

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Belum banyak penelitian atau kajian yang membahas tentang kapasitas geser dan pengaruh keberadaan tulangan sengkang pada balok beton bertulang. Perlu dilakukan kajian lebih jauh mengenai fenomena keruntuhan geser pada balok beton bertulang dikarenakan keruntuhan geser memiliki sifat getas (*brittle*), terjadi tanpa ada peringatan (lendutan pada struktur) sehingga keruntuhannya terjadi secara tiba-tiba. Keruntuhan geser umumnya terjadi bersamaan dengan keruntuhan akibat beban yang lainnya (lentur, torsi) sehingga perlu kehati-hatian selama proses penelitian berlangsung.

Keberadaan tulangan sengkang (tulangan transversal) pada balok beton bertulang secara teori bertujuan untuk menambah kapasitas geser dari balok beton bertulang. Dengan adanya tulangan yang dipasang secara transversal (sengkang) diharapkan dapat menahan pelebaran keretakan miring akibat keruntuhan geser, sekaligus menambah daktilitas bagi balok beton bertulang.

Pemberian tulangan sengkang pada balok beton bertulang dengan diameter yang berbeda-beda ternyata memberikan pengaruh yang berbeda-beda pula terhadap kapasitas geser balok beton bertulang. Diperoleh bahwa diameter tulangan sengkang yang paling optimal untuk diterapkan pada balok beton bertulang adalah tulangan sengkang D10 (Sugianto & Indriani, 2016).

Tulangan sengkang dengan perbedaan bentuk dan sudut bengkokan kait juga menghasilkan pengaruh yang berbeda-beda terhadap kapasitas geser balok beton bertulang. Tulangan sengkang dengan bentuk segi empat dan bengkokan kait 135^o menghasilkan kapasitas geser sengkang yang paling tinggi (Igbal dkk., 2013).

Kajian pada variasi tulangan sengkang juga berkaitan dengan bentuk model tulangan sengkang, dan diperoleh bahwa kombinasi tulangan sengkang segi empat dengan sengkang lingkaran mampu menahan beban yang paling tinggi dan lendutan

paling rendah daripada kombinasi tulangan sengkang yang lain (Krisnamurti, 2009).

Penelitian tulangan sengkang berbentuk plat tipis baja juga dilakukan terhadap balok beton lebar bertulang. Kesimpulan penelitian menyatakan bahwa penggunaan plat baja fabrikasi dapat meningkatkan kapasitas geser balok beton lebar, meningkatkan ketahanan balok beton lebar setelah retakan geser pertama, menambah daktilitas, dan lebih mudah dalam proses pembuatan elemen (*feasible*) (Suhaib Jamal, 2015).

Penggunaan tulangan sengkang berupa baja plat strip (*steel plate*) pada balok beton bertulang sendiri dapat meningkatkan kapasitas geser, mengurangi jumlah retak, serta meningkatkan kapasitas beban ultimit melebihi balok beton bertulang dengan tulangan sengkang ulir. Disimpulkan bahwa plat strip yang paling optimal digunakan untuk tulangan sengkang memiliki ketebalan 3 mm – 4 mm (Ammash, 2017).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Beton

Beton adalah material komposit yang terbentuk dari campuran semen, agregat, air, bahan tambah mineral, dan bahan tambah kimia dalam proporsi yang terukur sehingga dapat memberikan efek terhadap waktu pematangan dan pengerasan sesuai yang diharapkan (Nawy, 2008).

Menurut McCormac (2000) beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip-batuan. Bahan aditif terkadang juga ditambahkan dalam campuran untuk menghasilkan beton dengan karakteristik dan sifat tertentu, seperti workabilitas, durabilitas, dan lama waktu pengerasan.

Beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI 2847: 2019).

Karakteristik beton yang cenderung getas (*brittle*) dan memiliki kapasitas tarik rendah, seringkali diimbangi dengan pemberian baja tulangan sebagai penyedia kapasitas tarik pada struktur beton, sekaligus meningkatkan kekuatan material. Perlu digarisbawahi bahwa pemilihan unsur material untuk komponen beton merupakan hal penting, namun tidak hanya itu saja. Perbandingan dan komposisi material juga perlu diperhatikan, lalu proses pencampuran, pengecoran, dan perawatan (*curing*) beton juga harus dilakukan dengan tepat.

2.2.2 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah struktur komposit yang mengkombinasikan sifat beton yang kuat terhadap beban tekan, getas/mudah patah terhadap beban tarik, dan sifat baja yang sangat kuat terhadap beban tarik. Beton bertulang dapat menahan beban tarik sekaligus dapat menahan beban tekan, akibat komposisinya yang terdiri dari material beton dan baja tulangan (Asroni, 2010).

Beton bertulang adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan non-prategang minimum yang sesuai yang ditetapkan dalam SNI 2847:2019 (SNI 2847: 2019).

Beberapa faktor yang menjadi pendukung dalam pemilihan beton bertulang sebagai komponen struktural adalah sebagai berikut (Wight, 2012).

1. **Faktor ekonomi dan ketersediaan.** Pertimbangan yang paling utama biasanya adalah perihal ekonomi, terkait dengan biaya material, biaya pekerjaan, dan waktu yang diperlukan untuk proses konstruksinya. Material yang diperlukan untuk pembuatan beton bertulang lebih melimpah daripada material struktur yang lain, selain itu beton bertulang dapat dikonstruksi tepat di lokasi konstruksi, sementara untuk material baja profil perlu dilakukan pemesanan terlebih dahulu.
2. **Fleksibilitas material dalam proses desain dan *casting*.** Beton bertulang memiliki kelebihan secara arsitektural dan struktural, karena dalam proses konstruksinya beton bertulang dicor dalam keadaan plastis, dapat dicetak dalam bentuk yang sesuai keinginan atau desain, serta diakhiri dengan teknik *finishing* sesuai kebutuhan. Pada intinya, penentuan ukuran dan bentuk dari

beton bertulang bergantung pada keputusan desainer, bukan dari material fabrikasi yang bentuknya sudah terstandarisasi.

3. **Tahan api.** Beton bertulang umumnya dapat menahan paparan api 1-3 jam tanpa adanya penambahan *fireproofing*, sedangkan baja profil struktural atau kayu struktural memerlukan tambahan *fireproofing* untuk mencapai sifat yang sama dengan beton bertulang standar.
4. **Kekakuan.** Berkenaan dengan kekakuan dan massa beton bertulang yang cenderung masif, getaran dan osilasi jarang sekali dialami oleh bangunan dengan struktur beton bertulang.
5. **Perawatan yang cenderung murah.** Struktur beton bertulang umumnya membutuhkan perawatan yang lebih sedikit daripada struktur baja maupun struktur kayu.

Di sisi lain, beton bertulang juga memiliki beberapa kekurangan sebagai berikut.

1. **Kapasitas tarik rendah.** Kuat tarik dari material beton sendiri sangatlah rendah, lebih rendah dari kuat tekan beton, sehingga retak tidak dapat dihindari apabila beton bersinggungan dengan beban tarik. Diperlukan tulangan baja untuk menanggulangi retak dan beban tarik yang dialami beton.
2. **Cetakan dan *shoring*.** Proses konstruksi beton di tempat (*in site*) melibatkan tiga tahapan yang tidak ditemui pada konstruksi struktur baja maupun struktur kayu, yaitu; pembuatan cetakan (bekisting) beton, pencopotan cetakan beton, dan pemberian perkuatan sementara beton (*shoring* atau *propping*) untuk menyangga beban sendiri beton hingga kekuatannya mencukupi.
3. **Berat sendiri yang tidak sebanding dengan kekuatan.** Kuat tekan beton berkisar 10% lebih tinggi dari baja, tetapi berat jenis (*density*) beton berkisar 30% lebih tinggi dari baja. Jadi dapat dikatakan struktur beton bertulang memerlukan volume dan berat sendiri yang lebih daripada struktur baja.
4. **Perubahan volume seiring waktu.** Baik beton maupun baja memiliki muai dan susut yang hampir sama. Namun seiring waktu beton dapat mengalami susut yang jika dilawan dapat menimbulkan defleksi bahkan retak. Selain itu defleksi pada lantai beton akan bertambah seiring waktu, rangkak (*creep*) yang terjadi pada beton akibat beban tekan yang terus-menerus.

Hingga saat ini, struktur beton bertulang sangatlah penting dalam kemajuan di bidang konstruksi dan bangunan. Beton bertulang seringkali digunakan sebagai struktur utama untuk gedung bertingkat tinggi, jembatan, jembatan bertingkat (jembatan layang), bendungan, jalan raya, hingga dermaga pelabuhan.

Berdasarkan SNI 2847:2019, tulangan baja yang digunakan pada struktur beton bertulang non-prategang harus tulangan ulir. Tulangan ulir harus memenuhi persyaratan untuk batang tulangan ulir dalam salah satu ketentuan berikut:

- a. Baja karbon: ASTM A615M;
- b. Baja *low-alloy*: ASTM A706M;
- c. Baja *stainless*: ASTM A955M;
- d. Baja rel dan baja gandar: ASTM A996M. Batang tulangan dari baja rel menggunakan Tipe R.

Baja tulangan ulir harus memenuhi salah satu spesifikasi ASTM di atas, kecuali untuk batang tulangan dengan F_y kurang dari 420 MPa, kekuatan lelehnya harus diambil sebesar tegangan yang berhubungan dengan regangan sebesar 0,5%, dan untuk batang tulangan dengan F_y paling sedikit 420 MPa, kekuatan lelehnya harus diambil sebesar tegangan yang berhubungan dengan regangan sebesar 0,35% (SNI 2847: 2019).

Baja tulangan diatur dan dibentuk sedemikian rupa, disusun dan ditata sesuai dengan fungsinya sehingga menjadi penulangan yang akan tercetak menjadi satu bersama beton menjadi beton bertulang.

Penulangan pada beton bertulang memiliki beberapa standar dan aturan yang mengacu pada SNI 2847: 2019, sebagai berikut.

1) Kait standar

Kait standar berhubungan dengan bengkokan tulangan pada bagian ujung, baik untuk tulangan utama maupun tulangan sengkang. Pada tulangan utama diperbolehkan dilakukan bengkokan 180° ditambah perpanjangan $4d_b \geq 65\text{mm}$, atau bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12d_b$, dengan d_b adalah diameter nominal batang tulangan.

Aturan untuk tulangan sengkang dan kait pengikat, disebutkan sebagai berikut.

- Batang tulangan $\leq D16$, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $6d_b$ pada ujung bebas batang tulangan,
- Batang tulangan D19, D22, dan D25, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12d_b$ pada ujung bebas batang tulangan,
- Batang tulangan $\leq D25$, bengkokan 135° ditambah perpanjangan $6d_b$ pada ujung bebas batang tulangan.

2) Batas spasi untuk tulangan

Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar $d_b \geq 25$ mm. Bila tulangan sejajar diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis ≥ 25 mm.

3) Pelindung beton untuk tulangan

Pengaturan pelindung atau selimut beton untuk tulangan terbagi antara beton cor setempat (non-prategang) dan beton cor setempat (prategang)

- Beton cor setempat (non-prategang)

Tabel 2.1 Pelindung Beton untuk Tulangan pada Beton Cor Setempat (Non-prategang).

| Keterangan | Selimut Beton |
|--|---------------|
| Beton yang dicor di atas dan selalu berhubungan dengan tanah | 75 mm |
| Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca | |
| Beton tulangan D19 – D57 | 50 mm |
| Batang tulangan D16, kawat $\leq M16$ ulir atau polos | 40 mm |
| Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau dengan tanah | |
| Slab, dinding, balok usuk | |
| Batang tulangan D44 dan D57 | 40 mm |
| Batang tulangan $\leq D36$ | 20 mm |
| Balok, kolom | |
| Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral | 40 mm |
| Komponen struktur cangkang, pelat lipat | |
| Batang tulangan $\geq D19$ | 20 mm |
| Batang tulangan D16, kawat $\leq M16$ ulir atau polos | 13 mm |

- Beton cor setempat (prategang)

Tabel 2.2 Pelindung Beton untuk Tulangan pada Beton Cor Setempat (Prategang).

| Keterangan | Selimut Beton |
|--|------------------|
| Beton yang dicor di atas dan selalu berhubungan dengan tanah | 75 mm |
| Beton yang berhubungan dengan tanah dan cuaca | |
| Panel dinding, slab, balok usuk | 25 mm |
| Komponen struktur lainnya | 40 mm |
| Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau dengan tanah | |
| Slab, dinding, balok usuk | 20 mm |
| Balok, kolom | |
| Tulangan utama | 40 mm |
| Pengikat, sengkang, spiral | 25 mm |
| Komponen struktur cangkang, pelat lipat | |
| Batang tulangan D16, kawat \leq M16 ulir atau polos | 10 mm |
| Tulangan lainnya | $d_b \geq 20$ mm |

4) Tulangan transversal untuk komponen struktur lentur

Tulangan tekan pada balok (struktur lentur) harus dilingkupi oleh pengikat atau sengkang yang memenuhi batasan ukuran dan spasi sebagai berikut.

- Semua batang tulangan non-prategang harus dilingkupi oleh pengikat transversal, paling sedikit ukuran D10 untuk batang tulangan longitudinal \leq D32, dan paling sedikit ukuran D13 untuk tulangan longitudinal D36, D43, D57, dan tulangan longitudinal yang dibundel. Kawat ulir atau tulangan kawat las dengan luas penampang ekuivalen diizinkan.
- Spasi pengikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter batang tulangan longitudinal, 48 kali diameter batang tulangan atau kawat pengikat, atau ukuran terkecil komponen struktur lentur.

Pengikat atau sengkang harus disediakan di sepanjang jarak dimana tulangan tekan diperlukan.

Tulangan transversal untuk komponen struktur lentur yang dikenai tegangan bolak-balik atau torsi pada tumpuan harus terdiri dari pengikat tertutup, sengkang tertutup, atau spiral yang meneurs di sekeliling tulangan lentur.

Pengikat atau sengkang tertutup harus dibentuk dalam satu potongan dengan cara menumpang-tindihkan kait ujung sengkang atau pengikat standar mengelilingi batang tulangan longitudinal.

2.2.3 Kekuatan Desain

Setiap struktur bangunan pasti dirancang dan didesain dengan tujuan untuk memenuhi fungsi tertentu. Ketika suatu struktur atau elemen struktur mengalami perubahan fungsi, akan terjadi kemungkinan struktur tersebut dapat mencapai keadaan batas (*limit state*), dimana struktur tidak lagi dapat menjalankan fungsinya dengan baik karena melanggar fungsi desain awal. Keadaan batas terbagi menjadi 3, yaitu sebagai berikut (Wight, 2012).

1. **Batas ultimit (*Ultimate limit state*)**. Keadaan ini meliputi kegagalan (keruntuhan) seluruh komponen dan elemen struktur. Keadaan tersebut diharapkan jarang terjadi, karena akan berujung pada kerugian berupa korban jiwa dan finansial. Ciri-ciri keadaan batas ultimit adalah sebagai berikut.
 - a. Hilangnya kesetimbangan dari struktur sebagai kesatuan yang kaku.
 - b. Putusnya komponen kritis dari struktur, berujung pada keruntuhan parsial maupun total.
 - c. Keruntuhan bertahap.
 - d. Pembentukan mekanisme plastis pada struktur, dimana pada suatu bentang tulangan baja mengalami leleh hingga terjadi ketidakstabilan struktur.
 - e. Ketidakstabilan akibat deformasi struktur.
 - f. *Fatigue* (Lelah struktur).
2. **Batas layan izin (*Serviceability limit state*)**. Keadaan ini ditandai dengan kegagalan fungsional dari struktur bangunan, tetapi belum mencapai keruntuhan. Ciri-ciri keadaan batas layan izin meliputi berikut ini.

- a. Defleksi berlebih untuk fungsi pelayanan normal, yang dapat menyebabkan malfungsi pada komponen mekanikal, dan dapat berujung pada kerusakan komponen non-struktural atau perubahan distribusi gaya.
 - b. Lebar retak berlebih. Lebar retak yang berlebih dapat menyebabkan zat tidak diinginkan untuk masuk ke dalam struktur beton, menyebabkan korosi pada tulangan, dan penurunan kapasitas layan beton.
 - c. Getaran pada struktur. Getaran vertikal pada lantai atau jembatan dan getaran lateral torsional pada bangunan tinggi dapat mengurangi kenyamanan struktur.
- 3. Batas layan khusus (*Special limit state*).** Keadaan ini meliputi kerusakan atau kegagalan yang disebabkan oleh kondisi tidak normal atau pembebanan yang tidak normal terjadi, contohnya seperti:
- a. Kerusakan atau keruntuhan akibat gempa ekstrim,
 - b. Dampak struktural akibat terbakar, ledakan, atau tabrakan kendaraan,
 - c. Dampak struktural akibat korosi atau kemerosotan,
 - d. Ketidakstabilan kondisi fisis atau kimiawi dalam jangka panjang (umumnya tidak mempengaruhi struktur beton).

Diperlukan keberadaan faktor aman dalam perhitungan kekuatan desain sebagai koefisien yang dapat menjadi toleransi bagi suatu struktur. Berikut adalah tiga alasan mengapa faktor aman (*safety factors*) diperlukan dalam mendesain struktur (Wight, 2012).

- a. Variabilitas dalam kekuatan, dimana kapasitas aktual dari suatu struktur (balok, kolom, slab) akan selalu berbeda dengan kapasitas yang telah dihitung oleh desainer.
- b. Variabilitas dalam beban, segala jenis beban adalah beragam, terlebih lagi beban hidup dan beban yang berhubungan dengan lingkungan atau alam seperti salju, angin, atau gempa.
- c. Konsekuensi kegagalan, tingkat keamanan merupakan hal yang perlu jadi pertimbangan untuk mendesain suatu kelas bangunan tertentu.

Hasil perhitungan kekuatan elemen menggunakan kekuatan material yang spesifik (f'_c dan f_y) dan dimensi nominal, dapat disebut sebagai kapasitas momen nominal (M_n) atau kapasitas geser nominal (V_n). Sedangkan kuat nominal yang telah

tereduksi, atau disebut kapasitas momen desain/kapasitas geser desain adalah hasil kali kuat nominal dengan faktor reduksi (ϕ), sehingga persamaannya menjadi:

$$\phi M_n \geq M_u \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots (2.2)$$

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, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) (SNI 2847: 2019).

Penampang terkendali tarik..... $\phi = 0,90$

Penampang terkendali tekan

a. Komponen struktur dengan tulangan spiral $\phi = 0,75$

b. Komponen struktur bertulang lainnya..... $\phi = 0,65$

Geser dan torsi..... $\phi = 0,75$

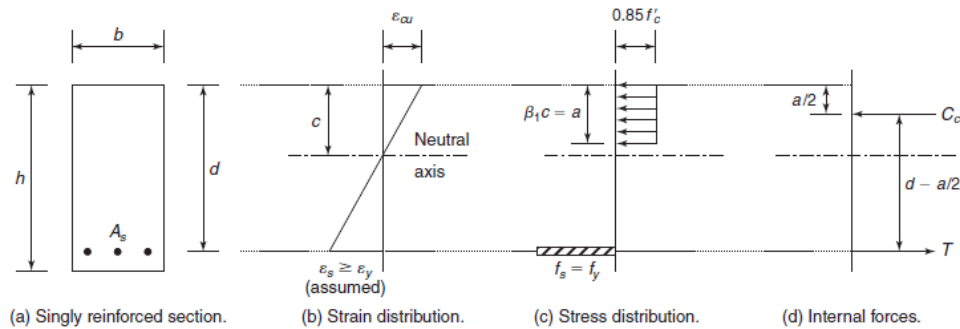
2.2.4 Kapasitas Lentur

Balok struktural adalah elemen struktur yang menahan beban dan berat sendiri elemen melalui momen internal dan geser (Wight, 2012). Balok struktural pada umumnya mampu menahan beban lentur, aksial, torsi dan geser.

Perhitungan kapasitas lentur pada balok bertujuan untuk mengetahui kapasitas dari elemen struktur dalam menahan beban lentur. Perhitungan kapasitas lentur dapat dilakukan berdasarkan tiga asumsi (Wight, 2012):

1. Penampang tegak lurus sumbu balok yang ditinjau datar sebelum lentur akan dianggap tetap datar setelah lentur terjadi.
2. Regangan baja sama dengan regangan beton.
3. Tegangan pada beton dan tulangan dapat dihitung dari regangan kedua material, menggunakan kurva tegangan-regangan untuk beton dan baja.

2.2.4.1 Kapasitas Lentur untuk Beton Tulangan Tunggal



Gambar 2.1 Sketsa Analisis Momen dan Kurvatur untuk Beton Tulangan Tunggal.

Pada kondisi awal, diasumsikan bahwa penampang beton mengalami kondisi *under-reinforced* (terkendali tarik) dimana tulangan tarik dianggap telah leleh sebelum penampang tekan beton mengalami regangan maksimum. Berdasarkan ACI 318-14 digunakan batas minimal penggunaan tulangan longitudinal untuk mencegah keruntuhan getas pada elemen struktur lentur.

$$A_{s \min} = \frac{3\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4b_w d}{f_y} \quad (2.3)$$

Persamaan dari tegangan tekan beton pada penampang beton bertulang adalah sebagai berikut.

$$C_c = 0,85f'_c b \beta_1 c = 0,85f'_c b a \quad (2.4)$$

Kunci dalam perhitungan kapasitas lentur penampang adalah mengasumsikan kesetimbangan pada penampang (Wight, 2012), sehingga pada kasus beban lentur nilai tegangan tekan sama dengan tegangan tarik, maka:

$$C_c = T \quad (2.5)$$

$$0,85f'_c b \beta_1 c = 0,85f'_c b a = A_s f_y \quad (2.6)$$

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui kedalaman luas daerah tekan, maka dapat diperoleh nilai a melalui:

$$a = \beta_1 c = \frac{A_s f_y}{0,85f'_c b} \quad (2.7)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (2.8)$$

Asumsi dari lelehnya tulangan tarik kemudian dapat diklarifikasi menggunakan persamaan (2.9) sebagai berikut.

$$\frac{\varepsilon_s}{d-c} = \frac{\varepsilon_{cu}}{c} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d-c}{c}\right)\varepsilon_{cu} \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk mengecek asumsi bahwa penampang terkendali tarik dan tulangan tarik mengalami leleh, maka:

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots (2.11)$$

Kuat momen nominal dapat dihitung baik menggunakan tegangan tekan dari beton atau tegangan tarik dari baja, dikalikan dengan lengan momen, $d - a/2$:

$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2}\right) = C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots (2.12)$$

Sehingga dari persamaan (2.6) dan persamaan (2.12) umumnya kuat momen nominal untuk penampang beton tulangan tunggal dirumuskan sebagai berikut.

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan (2.13) di atas dapat digunakan untuk penampang beton tulangan tunggal dengan luas penampang tekan berbentuk persegi panjang (lebar konstan) dan setelah diklarifikasi bahwa tulangan tarik mengalami leleh (terkondisi *under-reinforcement*).

2.2.5 Kapasitas Geser

Kuat geser adalah kekuatan suatu komponen struktur atas penampang yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral. Pengaruh-pengaruh geser yang timbul merupakan akibat dari torsi dengan lentur. Kondisi tegangan geser maksimum dari suatu penampang balok terletak pada sumbu netral penampang, menurut Wang dan Salmon (1991). Beton mempunyai kekuatan sendiri, untuk menahan gaya geser, yaitu V_c dimana V_c tergantung pada mutu beton (f'_c). Untuk meningkatkan kekuatan geser balok beton maka diperlukan tulangan geser. Tulangan geser mempunyai empat fungsi utama (Nawy, 2008):

1. Menahan gaya geser berfaktor eksternal (V_u),

2. Membatasi perkembangan retak-retak diagonal,
3. Memegang tulangan utama longitudinal,
4. Menyediakan pengekanan beton pada daerah tekan jika sengkang tersebut membentuk pengikat tertutup.

Perilaku kuat geser ditandai dengan munculnya tegangan tarik pada beton dan baja yang menimbulkan adanya retak. Pertambahan retak ini dapat terbentuk pada momen yang lebih tinggi jika tegangan tarik didalam beton sudah terlampaui. Retak miring akibat geser di badan balok bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses retak lentur sebelumnya. Retak miring pada balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan retak lentur badan, sedangkan retak miring yang dimulai sebagai kelanjutan dari retak lentur yang telah timbul sebelumnya dinamakan retak geser lentur.

Menurut Wang dan Salmon (1991), transfer dari geser di dalam unsur-unsur beton bertulang terjadi dari suatu kombinasi antara mekanisme sebagai berikut:

1. Perlawanan geser dari beton yang belum retak (V_{cz}),
2. Gaya *interlock* (lekatan) antar agregat atau transfer geser permukaan antar butir agregat V_A , dalam arah tangensial sepanjang retak,
3. Aksi pasak (*dowel action*) V_d , sebagai perlawanan dari penulangan longitudinal terhadap gaya transversal,
4. Perlawanan tulangan geser dari sengkang vertikal atau miring,
5. Aksi pelengkung (*arch action*) pada balok yang bersifat tinggi.

Kekuatan geser beton dengan atau tanpa tulangan adalah sama, yaitu nilai gaya geser yang menyebabkan keretakan miring. Dalam hal ini, tulangan geser akan menahan kelebihan gaya geser dari yang dapat ditahan oleh beton tanpa tulangan.

Nilai kuat geser beton (V_c) dalam SNI 2847:2019 memberikan nilai sebagai berikut:

$$V_c = 0,17\lambda \times \sqrt{f'c} \times bw \times d \dots\dots\dots (2.3)$$

Apabila M_u diperhitungkan nilai V_c adalah:

$$V_c = \left(0,16\lambda \sqrt{f'c} + 17\rho_w \frac{V_u \times d}{M_u} \right) bw \times d \leq 0,3\sqrt{f'c} bw \times d \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana nilai $\rho_w = \frac{A_s}{(b_w \times d)}$ dan maksimum nilai f'_c adalah 69 MPa untuk struktur non-prategang.

Langkah-langkah perencanaan penampang terhadap gaya geser adalah sebagai berikut:

1. Hitung gaya geser berfaktor V_u , dan gaya geser nominal dapat di peroleh dari persamaan berikut:

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana ϕ untuk gaya geser dan torsi = 0,75 (SNI 2847:2019).

2. Hitung kekuatan geser beton V_c menggunakan persamaan (2.3) atau (2.4)
3. Setelah gaya geser nominal dan kekuatan geser beton didapat, maka hitung kekuatan geser dari sengkang (V_s) dengan mengurangi gaya geser nominal dengan kekuatan geser beton

$$V_s = V_n - V_c \dots\dots\dots (2.6)$$

Kekuatan geser sengkang juga dapat diperoleh dari persamaaan (2.7)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

A_v = Luas tulangan sengkang (mm^2)

F_y = Tegangan leleh tulangan sengkang (MPa)

d = Tinggi efektif balok (mm)

s = Jarak antar sengkang (mm)

4. Apabila sudah didapat kuat geser nominal, kuat geser beton, dan kuat geser tulangan sengkang, periksa apakah nilai ketiga gaya tersebut memenuhi persyaratan dibawah ini, antara lain:

- a) Luas tulangan geser minimum harus disediakan dalam semua komponen struktur lentur beton bertulang dimana V_u melebihi $0,5V_c$.
- b) Bila V_s melebihi $0,33\sqrt{f'_c}b_w d$, maka spasi maksimum harus dikurangi dalam setengahnya.

c) V_s tidak boleh diambil lebih besar dari $0,66\sqrt{f'c'} b_w d$.

Ketiga syarat tersebut terbagi menjadi lima zona. Pembagian zona tersebut antara lain:

- a. Zona 1 $0 \leq V_n \leq \frac{V_c}{2}$ tidak diperlukan sengkang
- b. Zona 2 $\frac{V_c}{2} \leq V_n \leq V_c$ perlu sengkang minimum
- c. Zona 3 $V_c \leq V_n \leq 3V_c$ perlu sengkang
- d. Zona 4 $3V_c \leq V_n \leq 5V_c$ perlu sengkang
- e. Zona 5 $5V_c \leq V_n \leq V_n$ dimensi penampang diperbesar

1. Setelah itu, hitung jarak sengkang (s). Jarak sengkang yang diizinkan oleh SNI 2847:2019 sebagai berikut:

a. $s \leq \frac{(\delta A_v f_y)}{b}$ dimana $\delta = \frac{6}{\sqrt{f'c'}} \leq 3$

b. $s \leq \frac{(A_v f_y d)}{V_s}$

c. $s \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$

d. $s \leq d/4 \leq 300 \text{ mm}$

untuk jarak sengkang Zona 2;

$$s \leq \frac{(\delta A_v f_y)}{b} \text{ dan } s \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

untuk jarak sengkang Zona 3;

$$s \leq \frac{(A_v f_y d)}{V_s} \text{ dan } s \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$$

untuk jarak sengkang Zona 4;

$$s \leq \frac{(A_v f_y d)}{V_s} \text{ dan } s \leq d/4 \leq 300 \text{ mm}$$