

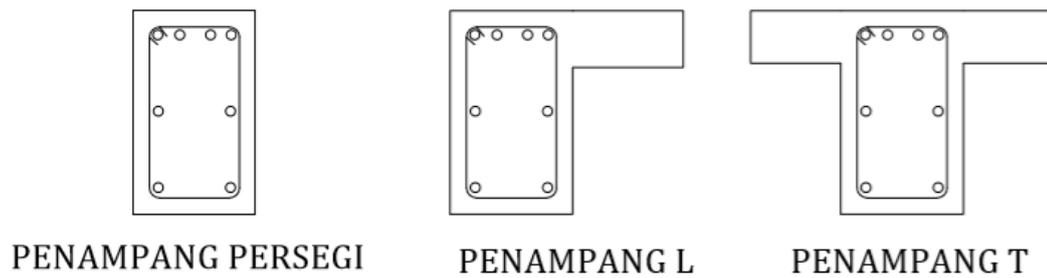
## **BAB 2**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1 Umum**

Struktur bangunan adalah bagian dari sebuah sistem bangunan yang bekerja untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan diatas tanah (Setiyarto et all 2017). Salah satu yang merupakan dari struktur bangunan tersebut adalah .balok.

Balok merupakan salah satu elemen struktural bangunan yang memiliki fungsi utamanya yaitu memikul beban lateral. Pada sistem balok, beban-beban yang bekerja akan menghasilkan gaya reaksi pada titik tumpu perletakan. Selain itu beban-beban yang bekerja pada balok juga akan menghasilkan momen lentur dan gaya geser pada balok, dari gaya yang bekerja pada balok, maka menimbulkan gaya lain, yang disebut gaya dalam, baik berupa tarikan dan tekanan. Akibat gaya beban yang bekerja pada balok juga dapat menimbulkan lendutan. Jenis balok dapat berbeda-beda berdasarkan pada spesifikasi dan kebutuhannya, seperti jenis perletakan, profil (bentuk potongan melintang), panjang, dan jenis material yang digunakan untuk membuat sebuah balok.



Gambar 2.1 Profil balok beton bertulang

## 2.2 Bentuk Penampang Balok Beton Bertulang

Dalam penerapannya dilapangan setiap bentuk profil penampang memiliki kegunaan dan fungsinya masing-masing. Adapun penggunaan dan fungsinya adalah sebagai berikut :

### a. Penampang Persegi

Pada penampang persegi, proses pengecoran antara pelat dan balok dilakukan terpisah atau tidak dibersamaan dengan pengecoran plat. Sehingga hubungan antara balok dan pelat tidak monolit atau satu kesatuan yang utuh. Penggunaan jenis penampang balok ini biasanya digunakan pada proses pengecoran plat lantai yang menggunakan bondek atau bias saja disesuaikan dengan keadaan dilapangan dan ketersediaan material penopang seperti jumlah penercah yang dimiliki di proyek tersebut.

### b. Penampang L

Penampang ini biasa dicor berbarengan dengan pengecoran plat lantai sehingga antara plat dan balok menjadi monolit, biasanya balok L digunakan pada balok yang posisinya berada di samping dari, struktural.

c. Penampang T

Penampang ini di cor bersamaan dengan pengecoran plat lantai, sehingga plat dan balok menjadi monolit. Balok tipe ini digunakan pada posisi balok yang berada tengah.

## **2.3 Dasar Teori dan Rumus Yang Digunakan Oleh Aplikasi**

### **2.3.1 Pembebanan Struktural**

Dalam proses mendesain suatu bangunan maka perlu memperhatikan tiga hal yang pokok yang mendasar, yaitu struktural bangunan yang direncanakan haruslah kuat, tahan lama dan dalam proses pengerjaannya harus mudah dilaksanakan. Sehingga proses pengerjaan suatu bangunan dapat berjalan dengan lancar dan memiliki efisiensi yang baik.

Selain itu, dalam mendesain kita harus menggunakan kondisi terbaik untuk struktur, sehingga dalam kondisi pembebanan terburuk pun, konstruksi masih aman.

Adapun dalam perencanan desain dan pembebanan dapat digunakan acuan sebagai berikut :

- a. Menggunakan standar yang digunakan di indonesia, yaitu “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)”

- b. Menggunakan standar pembebanan standar “Pedoman Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-2013)”
- c. Dalam perhitungan gempa pada penelitian ini menggunakan standar perhitungan “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)”

Konstruksi yang akan di bangun haruslah dirancang dengan memperhitungkan segala beban yang akan di terima oleh konstruksi tersebut. Adapun jenis pembebanan dalam konstruksi menurut “Pedoman Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-2013)”, adalah sebagai berikut :

- a. Beban mati

Beban mati merupakan beban yang berasal dari semua bagian konstruksi yang terpasang, baik pekerjaan structural maupun arsitektural, dan peralatan layang tetap lainnya yang menyatu dengan gedung termasuk beban keran.

Adapun yang dimaksud dengan beban bahan dan konstruksi, dan beban peralatan layan yang tetap adalah :

- berat bahan dan konstruksi

Dalam menentukan beban bahan dan konstruksi haruslah menggunakan berat yang sesungguhnya, dan apabila tidak ada informasi yang jelas tentang spesifikasi berat bahan dan konstruksi, maka nilai yang digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang.

- Berat peralatan layan tetap

Dalam merencanakan sebuah bangunan beban harus dihitung pula beban peralatan layan tetapnya, seperti plambing, ventilasi, mekanikal elektrikal dan lainnya yang diperkirakan menjadi salah satu perealatan layan tetap pada sebuah bangunan.

b. Beban tanah dan tekanan hidrostatik

- Tekanan lateral

Dalam perancangan struktur dibawah tanah, tekanan tanah lateral tanah disamping haruslah diperhitungkan. Bila tidak ada laporan penyelidikan tanah yang disetujui pihak berwenang, maka beban tanah lateral minimum yang digunakan merujuk pada table 3.2-1 pada SNI 1727-2013 pasal 3.2.2

Baban yang diberikan harus cukup, untuk kemungkinan beban permukaan tetap atau bergerak. Jika dikethui bahwa sebagian atau seluruh tanah yang ada di sampingnya berada di bawah permukaan air, maka gaya yang terjadi pada berat tanah harus di perhitungkan, kemudian ditambah dengan tekanan hidrostatik penuh pada perhitungan. jika tanah memiliki potensi mengembang seperti yang ditentukan dalam penyelidikan tanah, maka tekanan lateral tanah harus ditambah.

- Gaya angkat pada lantai dan fondasi

Tekanan hidrostatik penuh dan diterapkan diseluruh luasan struktur bawah apabila dilakukan perencanaan pekerjaan lantai pada basemen atau pada bidang horizontal lainnya yang posisinya berada di bawah permukaan tanah. Dengan perhitungan besarnya tekanan dari hidrostatik harus diukur dari sisi bawah struktur. Dan untuk beban ke atas yang lainnya haruslah diperhitungkan dalam rancangan tersebut.

Jika diketahui bahwa tanah di bawah fondasi atau pelat ini akan mengalami fase mengembang, dan jenis fondasi atau pelat langsung tertumpu pada permukaan tanah, maka semua elemen struktur harus direncanakan agar mampu mengikuti alur pergerakan dari tanah. Jika tidak melakukan metode tersebut, maka bias dilakukan penggantian tanah yang mengembang tersebut, atau bias dilakukan stabilisasi tanah disekitar dan di bawah struktur.

#### c. Beban hidup

Beban mati adalah beban yang berasal dari jenis penghunian dan penggunaan sesuatu pada bangunan yang mana bersifat bias di pindahkan, baik seperti peralatan maupun mesin-mesin yang mana dapat di pindahkan dan merupakan bagian yang terpisahkan dari structural gedung.

Besarannya beban hidup pada lantai berdasarkan jenis huniannya dapat dilihat dari tabel berikut :

**Table 2.1 Beban hidup terdistribusi merata minimum dan beban hidup terpusat minimum (SNI 1727-2013)**

JENIS HUNIAN	Merata psf (kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
• Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
• Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) <sup>a</sup>	
Ruang pertemuan :		
• Kursi tetap (terikat lantai)	100 (4,79) <sup>a</sup>	
• lobi	100 (4,79) <sup>a</sup>	
• Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) <sup>a</sup>	
• Panggunag pertemuan	100 (4,79) <sup>a</sup>	
• Lantai podium	150 (7,18) <sup>a</sup>	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m <sup>2</sup> )	
Jalur untuk akses pemeliharaan koridor :	40 (1,92)	300 (1,33)
• Lantai pertama	1000 (4,79)	300 (1,33)
• Lantai tingkat lainnya	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79) <sup>a</sup>	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruangan dengan mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in. (50 mm x 50 mm))		300 (1,33)

Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in x 1 in(25 mm x 25 mm))		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	Dapat dilihat pada pasal 4.5 pada SNI 1727-2013	
Grasi/parkir :		
• Mobil penumpang saja	40 (1,92) <sup>a,b,c</sup>	
• Truk dan bus	c	
Susunan tangga, rel pengamanan batang pegangan	Dapat dilihat pada pasal 4.5 pada SNI 1727-2013	
Heliped	60 (2,87) <sup>d,e</sup> tidak boleh direduksi	e,f,g
Rumah sakit :		
• Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
• Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
• Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan :		
• Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
• Ruang penyimpanan	150 (7,18) <sup>a,h</sup>	1000 (4,45)
• Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik :		
• Ringan	125 (6,00) <sup>a</sup>	2000 (8,90)
• Berat	250 (11,97) <sup>a</sup>	3000 (13,40)
Gedung perkantoran :		
Ruangan pada arsip computer harus dirancang untuk pemebanan yang lebih besar dari perkiraan hunian yang biasanya		
• Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
• kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
• Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum :		

• Blok sel	40 (1,92)	
• koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi :		
• Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59) <sup>a</sup>	
• Bangsal dan ruang dansa	100 (4,79) <sup>a</sup>	
• Gimnasium	100 (4,79) <sup>a</sup>	
• Tempat menonton, baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) <sup>a,k</sup>	
• Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat lantai)	60 (2,87) <sup>a,k</sup>	
Rumah tinggal		
Hunian (satu dan dua keluarga) :		
• Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) <sup>i</sup>	
• Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96) <sup>m</sup>	
• Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
• Semua ruangan kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya :		
• Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
• Ruang publik (a) dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Atap :		
• Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96) <sup>n</sup>	
• Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
• Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani (a)	i
• Atap yang digunakan untuk hunian lainnya awning dan kanopi, konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) tidak boleh direduksi	

• Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributary dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0,89)
• Semua kontruksi lainnya	20 (0,98)	2000 (8,9)
• Komponen struktur pada atap utama, yang terhubung langsung pada pekerjaan lantai.		
• Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gedung, dan perbaikan garasi		300 (1,33)
• Semua komponen struktur lainnya, semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)
Sekolah :		
• Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
• Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,5)
• Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,5)
Bak-bak / <i>scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lalu lintas kendaraan, dan laha/jalan untuk truk-truk	250 (11,97) <sup>a,p</sup>	8000 (35,6) <sup>q</sup>
Tangga dan jalan keluar :	100 (4,79)	300 <sup>r</sup>
• Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 <sup>r</sup>
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang sementara sebelum didistribusikan :		
• Ringan	125 (6,00) <sup>a</sup>	
• berat	250 (11,97) <sup>a</sup>	
Toko eceran :		
• Lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)

• Lantai diatasnya	75 (3,59)	1000 (4,45)
Grosir disemua lantai	125 (6,00) <sup>a</sup>	1000 (4,45)
Penghalang kendaraan	Dapat dilihat pada pasal 4.5 pada SNI 1727-2013	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79) <sup>a</sup>	

#### d. Beban banjir

Beban banjir merupakan beban yang bekerja pada bangunan yang disebabkan oleh banjir yang terjadi pada area bangunan, sehingga diharapkan sistem-sistem struktur gedung atau struktur lainnya dapat menahan kemungkinan terapung, runtuh dan berpindah lateral permanen yang diakibatkan oleh beban banjir.

#### e. Beban angin

Beban angin merupakan beban yang bekerja pada gedung yang diakibatkan oleh tekan angin terhadap gedung. Beban angin ditentukan dengan menganggap bahwa angin yang searah dengan bangunan memberi tekanan pada bangunan (tekanan positif) dan angin yang berasal dari bangunan menekan ke arah luar bangunan atau biasa disebut dengan tekanan negatif. Besarannya beban angin minimum yang digunakan untuk desain gedung tertutup atau tertutup sebagian menurut SNI 2847-2013 pada pasal 27.1.5 yaitu tidak boleh kurang dari 0,77 kN/m<sup>2</sup> dikalikan dengan luasan dinding dan 0,38 kN/m<sup>2</sup> dikalikan dengan luas atap bangunan gedung yang terproyeksi

pada bidang vertical tegak lurus terhadap arah angin yang di perkirakan.

f. Beban air hujan

Merupakan beban yang bekerja pada struktur bangunan yang disebabkan oleh turunnya air hujan, yang mana beban ini dimaksudkan agar suatu struktur atap mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul, sehingga tidak terjadi kelebihan beban dari beban yang direncanakan.

g. Beban gempa

Beban gempa merupakan sebuah beban yang bekerja pada suatu struktur gedung atau bangunan, yang mana hal tersebut diakibatkan dari pergerakan tanah yang disebabkan adanya gempa bumi yang terjadi sehingga dapat mempengaruhi struktur tersebut.

Analisis yang digunakan merupakan analisis statik ekuivalen, analisis statik ekuivalen merupakan salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban nional statik ekuivalen (setiyarto 2010).

h. Kombinasi beban

Kombinasi beban merupakan kumpulan beban yang sudah direduksi, yang mana bertujuan untuk mencari beban yang paling besar. Berdasarkan SNI 2847-2013 kombinasi pembebanan yang digunakan sebagai berikut :

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots (2. 1)$$

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

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

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

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

$$U = 0,9 D + 1 W \dots\dots\dots (2. 6)$$

$$U = 0,9 D + 1 E \dots\dots\dots (2. 7)$$

Keterangan :

D : beban mati

L : beban Hidup

Lr : beban hidup atap

R : beban air hujan

S : beban salju

W : beban angin

E : beban gempa

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa semakin banyak jenis bebannya, maka akan semaiKn baik untuk keakuratan nilainya dalam mencari beban yang paling besar, hal itu dikarenakan semakin banyak pula jenis beban yang dimasukkan dalam perencanaan.

### 2.3.2 Perhitungan Balok

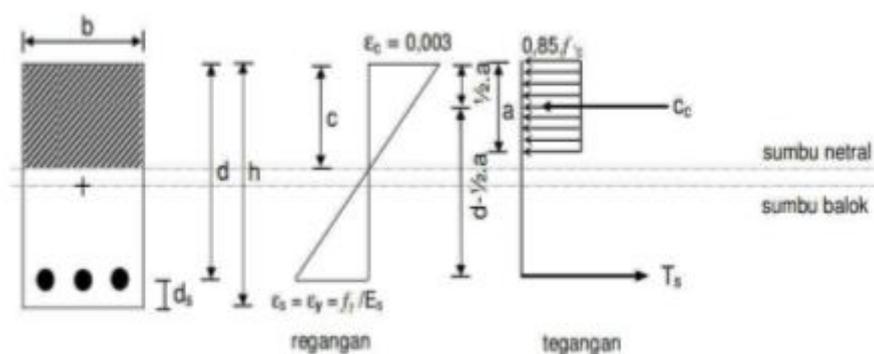
Dalam perhitungan balok persegi penulis menggunakan metode SNI 2847-2013. Yang mana kita ketahui bahwa metode ini mempunyai rujukan, yaitu metode ACI 318M. Metode ACI merupakan salah satu metode yang memiliki pendekatan yang sederhana, sehingga lebih mudah dipahami dan

diaplikasikan (Rahal 2000). Selain itu, metode ACI juga merupakan metode yang mana, dalam skema perhitungannya menambahkan dan melebih-lebihkan efek beban yang terfaktor, sehingga hal tersebut mengakibatkan prediksi perhitungan kekuatannya lebih menjadi kecil (Tabsh 2013). Sehingga desain yang nantinya akan dihasilkan diharapkan akan lebih optimal dan bias lebih aman dalam penggunaannya.

Adapun perhitungannya sebagai berikut :

a. Menghitung lentur balok

Balok dapat dirancang menggunakan dua kondisi. Yaitu menggunakan tulangan tunggal maupun menggunakan tulangan rangkap. Saat melakukan perancangan, balok dibuat menggunakan tulangan tunggal dan bila terdapat kekurangan kemampuan untuk menahan beban yang diterima balok, maka balok dapat dibuat menggunakan tualangan rangkap (Setiawan 2016).



Gambar 2.2 Diagram regangan dan tegangan balok

$$C_c = T_s \dots\dots\dots (2.8)$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot a_b \cdot b \dots\dots\dots (2.9)$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2.10)$$

$$c_b = 0,003 \cdot d / (0,003 + \varepsilon_s) \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\varepsilon_s = f_y / E_s \dots\dots\dots (2.12)$$

$E_s = 200.000 \text{ Mpa}$  maka :

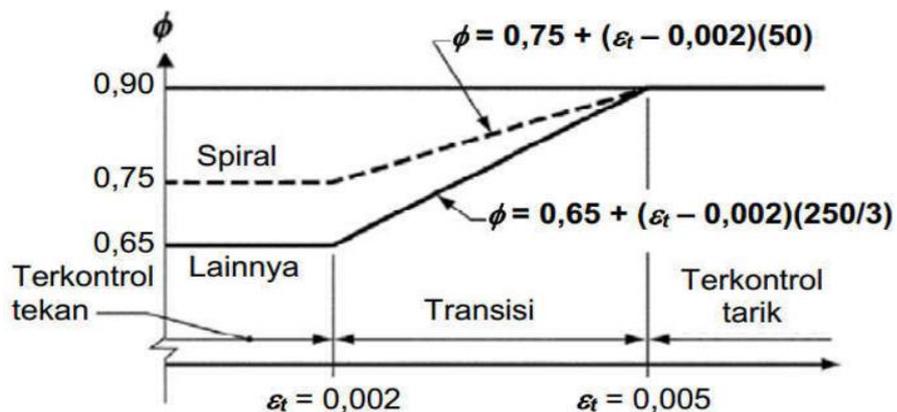
$$c_b = 600 \cdot d / (600 + f_y) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b \dots\dots\dots (2.14)$$

Koefisien  $\beta_1$ .

- Jika  $17 \leq f'c \leq 28 \text{ Mpa}$  maka  $\beta_1 = 0.85$
- Jika  $f'c > 28 \text{ Mpa}$  maka  $\beta_1 = 0.85 - 0.05 (f'c - 28) / 7$  dan  $\beta_1 \geq 0.65$

Untuk kapasitas lentur, elemen struktur balok yang direduksi menggunakan faktor reduksi sesuai grafik pada SNI 2847-2013 berikut ini :



Gambar 2.3 Grafik faktor reduksi

Adapun langkah – langkah dalam mendesain balok dengan tulangan rangkap sebagai berikut :

- 1) Menghitung rasio tulangan seimbang (  $\rho_b$  ) dan rasio tulangan maksimum (  $\rho_{maks}$  ) ialah sebagai berikut :

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

$$\rho_{maks} = \left( \frac{0,003 + f_y/E_s}{0,008} \right) \rho_b \dots \dots \dots (2.16)$$

- 2) Menghitung  $R_{u maks}$  dengan  $\phi = 0,9$

$$R_{u maks} = \phi \rho_{maks} X f_y \left( 1 - \frac{\rho_{maks} \cdot f_y}{1,7 f'_c} \right) \dots \dots \dots (2.17)$$

- 3) Menghitung kuat rencana balok bertulang tunggal ( $M_{u1}$ )

$$M_{u1} = R_{u maks} b d^2 \dots \dots \dots (2.18)$$

Apabila di dapatkan bahwa  $M_{u1} < M_u$  maka diperlukan tulangan tekan, dan dilanjutkan ke perhitungan selanjutnya.

Dan apabila nilai  $M_{u1} > M_u$ , maka untuk tulangan tekan tidak diperlukan,, maka digunakan persamaan sebagai berikut untuk mencari  $\rho$  :

$$Q = \left( \frac{1,7}{\phi f'_c} \right) \frac{M_u}{b d^2} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$\rho = \frac{f'_c}{f_y} \left( 0,85 - \sqrt{0,85^2 - Q} \right) \dots \dots \dots (2.20)$$

Mencari nilai  $A_s$  dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_s = \rho b d \dots \dots \dots (2.21)$$

- 4) Menghitung kuat momen rencana yang akan dipikul oleh tulangan tekan ( $M_{u2}$ )

$$M_{u2} = M_u - M_{u1} \dots\dots\dots (2.22)$$

- 5) Menghitung nilai  $A_{s1}$ ,  $A_{s2}$  dan luas tulangan tarik ( $A_s$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_{s1} = \rho_{maks} bd \dots\dots\dots (2.23)$$

$$A_{s2} = \frac{M_{u2}}{\phi f' c} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$A_{s1} = A_{s1} + A_{s2} \dots\dots\dots (2.25)$$

- 6) Pemeriksaan tulangan tekan dan tarik sudah leleh.

Perhitungan tegangan pada tulangan tekan menggunakan rumus :

$$\varepsilon_s = 0,003 \left( \frac{c-d'}{c} \right) \dots\dots\dots (2.26)$$

Jika didapatkan nilai dari  $\varepsilon_s > \varepsilon_y = f_y/E_s$ , maka tulangan tekan sudah leleh sehingga untuk luas tulangan tekan,  $A_s' = A_{s2}$

Perhitungan regangan tulangan menggunakan rumus :

$$\varepsilon_t = 0,003 \left( \frac{d-c}{c} \right) \dots\dots\dots (2.27)$$

Jika nilai  $\varepsilon_t \geq 0,005$  atau  $c/dt < 0,375$ , maka tulangan tarik dinyatakan sudah leleh.

- 7) Pemilihan tulangan yang akan dipakai sebagai luas pada tulangan tarik ( $A_s$ ) dan luas untuk tulangan tekan ( $A_s'$ ) yang emncukupi lebar balok. Pada beberapa kondisi untuk  $A_s$  tulangan dapat disusun 2 baris.

- 8) Pemeriksaan terhadap  $(\rho - \rho') < \rho_{maks}$

Jika didapatkan bahwa  $(\rho - \rho') < \rho_{maks}$  maka penampang berada pada kondisi terkendali tarik dengan nilai  $\phi = 0,9$

9) Pemeriksaan  $M_u < \phi M_n$  dengan menggunakan rumus persamaan dengan perhitungan berikut :

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\phi M_n = \phi [(A_s - A'_s) f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d')] \dots \dots \dots (2.29)$$

b. Perhitungan tulangan terhadap geser balok

Tulangan geser merupakan salah satu komponen balok yang memiliki peran penting dalam keberhasilan atau kegagalan struktur balok beton bertulang (Jensen 2009). Sehingga proses desain tulangan tersebut harus dilakukan dengan ketelitian dan kemampuan dalam merancanginya.

Adapun pada perhitungan tulangan geser yang akan dihitung pada penelitian ini berdasarkan SNI 03-2847-2013 yang terdapat pada pasal 11.1.1 sebagai dasar perhitungan tulangan geser yaitu sebagai berikut :

$$V_u \leq \phi V_n \dots \dots \dots (2.30)$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_n = V_c + V_s \dots \dots \dots (2.31)$$

Untuk  $V_s$  tidak boleh melebihi  $V_{smaks}$  maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{smaks} = \frac{2\sqrt{f'c}}{3} b_w d \dots \dots \dots (2.32)$$

Untuk komponen struktur non prategang yang hanya dibebani oleh geser dan lentur, menurut SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1 dirumuskan sebagai berikut :

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d \dots\dots\dots (2.33)$$

$\lambda = 1$  untuk penggunaan beton normal sesuai pasal 8.6.1

Menghirung kuat sengkang dengan menggunakan pasal 11.4.7.2

adalah sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots (3.34)$$

$$S_{perlu} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$V_r = \phi (V_c + V_s) \dots\dots\dots (2.36)$$

keterangan :

$V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau (KN)

$V_n$  = kuat geser nominal (KN)

$V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (KN)

$V_s$  = kuata geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser  
(KN)

$V_{smaks}$  = kuat geser maksimum (KN)

$V_r$  = kuat geser tereduksi (KN)

$A_v$  = luas tulanagn geser tegak lurus dengan tulangan lentur tarik  
(mm<sup>2</sup>)

$f_y$  = kuat leleh baja (Mpa)

$s$  = jarak dari serat tekan beton terluar ke titik berat tulangan (mm)

Adapun untuk tahapan dalam menghirung tulangan geser balok,

sebagai berikut :

1. Menghitung kaut geser pada beton ( $V_c$ ) pada persamaan 2.31

2. Menghitung kuat geser pada beton ( $\phi V_c$ ) dengan menggunakan nilai faktor reduksi kekuatan geser,  $\phi = 0,75$
3. Menghitung nilai pada tulangan geser sengkang ( $\phi V_s$ ) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \dots\dots\dots (2.37)$$

4. Menghitung luas tulangan geser pada sengkang ( $A_v$ ), dengan persamaan :

$$A_v = n \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots (2.38)$$

5. Menghitung jarak sengkang yang diperlukan ( $S_1$ ), dengan persamaan :

$$S_1 = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots\dots\dots (2.39)$$

6. Menghitung jarak minimum antar sengkang ( $S_{maks}$ ), diambil dari nilai terkecil antara  $S_2$  dan  $S_3$ .

Menghitung  $S_2$  haruslah memperhitungkan nilai  $V_s$  terhadap perhitungan  $V_{c1}$  dan  $V_{c2}$ , adapun persamaanya adalah sebagai berikut:

$$V_{c1} = 0,33\sqrt{f'c} \times b \times d \dots\dots\dots (2.40)$$

$$V_{c2} = 0,66\sqrt{f'c} \times b \times d \dots\dots\dots (2.41)$$

Untuk nilai  $S_2$  dihitung dengan menggunakan persyaratan jika nilai  $V_s < V_{c1}$ , maka nilai  $S_2$  dapat dihitng dengan persamaan ssebagai berikut :

$$S_2 = d/2 \dots\dots\dots (2.42)$$

Namun jika nilai  $V_{c1} < V_s$ , maka nilai  $S_2$  dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$S_2 = d/4 \dots\dots\dots (2.43)$$

Kemudian untuk menghitung nilai  $S_3$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$S_3 = \frac{A_v \cdot f_y}{0,35b} \dots\dots\dots (2.44)$$

7. Adapun untuk jarak sengkang yang akan digunakan adalah nilai minimal antara nilai hasil dari  $S_1$  dan  $S_{maks}$
8. Setelah itu, maka di cek tahanan geser nominal ( $\phi V_n$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \dots\dots\dots (2.45)$$

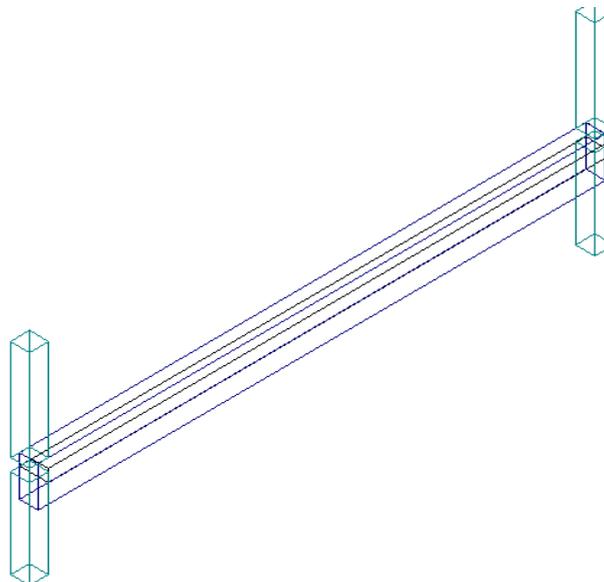
### 2.3.3 Rumus Yang digunakan Oleh Aplikasi

Aplikasi *SpBeam v5.00* merupakan salah satu aplikasi dari perusahaan *Sturcture point*, yang mana perusahaan tersebut konsen pada pengembangan aplikasi dibidang teknik sipil. Aplikasi ini merupakan aplikasi yang didesain secara khusus dengan kegunaan untuk menghitung struktur balok beton bertulang.



**Gambar 2.4 Tampilan muka aplikasi SpBeam**

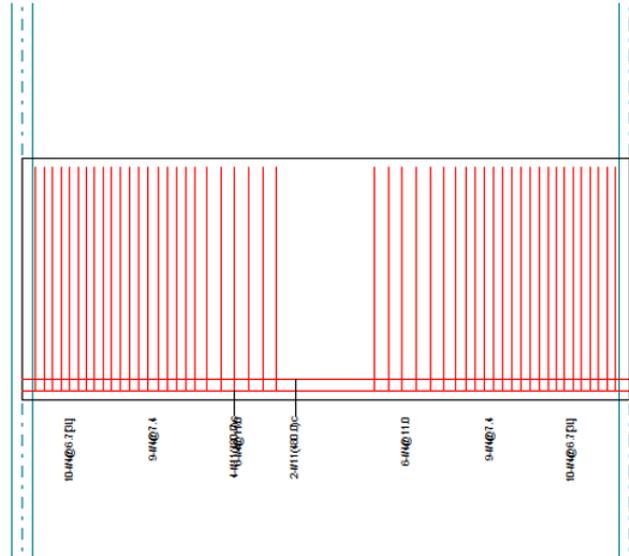
Analisis yang digunakan dalam aplikasi ini merupakan analisis dengan sistem portal 3 dimensi, sehingga hal tersebut akan lebih memudahkan pengguna, untuk memperkirakan proses analisisnya dengan keadaan yang asli.



**Gambar 2.5 Tampilan analisis portal aplikasi SpBeam**

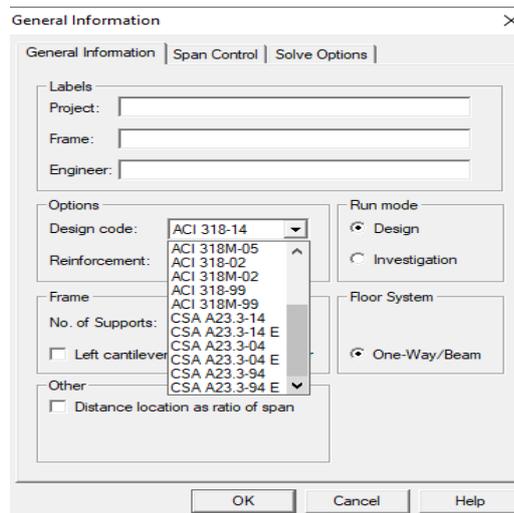
Tampilan balok yang ditinjau juga bersifat realistis dengan tiga dimensi, kemudian dilengkapi dengan spesifikasi tulangan, jumlah tulangan,

bahkan perletakan tulangan. Hal ini sangat memepermudah para pengguna untuk maping lokasi penulangan dengan tepat dan detail.



**Gambar 2.6 Tampilan detail penulangan aplikasi SpBeam**

Dalam proses perhitungannya aplikasi ini menggunakan dua metode, yaitu metode ACI dan metode CSA. Terdapatnya pilihan tentang metode yang akan digunakan, ini membuat pengguna aplikasi lebih mudah menyesuaikan dengan jenis metode yang akan digunakannya. Namun metode tersebut masih bisa dibilang kurang banyak, karena masih banyak beberapa metode yang tidak dimasukan dalam sistem operasi aplikasi ini, sehingga para pengguna aplikasi ini hanya bisa mengacu proses analisisnya pada metode yang terbatas.



Gambar 2.7 Metode perhitungan aplikasi SpBeam

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam aplikasi tersebut adalah sebagai berikut :

a. Rumus analisis geser :

$$V_c = 2 \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d \text{ (ACI 318)} \dots \dots \dots (2.46)$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d \text{ (ACI 318M-11/08/05)} \dots \dots \dots (2.47)$$

$$V_c = \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d / 6 \text{ (ACI 318-02/99)} \dots \dots \dots (2.48)$$

$$V_c = 0,20 \lambda \phi_c \sqrt{f'_c} \times b \times d \text{ (CSA A23.3-94)} \dots \dots \dots (2.49)$$

Untuk  $\phi_c = 0,60$

Untuk perhitungan dengan menggunakan metode CSA A23.3-94, dengan desain balok yang tidak menggunakan tulangan sengkang minimum dan memiliki kedalaman 300 mm, maka dirumuskan seperti persamaan berikut :

$$V_c = \left( \frac{260}{1000+d} \right) \lambda \phi_c \sqrt{f'_c} \times b \times d > 0,10 \lambda \phi_c \sqrt{f'_c} \times b \times d \dots (2.50)$$

b. Menghitung luas tulangan sengkang

- Jika  $V_u < \phi V_c / 2$  maka persamaanya sebagai berikut :

$$A_v \min = \frac{b_w s}{f_{yt}} \times 0,75 \sqrt{f'c} \cdot 50 \text{ (ACI 318M-11/08/05/02) ..... (2.51)}$$

$$A_v \min = \frac{b_w s}{f_{yt}} \times 50 \text{ (ACI 318-99) ..... (2.52)}$$

$$A_v \min = \frac{b_w s}{f_{yt}} \times 0,062 \sqrt{f'c} \cdot 0,35 \text{ (ACI 318M-11/08/05) ..... (2.53)}$$

$$A_v \min = \frac{b_w s}{f_{yt}} \times 0,75 \sqrt{f'c} / 16 \cdot 0,33 \text{ (ACI 318M-02) ..... (2.54)}$$

$$A_v \min = \frac{b_w s}{f_{yt}} \times 1/3 \text{ (ACI 318M-99) ..... (2.55)}$$

$$A_v \min = \frac{b_w s}{f_{yt}} \times 0,06 \sqrt{f'c} \text{ (CSA A23.3-94) ..... (2.56)}$$

- Jika  $V_u < \phi V_c$  maka persamaanya sebagai berikut :

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_{yt} d} = \frac{V_s}{\phi f_{yt} d} \text{ (ACI 318M-11/08/05/02) ..... (2.57)}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_u - V_c}{\phi_s f_{yt} d} = \frac{V_s}{\phi_s f_{yt} d} \text{ (CSA A23.3-94) ..... (2.58)}$$

Dimana  $\phi = 0,85$  untuk metode ACI 318-99,  $\phi = 0,75$  untuk metode ACI 318-14, ACI 318-11, ACI 318-08, ACI 318-05, ACI 318-02.

Untuk  $\phi_s = 0,85$  pada metode CSA A23.3-94.

- c. Menghitung tulangan geser pada sengkang

Dalam mencari nilai tulangan geser sengkang, dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$V_s \max = 8 \sqrt{f'c} \times b \times d \text{ (ACI 318M-11/08/05/02) ..... (2.59)}$$

$$V_s \max = 0,8 \lambda \phi_c \sqrt{f'c} \times b \times d \text{ (CSA A23.3-94) ..... (2.60)}$$

Mencari geser ultimit dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_u = \phi V_{smax} + \phi V_c \text{ (ACI 318M-11/08/05/02)..... (2.61)}$$

$$V_u = V_{smax} + V_c \text{ (CSA A23.3-94)..... (2.62)}$$

Jika diketahui bahwa  $V_u < 10\phi\sqrt{f'_c} \times b \times d$  maka persamaan untuk menghitung jarak tulangan sengkang adalah sebagai berikut :

$$s = (1/A_v/s)(n \cdot A_{sb}) \text{..... (2.63)}$$

Jika nilai  $V_s < 4\sqrt{f'_c} \times b \times d$  atau  $V_s < 0,33\sqrt{f'_c} \times b \times d$  (ACI 318M-11/08/05/02) atau  $V_u < 0,1\lambda\phi_c\sqrt{f'_c} \times b \times d$  (CSA A23.3-94) maka rumus persamaan menghitung jarak sengkang adalah:

$$S = d/2 \text{ (ACI 318M-11/08/05/02)..... (2.64)}$$

$$S = 0,7d \text{ (CSA A23.3-94)..... (2.65)}$$

Jika nilai  $V_s > 4\sqrt{f'_c} \times b \times d$  (ACI 318M-11/08/05/02) atau  $V_u > 0,1\lambda\phi_c\sqrt{f'_c} \times b \times d$  (CSA A23.3-94) maka rumus persamaannya dalam menghitung jarak antar sengkang adalah :

$$S = d/4 \text{ (ACI 318M-11/08/05/02)..... (2.66)}$$

$$S = 0,35d \text{ (CSA A23.3-94)..... (2.67)}$$

## 2.4 Studi Terdahulu

Adapun untuk studi terdahulu yang memiliki kesamaans dan sebagai studi perbandingan adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian yang berjudul “Analisis Kebutuhan Tulangan Pada Balok Beton Bertulang Tampang T Menggunakan Program SAP 2000” (Cristy dkk 2019). Yang mana dalam penelitiannya, menganalisis balok dengan

penampang T dengan memfokuskan pada penelitian kebutuhan tulangan yang diperlukan dalam merancang balok dengan penampang T. metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan perhitungan manual dengan SNI 03-2847-2013 dan dengan menggunakan aplikasi SAP2000 yang mana perancangannya menggunakan standar dari ACI. Adapun kesimpulan dari kedua perbandingan metode tersebut didapatkan bahwa terjadi perbedaan hasil analisis dan desain, dengan perbedaan sekitar 2-20%. Hal tersebut tergantung dari ketelitian dalam menginputkan data.

2. Dalam penelitian yang berjudul “Perancangan Aplikasi Balok Beton Bertulang Rangkap Berbasis Android” (Girisha dkk 2017). Yang melakukan penelitian perancangan perhitungan balok dengan membuat inovasi, yaitu sebuah aplikasi yang bernama ConBeam2, dengan tujuan untuk mempermudah proses desain dan analisis terhadap balok beton. Adapun dalam penelitiannya ini, aplikasi tersebut di validasi dengan menggunakan SNI 2847-2013. Dari hasil penelitiannya, beliau menyatakan bahwa aplikasi ConBeam2 memiliki hasil perhitungan yang sama persis dengan hasil perhitungan manual SNI 2847-2013, sehingga aplikasi tersebut bisa di validasi keakuratannya.
3. Dalam penelitian selanjutnya, dengan judul “Perancangan Struktur Beton dengan Menggunakan Software SAP 90 dan STAAD Pro Dalam Kajian Struktur Portal Dua Dimensi” (Wahono 2015). Yang mana dalam penelitian ini, beliau mencoba untuk membandingkan hasil analisis dengan menggunakan dua aplikasi tersebut, yang mana salah satu aplikasinya (SAP

90) mengacu pada perhitunagn SNI. Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa hasil output dari kedua aplikasi memiliki nilai yang sama, jika inpuntnya sama.

4. Dalam penelitian dengan judul “Simulasi Perhitungan Kekuatan Nominal Penampang Balok dan Kolom Beton Bertulang Berbasis *Graphical user Interface*” (Kalangi dkk 2019). Dalam penelitian ini, mereka meninjau tentang perlunya sebuah aplikasi yang gampang dan mudah digunakan untuk melakukan perhitungan kekuatan nominal penampang balok dan kolom. Dalam proses vaidasinya, penelitian ini mengacu kepada beberapa buku seperti buku karangan Agus Setiawan (2016), Ali Asroni (2017). yang mana seperti kita ketahui buku karangan Agus Setiawan mengacu pada perhitungan dengan metode SNI 2847-2013. Adapun hasil dari validasi tersebut didapatkan perbedaan yang sangat kecil, yaitu dari 0,0004 – 2,4781 %, sehingga hasil penelitiannya bisa dipergunakan.
5. Dalam penelitian yang berjudul “Studi Komparasi Perhitungan Struktur Bangunan dengan Menggunakan SNI 03-2847-2013 dan British Standard 8110-1-1997” (Ticcolau dkk 2015). Yang mana dalam penelitian tersebut membahas tentang analisis kolom, balok persegi dan pelat lantai dengan membandingkan kedua metode, yaitu metode SNI 03-2847-2013 dan British Standard 8110-0-1997 yang mana penelitian ini bertujuan tentang output dari kedua metode tersebut. Dan kesimpulan dari penelitian bahwa metode perhitungan dengan SNI 2847-2013 menghasilkan desain lebih ekonomis

dubandingkan dengan metode British Standard, dan menghasilkan output yang berbeda pula.

6. Dalam penelitian yang berjudul “Analisis Struktur Gedung Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2002 dan SNI 2847-2013” (Sartika 2017). Dalam penelitian ini, penulis membandingkan tentang kedua metode SNI tersebut dengan menerapkannya pada perhitungan balok, kolom dan pelat lantai, yang berada pada studi kasus penulis. Adapun kesimpulan dari penelitian ini, didapatkan bahwa perbandingan hasil analisis berdasarkan SNI 2847-2002 dan SNI 2847-2013 untuk pelat, balok dan kolom dari segi rasio penulangan maksimum SNI 2847-2013 lebih kecil dibandingkan SNI 2847-2002, sedangkan dari segi kekuatan SNI 2847-2013 lebih besar daripada SNI 2847-2002. Persentase selisih hasil dari analisis pelat dan balok yaitu untuk rasio penulangan maksimum secara total 41,11% dan 28,8 %.