

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Balok beton bertulang merupakan sebuah struktur dalam gedung yang berfungsi memikul beban yang ada di atasnya seperti, plat lantai pada bangunan bertingkat dan selanjutnya di distribusikan ke kolom, dan juga sebagai penguat gaya horinzontal pada bangunan. Balok beton adalah suatu komponen yang terdiri dari tulangan besi dan campuran material beton yang dicetak menjadi satu kesatuan yang kaku.

Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam yang berupa momen lentur dan gaya geser, sehingga perlu baja tulangan untuk menahan beban –beban tersebut. Tulangan tersebut berupa tulangan memanjang atau tulangan logitudinal yang menahan beban letur serta tulangan geser begel yang menahan beban geser dan torsi (Asroni, 2010). Standard Nasional Indonesia (SNI) adalah sebuah persyaratan/kelayakan mutu untuk peraturan di Indonesia.

Pada penelitian ini dilakukan perencanaan tulangan pada struktur balok beton bertulang yang dirancang dengan sistem penahan gaya gempa dan dproporsikan terutama untuk menahan gaya akibat lentur dan geser, dimana akan dilakukan analisis terhadap hasil dari output gaya dalam berdasarkan aplikasi SAP 2000 yang didesain menggunakan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012. Syarat batas dalam merencanakan tulangan lentur dan tulangan geser yang didesain tersebut tertuang dalam peraturan SNI 2847:2013.

Akibat adanya penelitian terdahulu oleh beberapa pihak yang akan menjadi alasan mengapa penelitian ini perlu dijabarkan sebagai bukti sehingga tidak adanya bentuk plagiarisme antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya telah tercantum di halaman selanjutnya sebagai berikut :

Tabel 1.1 Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya

No.	Peneliti	Judul	Tahun
1.	Sartika, Gunawan, I., Hisyam, E.S.	Analisis Struktur Gedung Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2002 dan SNI 2847-2013	2017
2.	Baehaki, Soelarso, Subandi.	<i>Redesign</i> Struktur Balok pada Gedung Kuliah FT. UNTIRTA Berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013	2019

Sumber : Nasional *e-journal*

Pada penelitian pertama pada tabel melakukan analisa struktur gedung beton bertulang berdasarkan SNI 2847-2002 dan SNI 2847-2013 yang menghasilkan , sedangkan pada penelitian kedua pada tabel mengerjakan desain ulang terhadap struktur balok pada gedung kuliah berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013 yang menghasilkan

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, pada penelitian ini dilakukan dengan merencanakan ulang struktur portal dengan SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019 sehingga kemudian membandingkannya. Maka dapat diketahui dimana perubahan, penambahan atau tetap dalam syarat perencanaan balok beton bertulang, yang mana dari permasalahan ini peneliti membuat Tugas Akhir dengan judul “**Analisa Perbandingan Penggunaan SNI 2847:2013 Dengan SNI 2847:2019 Pada Balok**”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas berdasarkan latar belakang yang telah tertera di atas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan penelitian terhadap struktur balok akibat perubahan SNI 2847 yang didesain menggunakan perbandingan kombinasi pembebanan gempa ?
2. Bagaimana perbandingan jumlah tulangan lentur terjadi pada balok akibat pengaruh perubahan gempa yang dibebankan pada perbandingan perencanaan gedung sesuai perubahan SNI 2847:2013 ke SNI 2847:2019 ?
3. Bagaimana perbandingan jumlah tulangan geser terjadi pada balok akibat pengaruh perubahan gempa yang dibebankan pada perbandingan perencanaan gedung sesuai perubahan SNI 2847:2013 ke SNI 2847:2019 ?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini perlu adanya suatu batasan masalah supaya pembahasan tidak meluas kemana-mana. Fokus utama penelitian dapat diperoleh secara sistematis dan tidak meluas dengan cara memberikat batasan masalah terhadap beberapa hal yang perlu ditinjau dalam melakukan penelitian ini. Adanya batasan analisis dapat dirincikan sebagai berikut :

1. Struktur gedung yang digunakan adalah sebuah gedung 6 lantai yang dipergunakan sebagai sebuah kampus yang berada di situs tanah keras daerah Medan.
2. Perbandingan yang dilakukan berdasarkan hasil analisis balok beton bertulang sebanyak 4 frame yang mengacu pada perencanaan struktur gedung dengan perubahan SNI pada masing-masing gedung yang direncanakan.
3. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini direncanakan menggunakan mutu beton normal $f'c$ 30 MPa.
4. Tebal selimut beton yang digunakan dalam perencanaan ditetapkan setebal 50 mm.
5. Penelitian ini dirancang berdasarkan perbandingan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik berdasarkan perbandingan gempa.

6. Data perencanaan yang digunakan terhadap analisa perbandingan pada balok beton bertulang berdasarkan asumsi data yang telah dipikirkan secara rasional dan telah dipertimbangkan terlebih dahulu.
7. Analisis gedung dilaksanakan dengan model 3D portal menggunakan aplikasi SAP 2000 v.14.
8. Komponen struktur balok beton bertulang dicor secara monolit di tempat dengan batas luas penampang memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada kajian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui luas dan jumlah tulangan lentur yang didesain berdasarkan SNI 2847:2013 akibat penggunaan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban gempa yang tercantum dalam SNI 1726-2012.
2. Mengetahui luas dan jumlah tulangan geser yang didesain berdasarkan SNI 2847:2013 akibat penggunaan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban gempa yang tercantum dalam SNI 1726-2012.
3. Mengetahui luas dan jumlah tulangan lentur yang didesain berdasarkan SNI 2847:2019 akibat penggunaan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban gempa yang tercantum dalam SNI 1726-2019.
4. Mengetahui luas dan jumlah tulangan geser yang didesain berdasarkan SNI 2847:2019 akibat penggunaan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban gempa yang tercantum dalam SNI 1726-2019.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan perbandingan analisis terhadap perubahan peraturan yang ditetapkan terhadap perencanaan balok beton bertulang yang diharapkan memperoleh manfaat sebagai berikut :

1. Mengetahui perbandingan hasil analisis terhadap tulangan lentur yang didesain pada balok menggunakan SNI 2847:2013 dengan SNI 2847:2019 akibat penggunaan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban gempa pada SNI 1726-2012.

2. Mengetahui perbandingan hasil analisis terhadap tulangan lentur yang didesain pada balok menggunakan SNI 2847:2013 dengan SNI 2847:2019 akibat penggunaan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban gempa pada SNI 1726-2019.
3. Sebagai bahan acuan pembangunan struktur balok SRPMK yang akan direncanakan dikemudian hari dengan melihat hasil perbandingan berdasarkan SNI 2847:2013 dengan SNI 2847:2019 pada balok, seperti menghasilkan kekuatan lentur melebihi kekuatan retak dengan cukup besar.
4. Sebagai bahan pertimbangan perancangan mana yang lebih aman dan ekonomis terhadap balok yang di rencanakan.
5. Analisa tersebut diharapkan menghasilkan sebuah balok yang mampu bertahan setelah terjadinya retak lentur, dengan retak dan lendutan yang terlihat, dengan demikian memperingatkan kemungkinan kelebihan beban.

1.6 Keaslian Penelitian

Keaslian pada analisa ini adalah perbandingan penggunaan SNI 2847:2013 dengan SNI 2847:2019 pada balok beton bertulang. Namun pada penelitian ini diidentifikasi oleh beberapa hal yang membedakannya dengan penelitian lainnya, antara lain: (1) Struktur dan model bangunan, (2) Lokasi bangunan, (3) Data perencanaan yang digunakan, (4) Pemakaian peraturan SNI 2847:2013 dengan SNI 2847:2019 pada balok, (5) Pemakaian *Software* SAP 2000 v.14.0.0

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Balok

Balok beton adalah bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser. Menurut Prof Widodo dalam buku “Analisis Tegangan Regangan” beton memiliki rangka yang terjadi pada beton yang dibebani secara tetap dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu pada balok beton dikenal istilah *short-term (immediate) deflection* dan *long-term deflection*

2.1.1 Klasifikasi balok

Pada dasarnya balok merupakan struktur bangunan yang sangat penting, dimana kemampuan balok sebagai pemikul beban mampu menimbulkan momen lentur serta mengakibatkan terjadinya deformasi lentur terhadap balok. Deformasi tersebut diharapkan mampu dipikul oleh balok sebagaimana fungsi dari balok itu sendiri, agar balok yang direncanakan aman terhadap tegangan tekan yang terjadi pada serat atas serta tegangan tarik yang terjadi pada serat bawah balok. Oleh sebab itu, balok diklasifikasikan berdasarkan 3 bagian, yaitu berdasarkan penampangnya dan tumpuannya serta jenis tulangan yang digunakan.

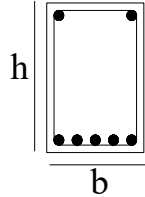
A. Berdasarkan penampangnya

Dalam sebuah konstruksi suatu gedung terdapat beberapa jenis balok berdasarkan pada bentuk penampangnya, sebagai berikut :

1. Balok Persegi

Berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019 memiliki syarat yang sama untuk ketinggian minimum balok. Pada SNI 2847:2019 yang terdapat pasal 9.3.1 memberikan batasan pada tinggi balok minimum untuk balok nonprategang yang tidak tertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan

pelat h tidak boleh kurang dari batas maksimum, hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.1 sebagai berikut :



Gambar 2.1 Penampang Balok Persegi

Sumber: Ali Asroni, 2010

Tabel 2.1 Tinggi Minimum Balok Non-Prategang

Kondisi perletakan	Minimum $h^{[1]}$
Perletakan sederhana	$L/16$
Menerus satu sisi	$L/18,5$
Menerus dua sisi	$L/21$
Kantilever	$L/8$

^[1]Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan tulangan mutu 420. Untuk kasus lain, minimum h harus dimodifikasi sesuai dengan poin (a) hingga

(c) sebagaimana mestinya.

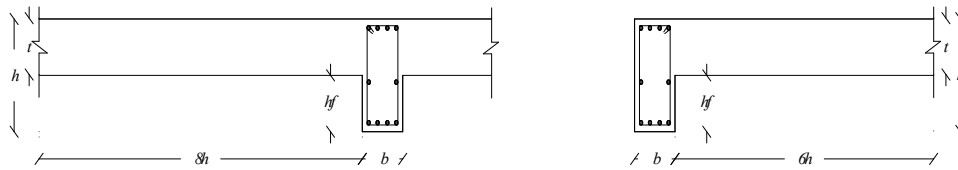
Sumber: SNI 2847:2019

2. Balok L/T

Berdasarkan SNI 2847-2019 (persyaratan beton untuk struktural bangunan gedung) yang tercantum dalam pasal 6.3.2 memberikan pembatasan terhadap dimensi lebar sayap efektif untuk balok T sebagai berikut :

- Untuk Balok-T nonprategang yang dibuat menyatu (monolit) atau pelat komposit, lebar efektif sayap b_f harus mencakup lebar badan balok b_w ditambah lebar efektif sayap yang menjorok sesuai Tabel 2.2, dimana h adalah ketebalan pelat dan s_w adalah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan.

- Balok-T nonprategang terpisah, dimana sayap T-nya diperlukan untuk menambah luas daerah tekan, harus mempunyai ketebalan sayap tidak kurang atau sama dengan $0,5b_w$ dan lebar efektif sayap tidak lebih atau sama dengan $4b_w$. Jika balok beton terpotong dibagian bawahnya hingga menyerupai T, namun memiliki kekuatan yang setara dengan bentuk persegi panjang, (Asroni, 2010).



Gambar 2.2 Balok T dan Balok L

Sumber: Ali Asroni, 2010

Tabel 2.2 Batasan Dimensi Untuk Lebar Sayap Balok T

Lokasi sayap	Lebar sayap efektif, diluar penampang balok	
Kedua sisi balok	Sekurangnya :	$8h$
		$s_w/2$
		$Ln/8$
Satu sisi balok	Sekurangnya :	$6h$
		$s_w/2$
		$Ln/12$

Sumber: SNI 2847:2019

Adapun pada SNI 2847:2019 yang tercantum pada pasal 8.3.1 memberikan ketebalan minimum yaitu sebagai berikut :

- Untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan pada Tabel 2.3, dan memiliki nilai terkecil antara (i) atau (ii), kecuali batasan lendutan dari dipenuhi.
 - Pelat tanpa *drop panel* = 125 mm
 - Pelat dengan *drop panel* = 100 mm

- Untuk pelat nonprategang dengan balok membentang diantara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan lendutan yang dihitung terpenuhi. Pada pelat tepi tidak menerus yang sesuai Tabel 2.3, harus disediakan balok tepi dengan $\alpha_f \geq 0,80$ atau ketebalan minimum harus memenuhi (b) atau (d) pada Tabel 2.4 dan harus diperbesar paling sedikit 10 persen pada panel tepi yang tidak menerus.

Tabel 2.3 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior (mm)^[1]

f_y MPa ^[2]	Tanpa drop panel ^[3]			Dengan drop panel ^[3]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]	
280	Ln/33	Ln/36	Ln/36	Ln/36	Ln/40	Ln/40
420	Ln/30	Ln/33	Ln/33	Ln/33	Ln/36	Ln/36
520	Ln/28	Ln/31	Ln/31	Ln/31	Ln/34	Ln/34

^[1]Ln adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)
^[2]Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear
^[3]Drop panel sesuai dengan (8.2.4)
^[4]Pelat dengan balok diantara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_f kurang dari 0,8.

Sumber: SNI 2847:2019

Tabel 2.4 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya

α_{fm} ^[1]	h minimum, mm		Keterangan
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	Tercantum pada (i) dan (ii)		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari :	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari :	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

Sumber: SNI 2847:2019

B. Berdasarkan tumpuannya

Ada beberapa jenis tumpuan yang umum terdapat pada balok yang sering direncanakan, antara lain:

1. Balok tumpuan sederhana

Balok yang mempunyai tumpuan pada ujung kolom, dinamis dalam berotasi dan momen tahan nol atau yang lebih sering disebut satunya bertumpu sendi (dua arah gaya horizontal dan vertical) dan satunya bertumpuan roll (gaya berarah horizontal).

2. Balok kantilever

Batang struktur horizontal yang hanya memiliki salah satu tumpuan yaitu jepit/fix (gaya horizontal, gaya vertical, dan momen) dan ujung yang lain bebas. Balok kantilever yang menopang beban gravitasi akan memperoleh momen negatif di seluruh panjang balok. Oleh karena itu penulangan pada balok kantilever membutuhkan besi yang lebih banyak tergantung pada besarnya beban yang diterima.

3. Balok teritisan (*Overhanging*)

Balok yang bentuknya memanjang di tumpuan kolom. Balok dengan ujungnya yang tetap terkait kuat guna menopang besarnya gaya translasi dan rotasi yang dikarenakan beban sendiri maupun beban luar.

4. Balok kontinu

Balok kontinu adalah balok yang memiliki tumpuan diantara tumpuan yang paling terluarnya dan tersusun secara berkelanjutan pada jarak tertentu. Balok kontinu ini sering digunakan dikarenakan apabila menggunakan balok beton dan baja hanya memiliki panjang efektif bentang sebesar 6-8 meter. Untuk itu diperlukan tumpuan pada tengah bentang balok guna untuk menambah kekuatan juga dapat memperkecil penampang balok yang digunakan.

C. Berdasarkan tulangan yang digunakan

Beberapa tulangan yang sering dipakai dalam merencanakan balok, dapat dilihat sebagai berikut :

- a) Balok beton bertulang tunggal disebut juga dengan balok bertulangan sebelah dimana penampang beton pada balok menghitung tulangan yang hanya memberikan hasil tulangan longitudinal tarik saja.
- b) Balok beton bertulang rangkap ialah balok beton yang diberi tulangan pada penampang beton daerah tarik dan daerah tekan, tambahan tulangan longitudinal tekan disebabkan balok akan lebih mampu menerima beban yang berupa momen lentur, selain itu juga berfungsi untuk memperkuat kedudukan begel balok, serta sebagai tulangan pembentuk balok agar mudah dalam pelaksanaan pekerjaan beton.

2.1.2 Syarat dan prinsip perancangan balok

Dalam tahap merencanakan sebuah penampang balok semakin teliti batasan atau syarat dan prinsip, maka desain yang direncanakan akan semakin mudah untuk diselesaikan. Berikut ini telah dirangkum untuk syarat dan prinsip yang telah direncanakan terhadap penampang balok.

A. Syarat perancangan balok

Berikut merupakan persyaratan untuk desain penampang balok secara umum, yang telah disesuaikan berdasarkan peraturan yang ada, yaitu :

1. Balok beton komposit yang dibangun dengan pengecoran terpisah tetapi disambung satu sama lain sehingga semua komponen memikul beban sebagai satu kesatuan
2. Tinggi balok minimum yang tercantum dalam Tabel 2.1
3. Balok yang tidak diberi pengaku lateral secara menerus, harus memiliki spasi pengaku lateral dengan jarak kurang dari 50 kali lebar sayap atau muka yang tertekan serta harus memperhitungkan pengaruh beban eksentris
4. Pada konstruksi balok-T monolitik atau komposit sepenuhnya, pada bagian sayap balok diambil dari sebagian pelat.

5. Tulangan pelat lentur pada sayap balok-T harus sejajar dan tegak lurus terhadap sumbu longitudinal balok.
6. Batasan lendutan yang diizinkan terjadi setelah balok menjadi komposit harus diperiksa sesuai pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Jenis komponen struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar		Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	$\ell/180^{(1)}$
Lantai			Lendutan seketika akibat L	$\ell/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup ⁽²⁾	$\ell/480^{(3)}$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		$\ell/240^{(4)}$

Sumber : SNI 2847:2019

B. Prinsip perancangan balok beton bertulang

Sartika, Gunawan, & Hisyam, 2017, melakukan analisa pada sebuah bangunan gedung yang dimana beban yang dipikul adalah beban lentur, beban geser serta beban torsi, sehingga dibutuhkan pula tulangan memanjang dan tulangan longitudinal dengan perhitungan menggunakan SNI 2847-2013 lebih murah dari pada menggunakan metode *British Standard 8110-1-1997*.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan balok yang telah dirangkum sebagai berikut :

1. Panjang bentang balok
2. Jarak antar balok
3. Besarnya beban yang dipikul oleh balok
4. Jenis material yang digunakan
5. Bentuk dan ukuran penampang balok

2.2 Syarat Batas Desain Balok

Sebuah desain yang telah direncanakan harus memenuhi peraturan dan standar yang telah ditetapkan. Pada analisis kali terdapat beberapa perbandingan yang cukup signifikan dalam merencanakan sebuah struktur balok pada jenis gedung struktur beton bertulang untuk gedung kampus berlantai 6. Perbandingan tersebut telah dirangkum dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Perbandingan Peraturan Perencanaan Balok Berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019

Uraian	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019
Panjang bentang bersih, ℓ_n	Panjang bentang harus diambil dari jarak pusat ke pusat tumpuan	Panjang bentang bersih, harus lebih besar atau nilai minimal 4 kali tinggi efektif. ($\ell_n \geq 4.d$)
Lebar penampang, b_w	$b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm	$b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm tidak boleh melebihi nilai terkecil dari lebar kolom, c_2 atau 0,75 kali dimensi kolom
Tebal selimut beton	Untuk D-19 yang terpapar cuaca setebal 50 mm	Untuk D-19 yang terpapar cuaca setebal 50 mm
Rasio tulangan, ρ	$\rho_{max} = 0,025$ $\rho_{min} = 1,4b_w d / f_y$ Syarat : Paling sedikit 2 batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.	$\rho = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right]$ $\rho_{max} = 0,025$ $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$ $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
Penampang struktur lentur dan Faktor reduksi, ϕ	Terkendali tarik $\phi = 0,9$ Terkendali tekan, $\phi = 0,75$ Transisi ($0,002 < \varepsilon_t < 0,004$)	$\varepsilon_{ty} \leq \varepsilon_t$ $\phi = 0,9$ $\varepsilon_t \geq 0,005$, $\phi = 0,6$ Transisi ($\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$) $0,65 + 0,25 \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$
Diameter tulangan lentur	Lentur \geq D16	Lentur \geq D16
Diameter tulangan sengkang	D10, Tulangan longitudinal < D32 D13, Tulangan longitudinal > D36	D10, Tulangan longitudinal < D32 D13, Tulangan longitudinal > D36
Spasi tulangan	$0,8h$ sampai $d/2$ Untuk $h > 400$ mm, $s = 380(280/f_s) - 2,5Cc$, dimana : $f_s = 2/3f_y$	$1,5 d_b$ atau 40 mm $3h$ atau 450 mm

Sumber : Sartika, Gunawan, I., Hisyam, E.S., 2017

2.3 Sistem Pembebanan

Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia, pembebanan berarti proses, cara, perbuatan membebani atau membebankan. Dalam hal ini yaitu suatu proses atau cara pembebanan suatu elemen struktur terhadap tinjauan tertentu.

2.3.1 Beban mati

Beban mati adalah beban konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai atap, plafond, tangga, dinding partisi tetap, finishing, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan. Dalam hal ini dapat berupa:

1. Beban mati akibat berat sendiri

Beban mati didefinisikan sebagai beban yang ditimbulkan oleh elemen-elemen struktur bangunan, seperti; pelat atap, pelat lantai, balok, kolom. Beban ini akan dihitung secara otomatis oleh program SAP 2000.

2. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen-elemen tambahan atau finishing yang bersifat permanen. Beban mati yang akan dipikul oleh gedung direncanakan dalam Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

Tabel 2.7 Beban Mati per m² pada lantai 1-5

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)	Diambil dari
Keramik spesi	1,10	(ASCE 7-10 Table C3-1, Ceramic, or quarry tile (19mm), on 25 mm)
Ducting mekanikal	0,19	(ASCE 7-10 Table C3-1, Mechanical Duct Allowance)
Penggantung langit-langit	0,1	(ASCE 7-10 Table C3-1, Suspended Steel Channel System)
Plafon	0,05	(ASCE 7-10 Table C3-1, Acoustical fiberboard)
Total	1,44	Beban mati per m ² pada lantai

Sumber: SNI 1727:2020

Tabel 2.8 Beban Mati per m² pada lantai 6

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)	Diambil dari
Lapisan <i>waterproofing</i>	0,05	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Waterproofing Membranes Liquid Applied</i>)
<i>Ducting</i> mekanikal	0,19	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Mechanical Duct Allowance</i>)
Penggantung langit-langit	0,1	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Suspended Steel Channel System</i>)
Plafon	0,05	(ASCE 7-10 Table C3-1, <i>Acoustical fiberboard</i>)
Total	0,39	Beban mati per m ² pada atap

Sumber: SNI 1727:2020

2.3.2 Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pgunan dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban kontruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir.

Tabel 2.9 Beban hidup per m² pada gedung

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)	Diambil dari
Beban hidup lantai 1-5		
Lantai hunian	1,92	(SNI 1727:2018, Tabel 4.3-1, Sekolah)
Beban partisi	0,72	(SNI 1727:2018 Pasal 4.3.2, Ketentuan untuk partisi)
Total	2,64 kN/m ²	Beban hidup per m ² pada lantai
Beban hidup lantai 6		
Atap	0,96	(SNI 1727:2018, Tabel 4.3-1, Atap datar)
Total	0,96 kN/m ²	Beban hidup per m ² pada atap

Sumber: SNI 1727:2020

2.3.3 Beban gempa

Beban gempa adalah semua beban yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan dari pergerakan tanah akibat terjadinya bencana gempa bumi. Pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan analisa dinamik, maka yang diartikan dalam beban gempa itu gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh tanah akibat gempa itu sendiri.

Pengaruh beban seismik (E) harus ditentukan sesuai dengan ketentuan sebagai berikut :

$$E = E_h + E_v \quad (2.1)$$

$$E = E_h + E_v \quad (2.2)$$

Dimana :

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.3)$$

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (2.4)$$

2.3.4 Kombinasi pembebanan

A. Berdasarkan SNI 1726-2012

Berdasarkan pasal 7.4.2.3 kombinasi beban gempa yang tercantum dalam SNI 1726-2012 maka, struktur gedung harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi sebagai berikut :

1. $1,2DL + 1,0E + LL$
2. $0,9DL + 1,0E$

Pada kombinasi pertama disubstitusikan dengan persamaan (2.1) sedangkan pada kombinasi kedua disubstitusikan dengan persamaan (2.2), dimana beban gempa arah horisontal dan vertikal disubstitusikan dengan persamaan (2.3) dan (2.4). Setelah dilakukan substitusi dengan pengaruh beban gempa dan nilai faktor redundansi sebesar, $\rho = 1,3$ yang tercantum dalam pasal 7.3.4.2.

Maka diperoleh nilai input untuk struktur gedung dengan kombinasi pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 adalah sebagai berikut :

$$\text{COMB1 : } 1,2DL + 1,0Ex + LL$$

$$= 1,2DL + 1,0(E_h + E_v)x + 1,0LL$$

$$= 1,2DL + 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * DL))x + 1,0LL$$

$$= (1,2 + 0,2 * S_{DS})DL + 1,0(1,3Q_E)x + 1,0LL$$

$$= aDL + 1,3Q_{Ex} + 1,0LL$$

$$\text{COMB2 : } 1,2DL + 1,0Ey + LL$$

$$= 1,2DL + 1,0(E_h + E_v)y + 1,0LL$$

$$= 1,2DL + 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * DL))y + 1,0LL$$

$$= (1,2 + 0,2 * S_{DS})DL + 1,0(1,3Q_E)y + 1,0LL$$

$$= aDL + 1,3Q_{Ey} + 1,0LL$$

$$\text{COMB3 : } 0,9DL + 1,0Ex$$

$$= 0,9DL + 1,0(E_h - E_v)x$$

$$= 0,9DL + 1,0((\rho * Q_E) - (0,2 * S_{DS} * DL))x$$

$$= (0,9 - 0,2 * S_{DS})DL + 1,0(1,3Q_E)x$$

$$= bDL + 1,3.Q_{Ex}$$

$$\text{COMB4 : } 0,9DL + 1,0Ex$$

$$= 0,9DL + 1,0(E_h - E_v)y$$

$$= 0,9DL + 1,0((\rho * Q_E) - (0,2 * S_{DS} * DL))y$$

$$= (0,9 - 0,2 * S_{DS})DL + 1,0(1,3Q_E)y$$

$$= bDL + 1,3.Q_{Ey}$$

B. Kombinasi pembebanan SNI 1726-2019

Berdasarkan pasal 4.2.2.3 kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik yang tercantum dalam SNI 1726-2019 maka, struktur gedung harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi sebagai berikut :

1. $1,2DL + E_v + E_h + LL$
2. $0,9DL - E_v + E_h$

Pada kombinasi diatas pengaruh beban gempa arah horisontal dan vertikal disubstitusikan dengan persamaan (2.3) dan (2.4), setelah dilakukan substitusi dengan pengaruh arah beban gempa serta nilai faktor redundansi sebesar, $\rho = 1,3$ yang tercantum dalam pasal 7.3.4.2, maka diperoleh nilai input kombinasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{COMB1} &: 1,2DL + 1,0(E_h + E_v)x + 1,0LL \\ &= 1,2DL + 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * DL))x + 1,0LL \\ &= (1,2 + 0,2 * S_{DS})DL + 1,0(1,3Q_E)x + 1,0LL \\ &= aDL + 1,3Q_{Ex} + 1,0LL\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{COMB2} &: 1,2DL + 1,0(E_h + E_v)y + 1,0LL \\ &= 1,2DL + 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * DL))y + 1,0LL \\ &= (1,2 + 0,2 * S_{DS})DL + 1,0(1,3Q_E)y + 1,0LL \\ &= aDL + 1,3Q_{Ey} + 1,0LL\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{COMB3} &: 0,9DL - 1,0(E_h + E_v)x \\ &= 0,9DL - 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * DL))x \\ &= (0,9 + 0,2 * S_{DS})DL - 1,0(1,3Q_E)x \\ &= bDL - 1,3.Q_{Ex}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{COMB4} &: 0,9DL - 1,0(E_h + E_v)y \\ &= 0,9DL - 1,0((\rho * Q_E) + (0,2 * S_{DS} * DL))y \\ &= (0,9 + 0,2 * S_{DS})DL - 1,0(1,3Q_E)y \\ &= bDL - 1,3.Q_{Ey}\end{aligned}$$

2.4 Analisa Gempa Rencana

Setiap struktur harus dianalisis untuk pengaruh gaya lateral statik yang diaplikasikan secara independen dikedua arah ortogonal. Pada setiap arah yang ditinjau, gaya lateral statik harus diaplikasikan secara simultan di tiap lantai. Beberapa ketentuan umum yang menentukan dalam menganalisis gaya gempa lateral statik ekuivalen pada struktur gedung yang direncanakan telah dijabarkan pada Tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2.10 Prosedur analisis yang diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen	Analisis spektrum respons ragam	Prosedur respon riwayat waktu seismik
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4, atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan :

I = Diziinkan, TI = Tidak Diizinkan

Sumber: SNI 1726-2019

Pada perhitungan gaya geser gempa secara statik ekuivalen ini memiliki langkah pengerjaan berdasarkan SNI 1726-2019 sebagai berikut:

- a) Tentukan nilai faktor keutamaan gempa, I_e , berdasarkan Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726-2019

- b) Tentukan Kategori Desain Seismik (KDS) berdasarkan jenis pemanfaatan serta nilai S_{DS} dan S_{DI} dengan melihat pada Tabel 2.12 sampai dengan Tabel 2.16.

Tabel 2.12 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedag dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulance, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang termasuk ke dalam risiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 2.13 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \leq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Catatan :

- (a) SS = Situs yang memerlukan invetigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 2.14 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_s					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \leq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Catatan :

- (a) SS = Situs yang memerlukan invetigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs-spesifik

Sumber: SNI 1726-2019

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$s_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5)$$

$$s_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.6)$$

Tabel 2.15 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 2.16 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726-2019

- c) Tentukan nilai koefisien C_t dan x berdasarkan Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

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

Sumber: SNI 1726-2019

d) Tentukan nilai koefisien modifikasi respons, R, sesuai Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Faktor R, Cd dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem rangka pemikul momen	Koefisien modifikasi respons, R ^(a)	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0 ^(b)	Faktor pembesaran defleksi, C_d ^(c)	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^(d)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^(e)	E ^(e)	F ^(f)
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^K	TI ^K	TI ^K
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^I	TI ^I	TI ^I
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	5	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 2.19 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

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

Sumber: SNI 1726-2019

e) Hitung nilai periode struktur, T_a

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.7)$$

f) Hitung faktor k berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

- Jika $T_a \leq 0,5$ maka $k = 1$
- Jika $0,5 < T_a < 2,5$ maka dilakukan hitungan interpolasi linear

$$y = y_1 + (y_2 - y_1) \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right)$$

- Jika $T_a \geq 2,5$ maka $k = 2$

g) Hitung nilai koefisien respons seismik, C_s

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

➤ Dengan syarat batasan maksimal, sebagai berikut :

- Untuk $T \leq T_L$ maka batasan maksimal $C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$
- Untuk $T \geq T_L$ maka batasan maksimal $C_{s \max} = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)}$

➤ Dengan syarat batasan minimal, sebagai berikut :

- $C_{s \min} = 0,004 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$
- Jika, $S_1 > 0,6g$, maka batasan minimal adalah $C_{s \min} = \frac{0,5S_1}{R/I_e}$

h) Hitung nilai gaya geser dasar seismic, V

Gaya geser dasar seismic, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = Cs.W \quad (2.9)$$

i) Menghitung distribusi horizontal gaya seismic

Untuk masing-masing tingkat struktur, hitung nilai faktor distribusi vertikal :

$$Cvx = \frac{Wx.H_x^k}{\sum_i^n Wi.H_i^k} \quad (2.10)$$

Sehingga analisis gaya gempa statik ekuivalen yang timbul pada setiap tingkat gedung yang direncanakan dirumuskan dalam persamaan gaya gempa lateral, F_x sebagai berikut :

$$F_x = Cvx.V \quad (2.11)$$

2.5 Analisa Penulangan

Analisa tulangan pada penampang balok yang direncanakan dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan perbandingan penggunaan peraturan yang tercantum dalam SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019, dimana kajian utama yang dibahas merupakan perencanaan tulangan lentur dan tulangan geser akibat penggunaan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 yang membebani struktur gedung telah terangkum pada anak sub bab di bawah ini.

2.5.1 Berdasarkan SNI 2847:2013

A. Desain tulangan longitudinal balok

Tulangan longitudinal (tulangan memanjang) yaitu tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada penampang struktur beton bertulang. Terutama pada struktur balok diupayakan agar tulangan longitudinal dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik. Untuk serat-serat balok bagian atas yang mengalami tegangan tekan akan ditahan oleh beton, sedangkan serat-serat balok yang mengalami tegangan tarik akan ditahan oleh baja tulangan guna memanfaatkan kekuatan beton dan baja dengan sebaik-baiknya.

Dalam menentukan jumlah dan jarak tulangan lentur telah tertera sebagai berikut :

- i. Jarak bersih antar tulangan

$$s = (b - 2.C_c - 2d_s - n.d_b)/(n - 1) \quad (2.12)$$

Spasi bersih antar batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar d_b tetapi tidak kurang dari 25 mm.

- ii. Batas jumlah tulangan

$$n = As/(1/4.\pi.d^2) \quad (2.13)$$

- iii. Luas tulangan, As

Dikatakan balok dalam keadaan seimbang, maka gaya tekan beton akan sama dengan gaya tarik baja tulangan

$$As = n \frac{\pi}{4} d_b^2 \quad (2.14)$$

$$As, \min = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2.15)$$

Kontrol As : tidak lebih kecil dari $1,4b_w d/f_y$.

- iv. Tinggi efektif penampang, d

$$d = h - C_c - d_s - \frac{d_b}{2} \quad (2.16)$$

- v. Rasio tulangan, ρ :

$$\rho_b = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.17)$$

dengan $\rho_{max} = 0,025$, dan $\rho_{min} = 0,0025$

vi. Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen, a :

$$a = \beta_1 c \quad (2.18)$$

dengan :

$$0,65 \leq \beta = 0,85 - 0,05(f'_c - 28)/7 \leq 0,85 \quad (2.19)$$

$$c = 0,85 f'_c \quad (2.20)$$

vii. Regangan pada balok, ε

- Regangan tekan beton :

$$\varepsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 d - a} \cdot \varepsilon_y \leq 0,003 \quad (2.21)$$

- Jika beton memiliki regangan tekan yang melebihi 0,003 maka beton suda rusak dan sangat berbahaya, kemungkinan terburuk akan menyebabkan runtuh seketika tanpa adanya tanda lendutan yang semakin membesar. Namun juga bahwa ε itu besaran tak berdimensi sebab hanya sebagai angka perbandingan saja. (Soemono, 1993)

- Regangan tarik pada saat leleh

$$\varepsilon_y = f_y / E_s \quad (2.22)$$

- Regangan tarik :

$$\varepsilon_s = (d - c) / c * 0,003 \quad (2.23)$$

viii. Kekuatan lentur nominal, M_n :

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.24)$$

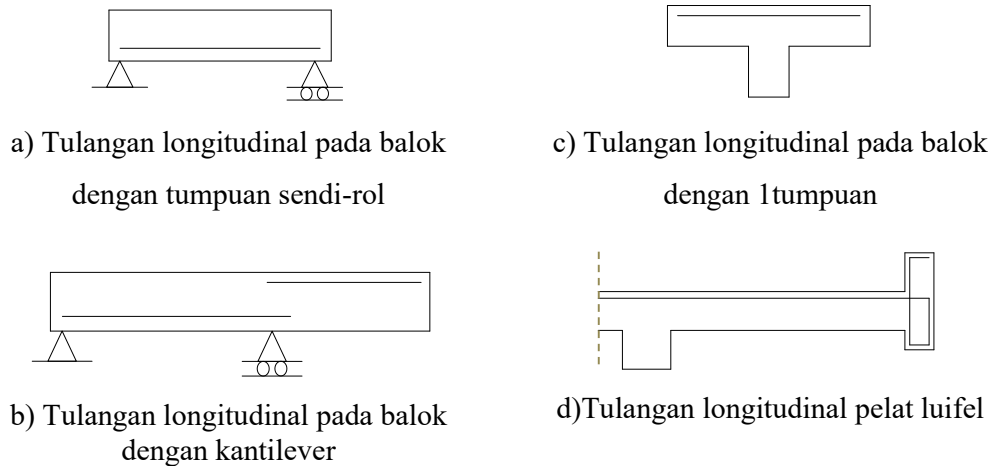
kontrol : $\phi M_n \geq M_u$

dengan $0,65 \leq \phi = 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9$

Sehingga diperoleh nilai A_s perlu sebagai berikut :

$$A_{s,perlu} = \frac{M_u}{f_y (d - a/2)} \quad (2.25)$$

Tulangan longitudinal yang dipasang searah sumbu balok, beberapa contoh pemasangan tulangan longitudinal pada balok maupun pelat dapat dilihat pada Gambar 2.3.

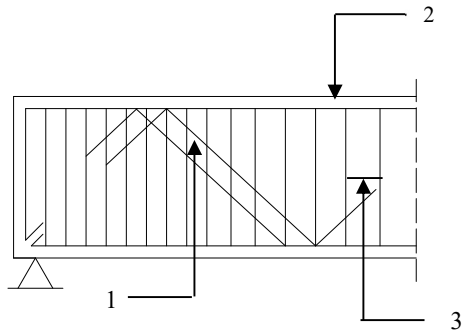


Gambar 2.3 Jenis pemasangan tulangan longitudinal pada balok
 Sumber: Ali Asroni, 2010

B. Desain tulangan geser (sengkang)

Tulangan geser yaitu tulangan yang berfungsi untuk menahan retakan beton pada struktur balok yang terjadi di daerah ujung balok yang dekat dengan tumpuan, Retakan yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya geser atau gaya lintang balok yang cukup besar. Maka oleh itu diperlukan tulangan geser yang berupa tulangan-miring/tulangan serong atau berupa sengkang/begel.

Tipe tulangan geser yang digunakan berupa tulangan sengkang yang tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur. Tulangan geser terdiri dari sengkang bersudut 45 derajat atau lebih dengan tulangan tarik longitudinal yang dibengkokkan hingga membuat sudut sebesar 30 derajat serta kombinasi sengkang dan tulangan longitudinal yang dibengkokkan. Sedangkan spasi yang digunakan tidak boleh melebihi $d/2$ pada komponen struktur yang direncanakan.



Keterangan Gambar 2.5:

1. Tulangan miring / tulangan serong
2. Tulangan memanjang / tulangan longitudinal
3. Tulangan sengkang / begel

Gambar 2.4 Pemasangan tulangan geser balok (*digambar setengah bentang*)

Sumber: Asroni, A., 2010

Desain yang digunakan untuk batang tulangan D-16 atau yang lebih kecil dengan f_{yt} sebesar 280 MPa atau kurang digunakan kait standar mengelilingi tulangan memanjang. Sedangkan untuk sengkang D-19 atau yang lebih besar dengan f_{yt} lebih besar dari 280 MPa digunakan kait sengkang standar mengelilingi batang tulangan memanjang ditambah penanaman antara tengah tinggi komponen struktur dan ujung kait yang sama atau lebih besar dari $0,17 \cdot d_b \cdot f_{yt} / (\lambda \sqrt{f'_c})$.

Beberapa rumusan yang digunakan dalam dasar perencanaan perhitungan tulangan geser/begel balok yang tercantum didalam pasal-pasal pada SNI 2847:2013 adalah sebagai berikut :

i. Gaya desain geser

Arah gaya geser, V_e tergantung pada besaran relatif beban grafitasi dan geser dihasilkan oleh momen-momen ujung, sebagai berikut :

$$V_e = V_g + V_{pr} \quad (2.26)$$

dimana :

V_g diperoleh dari hasil input berdasarkan kombinasi yang direncanakan.

$$V_{pr} = (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \quad (2.27)$$

Untuk nilai M_{pr}^+ dan M_{pr}^- balok yang merangkak kedalam *joint* balok-kolom berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar $1,25f_y$ dimana kedua momen ujung tersebut harus ditinjau dalam kedua arah searah jarum jam.

- ii. Untuk gaya geser rencana, gaya geser nominal, yang ditahan oleh beton dan tulangan geser/begel dirumuskan sebagai berikut :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.28)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.29)$$

- iii. Untuk gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c)

Tahanan geser beton dihitung dengan mengasumsikan $V_c = 0$ apabila memenuhi kedua syarat sebagai berikut :

- Gaya geser yang ditimbulkan mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum

$$V_{pr} \geq 1/2 V_e \quad (2.30)$$

- Gaya tekan aksial terfaktor

$$P_u < A_g f_c' / 20 \quad (2.31)$$

Namun untuk komponen struktur rangka momen khusus yang direncanakan menahan beban gaya gempa dan gaya tekan aksial terfaktor, P_u akibat sebarang kombinasi beban maka digunakan sebagai berikut :

$$P_u < A_g f_c' / 10 \quad (2.32)$$

Apabila memenuhi, maka :

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

Dimana, $\lambda=1,0$ jika digunakan beton normal

- iv. Spasi begel (s)

Nilai s diukur dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal dimana harus memenuhi syarat batas nilai sebagai berikut :

- Untuk : $s \leq \frac{d}{2}$ dan $s \leq 600 \text{ mm}$; $V_s < 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ (atau $1/2 V_{s \text{ maks}}$)
- Untuk : $s \leq \frac{d}{2}$ dan $s \leq 300 \text{ mm}$; $V_s < 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ (atau $1/2 V_{s \text{ maks}}$)

- v. Luas tulangan geser per meter panjang balok yang diperlukan ($A_{v,u}$) dihitung dengan memilih nilai terbesar dari rumus berikut :

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_s^2 \quad (2.34)$$

- vi. Gaya geser yang ditahan oleh begel (V_s) dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s} \quad (2.35)$$

Dimana :

$$V_{s \text{ maks}} = 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (2.36)$$

Syarat : $V_s \leq V_{s \text{ maks}}$, Jika $V_s > V_{s \text{ maks}}$, maka ukuran balok diperbesar

- vii. Kontrol kapasitas :

$$\phi V_n / V_u \geq 1 \quad (2.37)$$

dimana : $\phi = 0,75$ (berdasarkan pasal 9.3.2.7)

2.5.2 Berdasarkan SNI 2847:2019

A. Desain tulangan lentur

Tulangan lentur minimum pada balok memiliki luas minimum, $A_{s,min}$ yang harus disediakan pada tiap penampang dimana tulangan tarik dibutuhkan sesuai analisis untuk menghasilkan kekuatan lentur melebihi kekuatan retak dengan cukup besar. Hal ini bertujuan agar menghasilkan sebuah balok yang mampu bertahan setelah terjadinya retak lentur serta memperingatkan kemungkinan kelebihan beban.

Jumlah tulangan lentur (A_s), dengan sedikitnya harus digunakan 2 buah tulangan menerus pada bagian atas maupun pada bagian bawah penampang. Untuk balok statis tertentu dengan sayap dalam keadaan tarik maka b_w harus lebih kecil dari b_f dan $2b_w$ sedang nilai $A_{s,min}$ tidak boleh kurang dari nilai persamaan terkecil (2.20a) atau (2.20b) dibawah ini sesuai pasal 9.6.1.2 namun Jika A_s disediakan minimal sepertiga lebih besar dari A_s analisis pada setiap penampang maka tidak perlu memenuhi syarat sebagai berikut :

$$a) A_{s,min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2.38a)$$

$$b) A_{s,min} = \frac{1,4}{f_y} b_w d \quad (2.38b)$$

Tulangan harus diteruskan melewati titik dimana tulangan tersebut tidak lagi diperlukan untuk menahan lentur dengan jarak setidaknya yang terbesar dari d dan $12d_b$ kecuali pada tumpuan sederhana dan kantilever. Batasan desain kekuatan lentur yang dipikul harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut :

$$\phi M_{n\ ki}^+ \geq \frac{1}{2} \phi M_{n\ ki}^- \quad (2.39)$$

$$\phi M_{n\ ka}^+ \geq \frac{1}{2} \phi M_{n\ ka}^- \quad (2.40)$$

dimana : ϕM_n^+ atau $\phi M_n^- \geq \frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar})$

B. Desain tulangan geser (sengkang)

Tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dalam komponen struktur geser yaitu tulangan yang berfungsi untuk menahan retakan beton pada struktur balok yang terjadi di daerah ujung balok yang dekat dengan tumpuan, Retakan yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya geser atau gaya lintang balok yang cukup besar. Ukuran tulangan geser harus sekurang-kurangnya digunakan berdasarkan poin (a) atau (b), sebagai berikut :

- a) D10 untuk tulangan longitudinal dengan diameter D32 atau lebih kecil
- b) D13 untuk tulangan longitudinal dengan diameter D36 dan lebih besar dan untuk bundel tulangan longitudinal.

Maka oleh itu diperlukan tulangan geser yang berupa tulangan miring atau tulangan serong atau berupa sengkang/begel. Tulangan geser sepanjang daerah yang didefinisikan sebelumnya harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_C = 0$ bilamana kedua a) dan b) terpenuhi:

- a) Gaya geser akibat gempa yang dihitung lebih besar atau sama dengan 50% dari kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut atau mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- b) Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$.

c) Menghitung nilai kekuatan lentur, M_{pr} sebagai berikut :

$$M_{pr} = A_s \cdot (1,25 \cdot f_y) \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.41)$$

Dimana untuk menentukan tinggi balok tegangan pada beton, a sebesar :

$$a = \frac{A_s \times 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2.42)$$

d) Menghitung gaya geser, V_u sebagai berikut :

$$V_u = \phi V_s + \phi V_c \quad (2.43)$$

Dimana untuk menentukan nilai, V_s berdasarkan persamaan :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} \quad (2.44)$$

e) Jarak antar sengkang, s untuk jenis yang dipakai adalah sengkang tertutup dengan diameter 10 mm (3 kaki), maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$s = \frac{A_s f_y d}{V_s} \quad (2.45)$$

Dimana jarak maksimum sengkang tertutup sepanjang $2h$ tidak boleh melebihi nilai terkecil dari nilai (a) hingga (c) di bawah ini :

- a) $d/4$, atau
- b) $6d_b$ atau
- c) 150 mm.

2.6 Aplikasi SAP 2000








Program SAP 2000 adalah suatu program yang biasa digunakan untuk menganalisis dan mendesain sebuah struktur yang berorientasi obyek (*Object Oriented Programing*) serta sangat mudah untuk pengoperasiannya.

Aplikasi ini memiliki prinsip utama penggunaan program sebagai pemodelan struktur, menjalankan analisis, dan pemeriksaan atau optimasi desain yang dilakukan dalam satu langkah atau satu tampilan. Tampilan yang dihasilkan berupa model secara tepat sehingga dapat memudahkan pengguna untuk melakukan pemodelan secara menyeluruh dalam waktu singkat. *Output* yang dihasilkan juga

dapat ditampilkan secara model struktur, grafik, maupun tabel yang berisi perhitungan guna untuk melakukan analisis komparatif sesuai dengan kebutuhan penyusunan laporan analisis dan desain pada penelitian ini.

Dalam SAP 2000 tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis diuraikan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.20 Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi palstis dalam program SAP 2000

Keterangan	Simbol	Warna	Penjelasan
B		Merah muda	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur.
IO		Biru tua	Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hamper sama pada saat belum terjadinya gempa
LS		Biru muda	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP		Hijau	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekakuan dan kekuatannya berkurang banyak
C		Kuning	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D		Coklat	Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi tidak stabil dan hamper <i>collapse</i>
E		Merah	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.

Sumber: Aplikasi SAP 2000