perbaris (dibulatkan ke bawah, jika angka desimal  $> 0,81$  dapat dibulatkan ke atas)

$b$  = lebar penampang kolom, mm.

$d_{s1}$  = jarak *decking* pertama, sebesar tebal lapis lindung beton +  $\phi_{\text{begel}}$  +  $D/2$ , mm.

$S_n$  = jarak bersih antar tulangan menurut Gambar 2.56, mm.

$D$  = diameter tulangan longitudinal (tulangan memanjang), mm.

#### 2.6.4.4 Penampang Kolom Pendek pada Kondisi Beban Sentris

Pada penampang kolom dengan kondisi beban sentris, berarti beban tersebut tetap bekerja pada sumbu ( $as$ ) longitudinal kolom, sehingga beton maupun baja tulangan (semuanya) menahan beban tekan.

Kekuatan penampang kolom dengan beban sentris ditentukan dengan menganggap bahwa semua baja tulangan ( $A_1$  dan  $A_2$ ) sudah mencapai leleh, jadi tegangan baja tulangan  $f_s = f_s' = f_y$ . Di samping itu, regangan tekan beton sudah mencapai batas maksimal, yaitu  $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}' = 0,003$ .

Pada kondisi beban sentris ( $P_o$ ) ini dapat dianalisis seperti berikut :

$$A_g = b \cdot h = \text{luas bruto penampang kolom, mm}^2.$$

$$A_{st} = A_1 + A_2 = \text{luas total baja tulangan, mm}^2.$$

$$A_n = \text{luas bersih (netto) beton} = A_g - A_{st}, \text{ mm}^2.$$

$$\text{Gaya tekan beton: } C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_n$$

$$\text{Gaya tekan tulangan: } C_1 = A_1 \cdot f_y ; C_2 = A_2 \cdot f_y$$

dengan mempertimbangkan kesetimbangan gaya vertikal harus nol, maka diperoleh:

*Perencanaan Pembangunan Rumah Kost Putri di Cilolohan Kota Tasikmalaya*

$$P_o = C_c + C_1 + C_2$$

Maka, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$P_o = 0,85.f_c'.(A_g - A_{st}) + A_{st}.f_y$$

Pada kenyataannya, beban yang benar-benar sentris itu jarang sekali dijumpai, dan dianggap tidak ada. Pada pasal 12.3.5 SNI 03-2847-2002 diberi batasan kuat tekan nominal maksimal sebesar 80% dari beban sentris untuk kolom dengan tulangan sengkang, atau 85% dari beban sentris untuk kolom dengan tulangan spiral.

Dengan demikian diperoleh rumus sebagai berikut:

$$P_{n \text{ maks}} = 0,80.P_o \text{ (kolom dengan tulangan sengkang)}$$

$$P_{n \text{ maks}} = 0,85.P_o \text{ (kolom dengan tulangan spiral)}$$

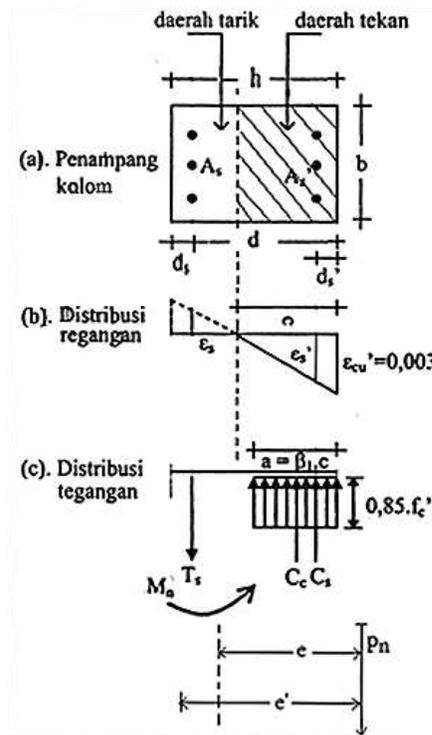
Kuat rencana dihitung dengan memasukkan faktor reduksi kekuatan  $\phi$  pada kuat nominalnya. Dan dapat dihitung kuat rencana pada penampang kolom beban sentris dengan persamaan berikut:

$$\phi.P_{n \text{ maks}} = 0,80. \phi.P_o \text{ (kolom dengan tulangan sengkang)}$$

$$\phi.P_{n \text{ maks}} = 0,85. \phi.P_o \text{ (kolom dengan tulangan spiral)}$$

#### **2.6.4.5 Penampang Kolom pada Kondisi Beban Eksentris: Aksial dan Lentur**

Prinsip-prinsip pada balok mengenai distribusi tegangan segiempat ekuivalennya dapat diterapkan juga pada kolom. Pada Gambar 2.35 memperlihatkan penampang melintang suatu kolom segi empat tipikal dengan diagram distribusi regangan, tegangan dan gaya padanya.



(Sumber : Ali Asroni, Kolom pondasi dan balok T Beton Bertulang)

**Gambar 2.42** Distribusi Regangan Tegangan dan gaya-gaya pada kolom.

Regangan:	Tegangan:	Gaya dalam:
$\epsilon_s = 0,003 \frac{d-c}{c}$	$f_s = E_s \cdot \epsilon_s \leq f_y$	$C_c = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a$
$\epsilon_{s'} = 0,003 \frac{c-d'}{c}$	$f_{s'} = E_s \cdot \epsilon_{s'} \leq f_y$	$C_s = A'_s \cdot f'_{s'}$
		$T_s = A_s \cdot f_s$

Eksentrisitas:

$$e = \frac{Mu}{Pu} \dots\dots\dots (2.154)$$

Gaya tahan aksial  $P_n$  dalam keadaan runtuh:

$$P_n = C_c + C_s - T_s \dots\dots\dots (2.155)$$

$$P_n = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.157)$$

Momen tahanan nominal

$$M_n = P_n \cdot e = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (2.158)$$

- Dimana:
- $c$  = jarak sumbu netral, mm.
  - $h$  = tinggi kolom, mm.
  - $e$  = eksentrisitas beban ke pusat plastis
  - $e'$  = eksentrisitas beban ke tulangan tarik
  - $d'$  = selimut efektif tulangan tekan, mm.
  - $M_u$  = Momen berfaktor, Nmm.
  - $P_u$  = Gaya aksial berfaktor

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

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

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:

- $P_n < P_{nb}$  keruntuhan tarik
- $P_n = P_{nb}$  keruntuhan *balanced*
- $P_n > P_{nb}$  keruntuhan tekan

### 1) Keruntuhan Tekan

Jika beban  $P_n$  pada kondisi sentris digeser ke kanan, maka pada penampang kolom sebelah kiri mulai menahan beban tarik relatif kecil (sehingga baja tulangan tarik belum leleh), sedangkan penampang kolom sebelah kanan tetap menahan beban tekan yang cukup besar (sehingga dapat menimbulkan retak beton tekan). Kekuatan penampang kolom pada kondisi ini bergantung pada kekuatan tekan beton, sehingga disebut keruntuhan tekan pada kolom.

Pada penampang kolom dengan kondisi beban tekan menentukan ini, regangan tekan beton telah mencapai batas ultimit ( $\epsilon_{cu}' = 0,003$ ), tulangan tekan  $A_s'$  telah mencapai leleh ( $f_s' = f_y$ ), tetapi tulangan tarik  $A_s$  belum leleh ( $\epsilon_s < \epsilon_y$  atau  $f_s < f_y$ ).

Karena kolom menahan beban eksentris, maka kolom akan menahan beban aksial dan momen lentur. Beban aksial yang ditahan oleh kolom dapat dihitung berdasarkan Gambar 2.42 (c), yaitu dengan cara menjumlahkan beban vertikal = 0, sedangkan untuk momen lentur dihitung dari beban-beban  $T_s$ ,  $C_c$  dan  $C_s$  pada Gambar 2.42 (c) dikalikan dengan jarak masing-masing beban ke sumbu kolom.

Jarak  $c$  (yaitu jarak antara garis netral dan batas tepi beton tekan) pada penampang kolom dengan kondisi keruntuhan tekan adalah relatif besar. Jadi dapat dikatakan, bahwa pada penampang kolom dengan kondisi keruntuhan tekan berlaku syarat berikut :  $c > c_b$

**2) Keruntuhan Seimbang (*Balanced*)**

Pada penampang kolom dengan kondisi seimbang, maka tulangan tarik mencapai leleh ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ ) bersamaan dengan regangan beton tekan mencapai batas retak atau batas ultimit ( $\epsilon_c' = \epsilon_{cu}' = 0,003$ ). Pada kondisi ini diperoleh jarak antara garis netral dan tepi beton tekan =  $c_b$ .

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \dots\dots\dots (2.159)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = \frac{600}{600 + f_y} \beta_1 d \dots\dots\dots (2.160)$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_y - A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.161)$$

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

Dimana  $f'_s = 0,003 \text{ Es} \frac{C_b - d'}{C_b} \leq f_y \dots\dots\dots (2.162)$

**1) Keruntuhan Tarik pada Kolom Segiempat**

Jika beban aksial  $P_n$  telah berada pada kondisi penampang seimbang, kemudian beban tersebut terus digeser ke kanan, maka luas penampang beton tekan semakin kecil, sehingga regangan tekan beton juga semakin kecil ( $\epsilon_c' < 0,003$ ) dan nilai  $c$  ikut semakin kecil pula, yaitu :  $c < c_b$

Sebaliknya, luas penampang beton tarik akan berubah semakin besar sehingga regangan tulangan tarik melebihi batas leleh. Dengan demikian, kekuatan penampang kolom pada kondisi ini ditentukan oleh kuat leleh tulangan tarik, sehingga disebut keruntuhan tarik pada kolom.

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

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \dots\dots\dots (2.163)$$

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

atau

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c b \cdot a \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \left( d - \frac{h}{2} \right) \dots\dots\dots (2.164)$$

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

$$P_n = 0,85 f'_c b \left[ \left( \frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left( \frac{h}{2} - e \right)^2 + \frac{2A_s f_y (d - d')}{0,85 f'_c b}} \right] \dots\dots\dots (2.165)$$

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

$$P_n = 0,85 f'_c b d \left[ \frac{h - 2e}{2d} + \sqrt{\left( \frac{h - 2e}{2d} \right)^2 + 2m\rho \left( 1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \dots\dots\dots (2.166)$$

**2.6.4.6 Kuat Geser Kolom**

Berikut gambaran untuk penjelasan letak tulangan memanjang maupun tulangan geser (senggang) pada kolom:

Menurut SNI-1726-2012, 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.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H} \dots\dots\dots (2.167)$$

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:

$$\phi V_n \geq V_n + V_c \dots\dots\dots (2.168)$$

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

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.169)$$

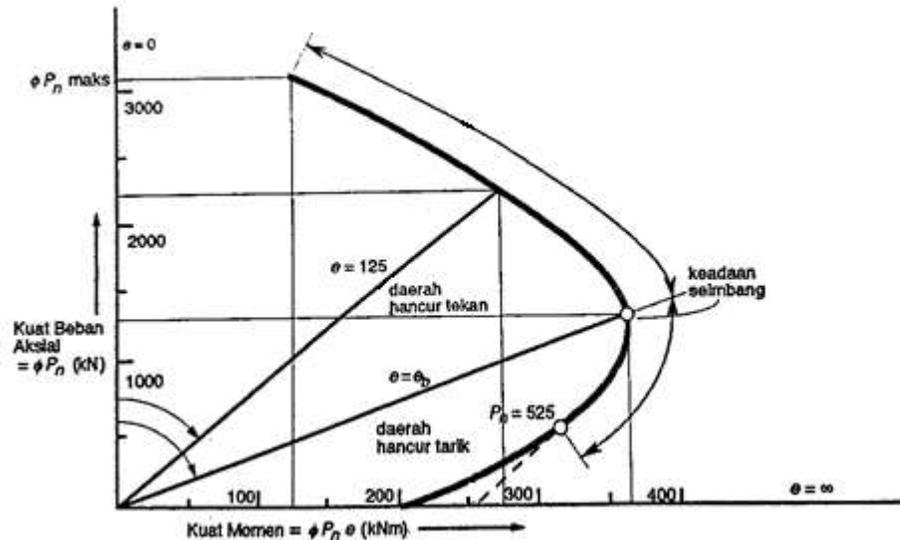
Pada daerah sepanjang sendi plastis (sepanjang  $\lambda_o$ ), SNI-2847-2013 pasal 21.3.5.6 halaman 183, mensyaratkan untuk tetap meninjau  $V_c$  selama gaya tekan aksial termasuk akibat pengaruh gempa melebihi  $A_g f'_c / 10$ . Dalam hal ini sangat jarang gaya aksial kolom kurang dari  $A_g f'_c / 10$ . 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.

#### 2.6.4.7 Diagram Interaksi Kolom

Beban yang terjadi pada kolom, biasanya berupa kombinasi antara beban aksial dan momen lentur. Besar beban aksial dan momen lentur yang mampu ditahan oleh kolom bergantung pada ukuran/dimensi kolom, dan jumlah serta letak baja tulangan yang ada/terpasang pada kolom tersebut Menurut kolom pondasi dan balok T beton bertulang menurut Ali Asroni berdasarkan SNI 2847-2013 halaman 17).

Di dalam gambar tersebut, semua kuat beban aksial diungkapkan sebagai  $\phi P_n$  pada sumbu tegak dan kuat momen diungkapkan sebagai  $\phi M_n$  pada sumbu datar. Setiap titik yang berada pada garis penuh memberikan pasangan beban dan momen yang diijinkan. Untuk titik-titik yang berada di daerah sebelah dalam juga memberikan pasangan beban dan momen ijin, akan tetapi dengan menggunakannya berarti perencanaan kolom akan berlenihan (*overdesigned*). Sebaliknya dengan menggunakan titik-titik yang berada di daerah luar diagram akan di dapat pasangan

beban dan momen yang menghasilkan penulangan kurang (*underdesigned*) menurut Istimawan Dipohusodo (1993) halaman 311.



**Gambar 2.43** Diagram interaksi kolom dengan beban aksial dan momen lentur

### 2.6.5 Dinding Geser ( *Shear Wall* )

Menurut pasal 23.1 SNI 2847-2002 Bangunan tinggi tahan gempa umumnya menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut.

Dinding geser ini terdapat berbagai jenis di dalam gedung antara lain bearing wall, frame wall, dan core wall."engertian shear wall dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Bearing wall

Bearing wall adalah jenis dinding geser yang mempunyai fungsi lain sebagai penahan beban gravitasi.

## 2. Frame wall

frame wall adalah dinding geser yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral, geser dan pengaku pada sisi luar bangunan. Dinding ini terletak di antara dua kolom struktur.

## 3. Core wall

Core wall adalah jenis dinding geser yang terletak di pusat-pusat massa bangunan yang berfungsi sebagai pengaku bangunan gedung. Biasanya core wall diletakkan pada lubang lift yang berfungsi sebagai dinding lift sekaligus.

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.9.9.3 Spasi tulangan geser horisontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari  $l_w/5$ ,  $3h$ , dan 450 mm, dimana  $l_w$  adalah panjang keseluruhan dinding.

Dasar perhitungan untuk dinding geser menggunakan pendekatan yang sama dengan teori untuk perhitungan kolom.

### 2.6.6 Pondasi

Menurut SNI 2847 : 2013 Pasal 21.12.1.1 Pondasi merupakan pondasi yang menahan gaya yang ditimbulkan gempa atau menyalurkan gaya yang ditimbulkan gempa antara struktur dan tanah pada struktur yang ditetapkan. Istilah Pondasi pada teknik sipil didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah.

Proses desain struktur pondasi memerlukan analisis yang cukup lengkap, meliputi kondisi jenis struktur atas, beban-beban yang bekerja pada struktur, profil dari lapisan tanah tempat bangunan/ struktur tersebut berada, serta kemungkinan terjadinya

penurunan (*settlement*), Hasil desain struktur pondasi yang optimal dapat menghasilkan biaya konstruksi yang minimal tanpa mengurangi tingkat keamanan dan kinerja dari struktur tersebut.

Proses desain suatu struktur pondasi adalah meliputi proses pengambilan keputusan mengenai pemilihan jenis pondasi, letaknya pada tanah, penentuan ukuran atau dimensi pondasi tersebut hingga penentuan bagaimana pelaksanaan konstruksinya. Pada umumnya terdapat beberapa langkah yang perlu diambil pada suatu proses desain struktur pondasi yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### **2.6.6.1 Penentuan Beban Rencana**

Beban yang harus dipikul oleh struktur pondasi pada umumnya adalah dari hasil analisis struktur atas yang telah terlebih dahulu dilakukan. Beban- beban yang bekerja pada suatu struktur dapat berupa berat sendiri struktur (beban mati), penggunaan atau fungsi dari struktur (beban hidup), juga tidak menutup kemungkinan adanya beban-beban lain seperti beban gempa, angin, tekanan tanah.

Beban mati pada dasarnya timbul akibat berat dari material-material yang membentuk struktur atau bangunan dan bekerja secara permanen selama umur bangunan tersebut. Sedangkan beban hidup timbul akibat orang maupun peralatan sebagai akibat dari fungsi atau kegunaan bangunan.

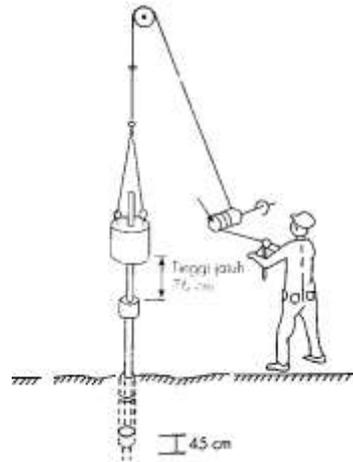
---

### 2.6.6.2 Penyelidikan Tanah

Salah satu parameter penting dalam proses perencanaan suatu elemen pondasi adalah daya dukung tanah, serta lokasi kedalaman tanah keras. Dengan diketahuinya besar daya dukung tanah maka dapat dihitung besarnya kapasitas pondasi yang akan dipilih. Sedangkan letak kedalaman tanah keras memegang peranan penting akan pemilihan jenis pondasi, apakah menggunakan pondasi dangkal (*shallow foundation*) atau menggunakan pondasi dalam (*deep foundation*).

Salah satu jenis penyelidikan tanah dilapangan yang sering digunakan adalah *standard penetration test* (SPT). Hasil dari uji SPT adalah berupa nilai  $N_{SPT}$  yang dapat memberikan indikasi kekakuan tanah dan dapat dihubungkan dengan rumus-rumus empiris untuk memperoleh data sifat mekanik tanah.

Uji SPT dilakukan pada suatu lobang bor , pada ujung dasar alat terdapat tabung sampel yang didorong masuk ke dalam lapisan tanah yang diinginkan dengan memanfaatkan energi jatuh dari sebuah palu berat 68 kg. Palu tersebut dijatuhkan dari ketinggian sekitar 76 cm. Pengamat menghitung jumlah pukulan yang diperlukan untuk memasukan tabung sedalam 3 x 150 mm. Jumlah pukulan pada 150 mm pertama umumnya diabaikan, nilai  $N_{SPT}$  diperoleh dari jumlah pukulan pada 150mm - 450mm. Selanjutnya contoh tanah yang diperoleh pada tabung sampel dianalisis lebih lanjut di laboratorium.



Gambar 2.44 Pelaksanaan Uji SPT

**2.6.6.3 Perencanaan Bored Pile**

1. Daya dukung izin adalah beban maksimum yang diijinkan bekerja pada tanah di atas pondasi. Persamaan dari daya dukung izin adalah:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{ult}}{SF} \dots\dots\dots (2.170)$$

$\bar{\sigma}$  = Daya dukung izin Kg/m<sup>2</sup>.

$\sigma_{ult}$  = Daya dukung terfaktor atau tekanan maksimum pada batas runtuh Kg/m<sup>2</sup>.

SF = Faktor aman, 3 untuk beban normal, 2 untuk beban darurat.

2. Perencanaan Tiang

- a. Kapasitas Ultimit tiang

Analisis daya dukung tiang terhadap kekuatan tanag menggunakan persamaan berikut:

- Kapasitas ultimit netto tiang tunggal ( $\sigma_u$ )

$$\sigma_u = \sigma_b + \sigma_s - W \dots \dots \dots (2.171)$$

Keterangan:

$\sigma_u$  = Kapasitas ultimit netto

$\sigma_b$  = Tahanan ujung ultimit

$\sigma_s$  = Tahan gesek dinding tiang ultimit

$W_p$  = Berat sendiri tiang

b. Tahanan adhesi tiang dan tanah

$$P_1 = KHc \dots \dots \dots (2.172)$$

Keterangan:

$P_1$  = Tahanan adhesi dinding tiang ultimit

$K$  = luas selimut tiang

$c$  = Adhesi antara dinding tiang dengan tanah

$H$  = kedalaman tiang

c. Tahanan gesek dinding tiang ultimit

$$P_2 = K \left( \frac{1}{2} H^2 \gamma \right) (1 + \tan^2 \phi_1) \tan \phi \dots \dots \dots (2.173)$$

Keterangan:

$P_2$  = Tahanan gesek dinding tiang ultimit

$\gamma$  = Berat isi tanah

$K$  = Luas selimut tiang

$H$  = Kedalaman tiang

$\phi$  = sudut gesek antara dinding tiang tanah

- d. Tahanan ujung tiang

$$P_3 = A_b ((1,3cNc) + (H\gamma Nq) + (\beta\gamma N\gamma)) \dots \dots \dots (2.174)$$

Keterangan:

$P_3$  = Tahanan ujung tiang ultimit

$\gamma$  = berat isi tanah

$C$  = kohesi tanah di ujung tiang

$H$  = kedalaman tiang

$A_b$  = Luas penampang ujung tiang

$N_c, N_q, N\gamma$  = Faktor daya dukung

- e. Kapasitas ultimit tiang berdasarkan data N-SPT (Mayerhof)

$$\sigma_u = 4N_b + \frac{1}{50} \bar{N} A_s \dots \dots \dots (2.175)$$

Keterangan:

$\sigma_u$  = Kapasitas ultimit tiang

$N_b$  = Nilai  $N$  dari uji SPT disekitar dasar tiang

$A_b$  = Luas dasar tiang

$\bar{N}$  = Nilai rata-rata  $N$  dari uji SPT disekitar tiang

$A_s$  = Luas selimut tiang

- f. Jumlah tiang yang diperlukan

$$np = \frac{P}{\sigma_{all}} \dots\dots\dots(2.176)$$

Keterangan:

np = jumlah tiang

P= Gaya aksial yang terjadi

$\sigma_{all}$  = Kapasitas dukung ijin tiang

$\sigma_{all} =$

$$\frac{\sigma_u}{SF} \dots\dots\dots(2.177)$$

$\sigma$  = Kapasitas ultimit tiang

SF= Faktor aman

g. Beban maksimum pada kelompok tiang

$$P_{maks} = \frac{Pu}{np} \pm \frac{My \times X_{maks}}{ny \sum X^2} \pm \frac{Mx \times Y_{maks}}{nx \sum Y^2} \dots\dots\dots(2.178)$$

Keterangan:

$P_{maks}$ = beban maksimum kelompok tiang

$P_u$ = gaya aksial terfaktor yang terjadi

$M_y$ = momen yang bekerja tegak lurus sumbu y

$M_x$ = momen yang bekerja tegak lurus sumbu x

$X_{maks}$ = jarak tiang arah sumbu x terjauh

$Y_{maks}$ = jarak tiang arah sumbu y terjauh

$n_x$  = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu x

$n_y$  = banyak tiang dalam satu baris arah sumbu y

$np$  = Jumlah tiang

h. Penulangan tiang bored pile

$$M_1 = \frac{M_{dasar}}{n} \dots \dots \dots (2.179)$$

3. Gaya geser maksimum terjadi pada bagian atas pondasi akibat beban horizontal

$$H = \frac{H}{n} \dots \dots \dots (2.180)$$

4. Kapasitas momen pada dasar tiang

$$M_1 = K_C^R A_{st} f_y d \dots \dots \dots (2.181)$$

$$M_1 = K_C^R A_{st} f_y d \dots \dots \dots (2.182)$$

5. Jumlah tulangan

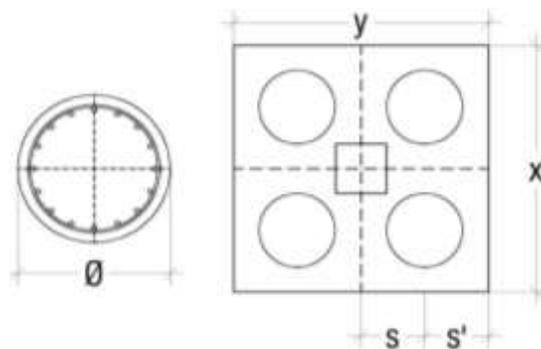
$$n = \frac{A_{st}}{A_s} \dots \dots \dots (2.183)$$

#### 2.6.6.4 Perencanaan Pile Cap

Dalam pelaksanaan, jarang dijumpai pondasi yang hanya terdiri dari satu tiang saja, tetapi terdiri dari kelompok tiang (*pile group*). Teori membuktikan dalam daya dukung kelompok tiang geser tidak sama dengan daya dukung tiang secara individu dikalikan jumlah tiang dalam kelompok, melainkan akan lebih kecil karena adanya faktor efisiensi. Daya dukung kelompok tiang dihitung berdasarkan *cleef*. Di atas *pile gorup* biasanya diletakkan suatu konstruksi poer (*footing*) yang berfungsi mempersatukan kelompok tiang tersebut.

- Jarak antar tiang pancang dalam kelompok ( $s$ )

Jarak antar tiang pancang didalam kelompok tiang sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas dukung dari kelompok tiang tersebut. Untuk bekerja sebagai kelompok tiang, jarak antar tiang yang dipakai adalah menurut peraturan-peraturan bangunan pada daerah masing – masing. Menurut *K. Basah Suryolelono* (1994), pada prinsipnya jarak tiang ( $S$ ) makin rapat, ukuran *pile cap* makin kecil dan secara tidak langsung biaya lebih murah. Tetapi bila pondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen.



**Gambar 2.45** Pondasi kelompok tiang

Daya dukung tanah oleh Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L. disyaratkan jarak tiang biasanya dipakai bila :

- Ujung tiang tidak mencapai tanah keras maka jarak tiang minimum  $\geq 2,5$  kali diameter tiang atau 2,5 kali diagonal tampang tiang.
- Ujung tiang mencapai tanah keras, maka jarak tiang minimum  $\geq$  diameter tiang

ditambah 30 cm atau panjang diagonal tiang ditambah 30 cm.

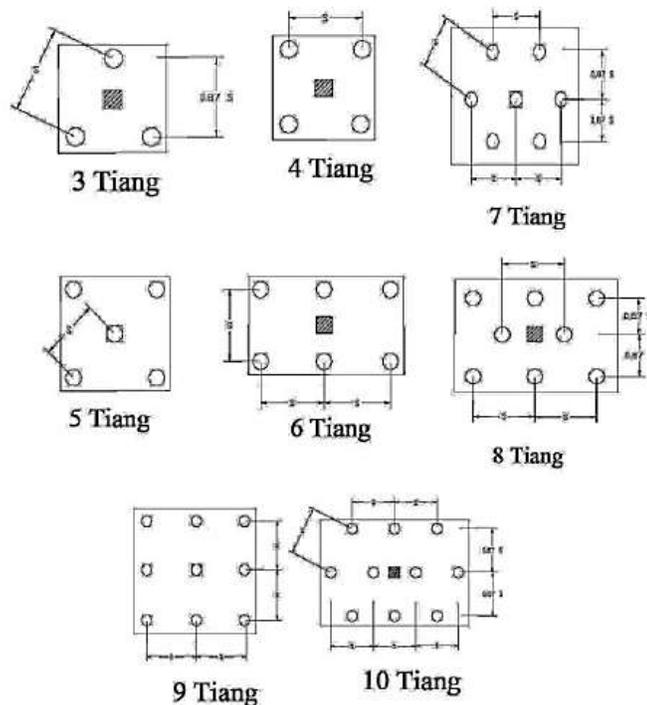
Disyaratkan juga bahwa jarak antara 2 tiang dalam kelompok tiang :

- Minimum = 0,60 m

- Maksimum = 2,00 m

- Susunan Tiang

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah *pile cap*, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah *pile cap* akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak (K. Basah Suryolelono, 1994). Gambar dibawah ini adalah contoh susunan tiang:



**Gambar 2.46.** Contoh susunan tiang

Persamaan untuk menghitung masing-masing tiang tekanan aksial pada masing-masing tiang

$$\sigma_i = \frac{P_u}{n} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y^2} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2} \dots\dots\dots(2.184)$$

Keterangan:

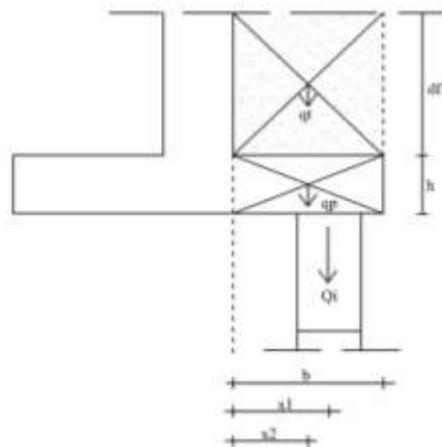
$\sigma_i$  = Beban aksial pada tiang ke-i

V= Jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang

n = jumlah tiang

x, y= Berturut-turut jarak tiang terhadap sumbu y dan c

$M_x, M_y$  = Berturut-turut momen pada arah sumbu x dan y



**Gambar 2.47** Diagram reaksi tiang terhadap gaya aksial dan momen

Persyaratan yang harus dipenuhi:

Beban normal :  $\sigma_{maks} \leq \sigma_{Tanah}$

Beban sementara :  $\sigma_{maks} \leq 5 \times \sigma_{Tanah}$

$\sigma_{Min} > 0$  (tidak boleh ada tegangan negatif)

Beban-beban yang bekerja pada pilecap

- Berat sendiri pilecap
- Berat tanah urug
- Gaya aksial tiang

1. Momen yang terjadi pada sisi kolom

$$M_u = \sigma_i x_1 + q_p x_2 + q_t x_3 \dots\dots\dots(2.185)$$

2. Penulangan Pile Cap

a. Rasio Tulangan

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} \dots\dots\dots(2.186)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'_c}} \right] \dots\dots\dots(2.187)$$

$$\rho_b = 0,85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2.189)$$

$$\rho_{maks} = \left( \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b \dots\dots\dots(2.190)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.191)$$

Dengan syarat  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$

1. Luas tulangan

$$A_s = \rho b d \dots\dots\dots(2.192)$$

2. Jarak antar tulangan

$$s = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 S}{A_s} \dots\dots\dots(2.193)$$

Dengan  $s \leq 2h$