

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Perhitungan dimensi *tie beam* sebelumnya pernah diteliti oleh Suban (2011) yang berjudul “Analisis Kekuatan Balok Pada Gedung Makassar Mall Pasca Kebakaran”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan balok beton bertulang pasca kebakaran. Data diambil melalui sebuah studi kasus yang telah mengalami kebakaran sebagai sebuah pendekatan tinjauan hubungan perilaku beton dengan tingkat temperatur yang telah diteliti sebelumnya. Studi kasus ini merupakan studi lapangan pada sebuah struktur yakni Gedung Makassar Mall yang terbakar pada hari Senin, 27 Juli 2011. Gedung Makassar Mall merupakan sebuah struktur terbuka dengan komponen utamanya terbuat dari struktur beton. Penelitian ini diutamakan pada besarnya kekuatan struktur dalam kapasitasnya menahan beban luar akibat pengaruh panas dari kebakaran secara analisis komputasi dan analisis manual.

Pada salah satu jurnal “Perancangan Pondasi” membahas tentang desain *pile cap* dan *tie beam*. Tiang-tiang diikat menjadi satu oleh kepala tiang didalam sebuah tiang kelompok. Dan kepala tiang ini disebut dengan *Pile Cap*. Antara *Pile Cap* dihubungkan dengan *Tie Beam*, sehingga seluruh struktur menjadi satu kesatuan yang bekerjasama dalam menahan beban. Jurnal ini berisi tentang penulangan pada *Tie Beam*.

Pada penelitian berjudul “Analisa Dan Perencanaan Balok Tinggi Dengan Variasi Perletakan Menggunakan Metode *Strut And Tie*” oleh Putri Mutia Hafni, dkk (2014). Membahas tentang balok tinggi (*deep beam*) biasanya memikul beban yang besar dan aksi balok tinggi dapat dijumpai pada dinding pondasi (*foundation wall*), topi pancang (*pile cap*), dan dinding geser (*shear wall*) yang mengalami tegangan yang cukup besar pada elemen-elemennya. Balok tinggi dapat berupa bentangan tunggal maupun menerus. Pada balok tinggi perbandingan tinggi dengan lebarnya dapat mencapai dua kali lipat atau

kurang. Balok tinggi dapat dianalisa dengan analisis non-linier dan dapat juga menggunakan metode *strut and-tie*. Metode ini menggunakan analogi rangka batang.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Tie Beam

Tie Beam adalah bentuk lain dari *sloof*. Pada pondasi setempat dari plat beton bertulang *foot plate*, antara *foot plate* yang satu dengan yang lain akan dihubungkan dengan balok beton bertulang, yang fungsinya untuk menjadikan pondasi dan kolom tersebut menjadi satu kesatuan atau rangkaian sehingga meningkatkan kekakuan gedung. balok balok beton bertulang ini biasa disebut *Tie Beam*.

Syarat wujud *Tie Beam* :

- a. Menumpu langsung pada tanah, atau didalam tanah.
- b. Menghubungkan antara pondasi satu dengan pondasi yang lain.
- c. Menghubungkan *tie beam* satu dengan *tie beam* lainnya.

Fungsi *Tie Beam* :

- a. Sebagai penerima beban di atasnya dan menyalurkan ke ujung-ujungnya.
- b. Menghubungkan antar pondasi agar posisi pondasi selalu relatif tetap terhadap pondasi yang lain, terutama pada arah horisontal untuk mencegah adanya beban gempa dan beban lateral.
- c. Untuk mengurangi ukuran pondasi jika desain pondasi itu memikul beban momen yang cukup besar.
- d. Bila ada penurunan pada bagian bangunan, maka penurunannya akan sama.
- e. Peningkat kekakuan struktur bawah.
- f. Meratakan gaya beban bangunan.
- g. Penahan gaya reaksi tanah.

2.2.2. Perbedaan *Tie Beam* dan *Sloof*

Tabel 2.1 Perbandingan *Sloof* dan *Tie Beam*

<i>Sloof</i>	<i>Tie Beam</i>
Berukuran kecil sekitar 15 x 20 cm	Berukuran lebih besaa tergantung bentang antar pondasi/kolom dan besarnya beban bangunan.
Pembesian standard menggunakan tulangan P12 berjumlah 4 tulangan utama dan menggunakan P6-200 untuk sengkang	Pembesian sangat variatif tergantung desain konsultan struktur
Tidak menumpu langsung ke tanah	Menumpu langsung ke tanah
Dari segi struktural berfungsi sebagai pengaku pasangan dinding	Dari segi struktural berfungsi sebagai pengaku antar pondasi
Digunakan pada bangunan kecil yang tidak menggunakan pondasi menerus	Digunakan pada bangunan besar yang mempunyai struktur bawah.
Pengaku dinding.	Pengaku seluruh bangunan.

2.2.3. Defleksi / Lendutan

Defleksi adalah perubahan bentuk pada suatu balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi.

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

a. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil

b. Besar-kecilnya gaya yang diberikan

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin kecil

c. Jenis tumpuan yang diberikan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

d. Jenis beban yang terjadi pada batan

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja (Binsar Hariandja 1996).

2.2.4. Beton Bertulang

Penerapan beton bertulang pada struktur bangunan biasanya dapat dijumpai pada: pondasi (jenis pondasi dalam seperti tiang pancang, *bored pile*), *sloof*, kolom, *tie beam*, plat beton, dan dinding geser (*shear wall*). Namun dibalik kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh beton bertulang jika dibandingkan dengan bahan material lainnya, beton bertulang juga memiliki masalah yang dapat mengurangi keunggulannya.

Diantara masalah yang sering dijumpai adalah masalah keretakan yang terjadi pada bahan tersebut. Keretakan pada beton bertulang dapat timbul pada saat pra-konstruksi dan pasca konstruksi. Sebenarnya setiap beton bertulang yang diaplikasikan pada struktur bangunan pasti akan terjadi retakan, yang harus dipertimbangkan adalah apakah retakan tersebut dapat ditolerir karena tidak berbahaya atau retakan tersebut membahayakan struktur bangunan secara keseluruhan. Keretakan pada beton bertulang ini disebabkan oleh

beberapa hal, karena pengaruh dari sifat beton itu sendiri maupun faktor lingkungan luar yang mempengaruhi beton secara langsung. Kalau kita lihat dari jenis retakannya, ada dua jenis keretakan pada beton bertulang yaitu retakan yang terjadi saat pembuatan beton dan retakan yang terjadi setelah beton selesai dibuat. Dari dua jenis retakan tersebut banyak sekali berbagai faktor yang melatarbelakangi terjadinya retakan tersebut.

- Faktor -Faktor Penyebab Keretakan Beton Yang Terjadi Saat Pembuatan Beton Bertulang

1. Sifat Beton

Untuk melihat bagaimana sifat dari beton bertulang yang dapat menimbulkan keretakan kita harus melihat proses dari awal pembuatan beton bertulang tersebut. Pada saat awal pembuatan beton bertulang dengan pencampuran bahan penyusunnya seperti kerikil, pasir, air, semen, dan baja tulangan. Dalam proses pengerasannya beton akan mengalami pengurangan volume dari volume awal. Umumnya hal ini disebabkan air yang terkandung pada campuran beton akan mengalami penguapan sebagian yang mengurangi volume beton bertulang tersebut. Sehingga apabila dikondisikan pada saat beton mengalami pengerasan dan akibat dari volume beton berkurang yang akan menyebabkan penyusutan pada beton tetapi beton tersebut dibiarkan untuk menyusut tanpa adanya pembebanan maka beton pun tidak akan mengalami keretakan. Tetapi pada kondisi sebenarnya dilapangan tidak ada beton yang tidak mengalami pembebanan. Karena tidak ada balok atau kolom pada bangunan yang berdiri sendiri melainkan akan bersambung satu sama lain dan hal ini akan membuat beton bertulang bekerja menahan beban-beban pada bangunan. Sehingga apabila pada kondisi saat beton mengalami penyusutan volume kemudian terjadi pembebanan, maka retakan pun tidak dapat dihindari.

2. Suhu

Tidak dapat diabaikan suhu juga dapat menyebabkan keretakan pada beton bertulang. Maksud suhu disini adalah suhu campuran beton saat mengalami perkerasan. Karena pada saat campuran beton bertulang mengalami perkerasan suhu yang timbul akibat reaksi dari air dengan semen akan terus meningkat. Sehingga pada saat suhu campuran beton ini terlalu tinggi, pada saat beton sudah keras sering timbul retak-retak pada permukaan beton.

3. Korosi pada tulangan

Sebenarnya untuk mengantisipasi retakan yang terjadi akibat dari sifat beton itu sendiri, beton diberi tulangan pada bagian dalamnya yang terbuat dari baja. Sehingga diharapkan dengan adanya baja tulangan tersebut retakan akibat dari sifat beton disebar pada keseluruhan beton menjadi bagian-bagian yang sangat kecil sehingga retakan tersebut dapat diabaikan. Tetapi apabila tulangan yang dipakai pada saat pembuatan beton sudah mengalami korosi, tulangan tersebut itu pun akan menyebabkan retakan pada saat beton mengeras.

4. Proses pembuatan yang kurang baik

Banyak sekali penyebab retak yang terjadi pada beton bertulang disebabkan oleh proses pembuatan yang kurang baik. Seperti contoh pada saat beton mengalami perkerasan dimana banyak mengeluarkan air, maka perlu adanya perawatan pada beton agar pengeluaran air dari campuran beton tidak berlebihan. Tetapi akibat tidak adanya perawatan, sehingga pada saat beton terbentuk maka terjadi banyak retakan.

5. Material yang kurang baik.

Banyak sekali terjadi keretakan pada struktur beton bertulang diakibatkan karena material penyusunnya yang kurang baik. Beberapa hal diantaranya yang sering ditemukan adalah agregat halus atau pasir yang kurang bersih, masih bercampur dengan lumpur sehingga ikatan antara PC dan agregat menjadi terlepas. Sehingga ketika beton mengering maka retakan-retakan akan mudah sekali terjadi.

6. Cara penulangan

Sering sekali ditemukan struktur beton bertulang dibuat dengan cara yang kurang tepat. Hal yang paling umum terjadi adalah ketebalan dari tulangan sampai permukaan beton terlampau besar. Hal ini sebenarnya kurang tepat karena fungsi dari baja tulangan tersebut adalah untuk menahan gaya lintang (pada *tie beam* dan plat), deformasi akibat lendutan, serta gaya geser.



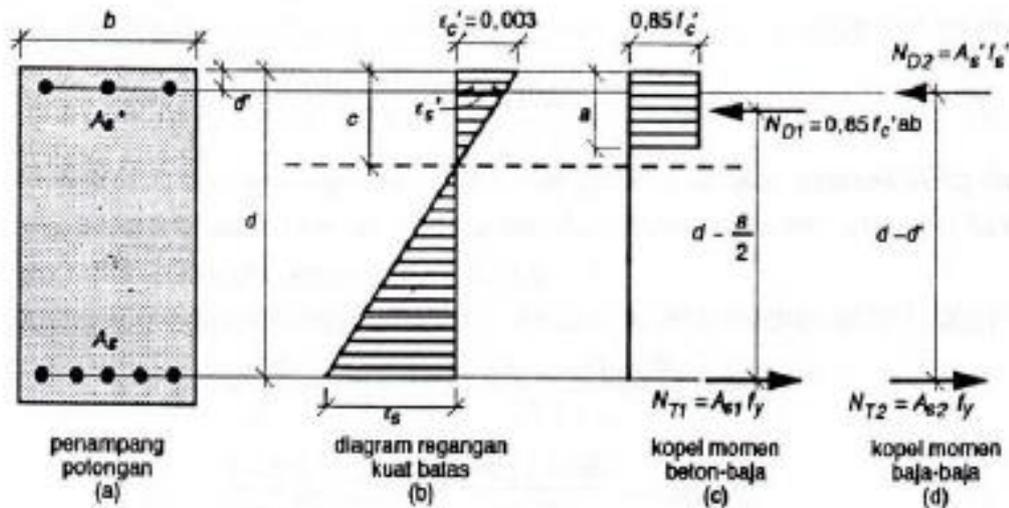
Gambar 2.1. Contoh Kerusakan pada Beton

(Sumber : <http://jumantorocivilengineering.blogspot.co.id/2013/06/beton-bertulang.html>)

Jika tebal selimut beton terlampau besar maka retakan biasa terjadi mulai dari permukaan struktur beton sampai pada bagian tulangan yang ada didalamnya. Seharusnya tulangan dibuat agak keluar, dan selimut atau kulit yang membungkus tulangan dibuat setipis mungkin (1,5 s/d 2 cm). Karena gaya tarik dan gaya tekan paling besar terjadi pada ujung permukaan beton tersebut.

2.2.5. Analisis Tie Beam

Pada *tie beam*, analisis kapasitas momen *tie beam* secara manual dengan memperhitungkan tulangan baja tarik 0,75 pb. Atau dengan kata lain, pendekatan dilakukan dengan mengabaikan kekuatan baja diluar jumlah 75% dari jumlah tulangan tarik yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang. Penulangan rangkap juga dapat memperbesar momen tahanan pada *tie beam*. Hal ini dapat dilakukan dengan penambahan tulangan tarik hingga melebihi batas nilai p maksimum bersamaan dengan penambahan bahan baja didaerah tekan penampang *tie beam*. Hasilnya adalah *tie beam* dengan penulangan rangkap dimana tulangan baja tarik dipasang didaerah tarik dan tulangan tekan didaerah tekan. Pada keadaan demikian berarti tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan *tie beam*. Akan tetapi dari berbagai penggunaan tulangan tekan dengan tujuan peningkatan kuat lentur suatu penampang terbukti merupakan cara yang kurang efisien terutama dari segi ekonomi baja tulangan dan pelaksanaannya dibandingkan dengan manfaat yang dicapai. Dengan usaha mempertahankan dimensi *tie beam* tetap kecil pada umumnya akan mengundang masalah lendutan dan perlunya menambah jumlah tulangan geser pada daerah tumpuan, sehingga akan memperumit pelaksanaan pemasangannya. Penambahan penulangan tekan dengan tujuan utama untuk memperbesar kuat lentur penampang umumnya jarang dilakukan kecuali apabila sangat terpaksa. Dalam analisis *tie beam* bertulangan rangkap akan dijumpai dua jenis kondisi yang umum. Yang pertama yaitu bahwa tulangan tekan luluh bersamaan dengan luluhnya tulangan tarik saat beton mencapai regangan maksimum 0,003. Sedangkan kondisi kedua yaitu dimana tulangan tekan masih belum luluh saat tulangan tarik telah luluh bersama dengan tercapainya regangan 0,003 oleh beton. Jika regangan tekan baja tekan (ϵ_s) sama atau lebih besar dari regangan luluhnya (f_y), maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja tekan diambil sama dengan tegangan luluhnya (f_y). Sedangkan apabila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari regangan luluhnya, maka tegangan tekan baja adalah $f_s = f_s \cdot E_s$, dimana E_s adalah modulus elastisitas baja. Tercapainya masing-masing keadaan (kondisi) tersebut tergantung dari posisi garis netral penampang.



Gambar 2.2. Analisis Tie Beam Bertulangan Rangkap

(Sumber : Istimawan Dipohusodo, Struktur Beton Bertulang)

2.2.6. Persyaratan SNI 2847:2013 yang Digunakan

Dalam melakukan analisis terhadap suatu komponen struktur lentur, harus diambil asumsi-asumsi untuk menentukan kapasitas lentur penampang tersebut pada SNI 2847:2013 pasal 10.2 mencantumkan asumsi-asumsi dasar yang diambil untuk melakukan analisis dan desain suatu komponen struktur lentur. Asumsi - asumsi yang digunakan dalam perencanaan komponen struktur lentur dalam SNI 2847:2013 adalah :

- 10.2.2 Regangan pada tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral, kecuali, untuk balok tinggi seperti yang didefinisikan dalam 10.7.1, analisis yang memperhitungkan distribusi regangan nonlinier harus digunakan. Alternatifnya, diizinkan untuk menggunakan model strat dan pengikat.
- 10.7.1 Balok tinggi adalah komponen struktur yang dibebani pada salah satu mukanya dan ditumpu pada muka yang berlawanan sehingga strat tekan dapat membentuk di antara beban dan tumpuan, dan mempunyai salah satu antara:
 - (a) bentang bersih, $\leq n$, sama dengan atau kurang dari empat kali tinggi komponen struktur keseluruhan h ; atau
 - (b) daerah dengan beban terpusat dalam jarak $2h$ dari muka tumpuan. Balok tinggi harus didesain dengan memperhitungkan salah satu antara

- 10.2.3** Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003.
- 10.2.4** Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kekuatan leleh f_y harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan f_y , tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan f_y .
- 10.2.5** Kuat tarik beton harus diabaikan dalam perhitungan aksial dan lentur
- 10.2.6** Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kekuatan leleh f_y harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan f_y , tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan f_y .
- 10.2.7.1** Tegangan beton sebesar $0,85f_c'$ diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.
- 10.2.7.2** Jarak dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral, c , harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu netral. Jarak c dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral, diukur tegak lurus sumbu tersebut
- 10.2.7.3** Untuk f_c' antara 17 dan 28 MPa, β_1 harus diambil sebesar 0,85. Untuk f_c' diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa di atas 28 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Dilanjut dengan perhitungan menggunakan pasal-pasal SNI 2847:2013 berikut :

- 7.6.1** Spasi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar d_b , tetapi tidak kurang dari 25 mm. Lihat juga pasal 3.3.2.
- 3.3.2** Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi:
- (a) 1/5 jarak terkecil antara sisi cetakan, ataupun
 - (b) 1/3 ketebalan slab, ataupun
 - (c) 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan atau kawat, bundel tulangan, atau tendon prategang, atau selongsong.

8.6.1 Untuk memperhitungkan penggunaan beton ringan, kecuali jika secara spesifik dicatat sebaliknya, faktor modifikasi λ muncul sebagai pengali f_c' dalam semua persamaan dan bab-bab Standar ini yang sesuai, dimana $\lambda = 0,85$ untuk beton ringan pasir dan $0,75$ untuk beton ringan semuanya. Interpolasi linier antara $0,75$ dan $0,85$ diizinkan, dengan dasar fraksi volume, bilamana porsi agregat halus ringan digantikan dengan agregat halus normal. Interpolasi linier antara $0,85$ dan $1,0$ diizinkan, dengan dasar fraksi volume, untuk beton yang mengandung agregat halus normal dan campuran agregat kasar ringan dan normal. Untuk beton normal, $\lambda = 1,0$. Jika kekuatan tarik belah rata-rata beton ringan, f_{ct} , ditetapkan, $\pi = f_{ct} / (0,56\sqrt{f_c'}) \leq 1,0$.

B.8.4.2 Redistribusi momen harus dilakukan hanya bila penampang dimana momen direduksi didesain sedemikian sehingga ρ atau $\rho - \rho'$ tidak lebih besar dari $0,50$. ρb dimana :

$$\rho b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad \text{(B-1)}$$

9.3.2.1 Penampang terkendali tarik seperti didefinisikan dalam 10.3.4..... 0,90

10.3.4 Penampang adalah terkendali tarik jika regangan tarik neton dalam baja tarik terjauh, E_t , sama dengan atau lebih besar dari $0,005$ bila beton tekan mencapai batas regangan asumsi sebesar $0,003$. Penampang dengan E_t antara batas regangan terkendali tekan dan $0,005$ membentuk daerah transisi antara penampang terkendali tekan dan terkendali tarik.

9.3.2.3 Geser dan torsi.....0,75

10.2.7.3 Untuk f_c' antara 17 dan 28 MPa, β_1 harus diambil sebesar $0,85$. Untuk f_c' diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar $0,05$ untuk

setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa di atas 28 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

10.3.3 Penampang adalah terkendali tekan jika regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh, ϵ_t , sama dengan atau kurang dari batas regangan terkontrol tarik bila beton tekan mencapai batas regangan asumsi sebesar 0,003. Batas regangan terkendali tekan adalah regangan tarik neto dalam tulangan pada kondisi regangan seimbang. Untuk tulangan Mutu 420 MPa, dan untuk semua tulangan prategang, diizinkan untuk menetapkan batas regangan terkendali tekan sama dengan 0,002.

10.5.1 Pada setiap penampang komponen struktur lentur dimana tulangan tarik diperlukan oleh analisis, kecuali seperti yang disediakan dalam 10.5.2, 10.5.3, dan 10.5.4, A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh

$$A_{s,\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d}{f_y} \quad (10-3)$$

10.5.2 Untuk komponen struktur statis tertentu dengan sayap (*flange*) dalam kondisi tarik, **$A_{s,\min}$** tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh Pers. (10-3), kecuali bahwa **b_w** diganti oleh salah satu **$2b_w$** atau lebar sayap (*flange*), yang mana yang lebih kecil.

10.5.3 Persyaratan 10.5.1 dan 10.5.2 tidak perlu diterapkan jika, pada setiap penampang, **A_s** yang disediakan paling tidak sepertiga lebih besar dari yang disyaratkan oleh analisis. Perkecualian ini memberikan tulangan tambahan yang cukup pada komponen struktur yang besar dimana jumlah disyaratkan oleh 10.5.1 dan 10.5.2 akan menjadi berlebihan (sebagian Penjelasan disertakan lihat Daftar Deviasi).

10.5.4 Untuk slab dan fondasi tapak (*footing*) struktural dengan tebal seragam, **$A_{s,\min}$** dalam arah bentang harus sama seperti yang disyaratkan oleh 7.12.2.1. Spasi maksimum antar tulangan tersebut tidak boleh melebihi nilai terkecil dari tiga kali tebal slab, atau 450 mm.

B.10.3.3 Untuk komponen struktur lentur dan komponen struktur yang dikenai kombinasi lentur dan beban aksial tekan dimana ϕP_n kurang dari yang lebih kecil dari $0,10 c f' A_g$ dan ϕP_b , rasio tulangan, ρ , yang disediakan tidak boleh melebihi 0,75 rasio ρ_b yang akan menghasilkan kondisi regangan seimbang untuk penampang akibat lentur tanpa beban aksial. Untuk komponen struktur dengan tulangan tekan, bagian ρ_b yang disamai oleh tulangan tekan tidak perlu direduksi oleh factor 0,75.

11.2.1.1 Untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja,

$$V_c = 0,17\pi\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \quad (11-3)$$

11.5.4.1 Tulangan torsi harus terdiri dari batang tulangan longitudinal atau tendon dan salah satu atau lebih dari berikut ini:

- (a) Sengkang tertutup atau pengikat tertutup, tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur;
- (b) Kurungan tertutup dari tulangan kawat las dengan kawat transversal tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur;
- (c) Pada balok non-prategang, tulangan spiral.

21.5.1.2 Bentang bersih untuk komponen struktur, λ_n , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.

21.5.1.3 Lebar komponen, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.

21.5.1.4 Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, c_2 , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b):

- (a) Lebar komponen struktur penumpu, c_2 , dan
- (b) 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu, c_1 .

21.5.2.2 Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu dari joint tersebut.

21.5.4.2 Tulangan transversal sepanjang panjang yang diidentifikasi dalam 21.5.3.1 harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:

(a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung sesuai dengan 21.5.4.1 mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut;

(b) Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g \cdot f_c' / 20$.

2.3. Kerangka Pemikiran

Dari identifikasi masalah yang ada, ditemukan dinding *Underground Power House* ini mengalami gagal struktur karena desain yang tidak memenuhi syarat sebagai dinding penahan tanah, akan tetapi setelah dilakukan investigasi lebih lanjut ke lapangan dengan pembongkaran dinding hingga kedasarannya ditemukan bahwa adanya kerusakan pada *tie beam (cracks)* karena tulangnya melendut. Maka akan dilakukan analisis desain awal terlebih dahulu untuk mengetahui perkuatan kapasitas *tie beam* tersebut, jika benar terdapat kesalahan desain *tie beam* maka akan dilakukan *re-design* untuk mendapat dimensi baru yang kuat dan memenuhi kapasitas untuk menopang struktur di atasnya.