

Analisa Balok Tinggi Beton Bertulang Dengan Menggunakan Metode

Strut and Tie Model

(Studi Kasus Balok Tinggi Dengan Beban Merata)

Misbakhul Munir, Zulfikar Djauhari, Iskandar Romey Sitompul

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
E-mail: misbakhul_munir1990@yahoo.com

ABSTRACT

Strut-and-tie models (model fighters and binder) is derived from the truss analogy models. Concrete structures planning usually carried out under the assumption of Bernouli and Navier sectional analysis due to the bending moment. Expressed deep beam when the beam span to height ratio of less than five. One alternative approach to address the structural elements such as deep beam approach is to use a strut-and-tie models, namely by dividing the structure in region B (Bernouli) and D (Distrub) and describe the flow of force (load Plath) as the force transfer occurs reinforced concrete structures due to cracks conditions caused by forced, the parameters of the strut-and-Tie Model (STM) is press rod (strut), pull rods (tie) and points stains (stains zone) as a meeting area. The purpose of this thesis is to analyze the correlation among reinforcing volume to the quality of concrete, steel quality, and variation about long-span the deep beam with the conventional method and the method of Strut-and-tie-models (STM) based on ACI is verified by the Program Computer-Aided-Strut -and-Tie (CAST) The results of the analysis of the deep beam with a distributed load at the end of the assignment of conventional method is more efficient than the STM method for long span for spans of 2.5 and 3.0 m to 4.5 STM method is more efficient than conventional methods. This thesis also explain about high concrete reinforcing design manually base on conventional and strut and tie model (STM) in spite of use program computer-aided-strtu-and tie (CAST) In this study also obtain the correlation among the span length (L), the quality of concrete (f_c), the quality of the steel (f_y) and the load evenly to the reinforcement ratio, the addition of span length to enlarge the reinforcement ratio, the addition can reduce the quality of the steel reinforcement ratio, and additional load can increase the reinforcement ratio

Keyword: Deep beam, distributed load, reinforce volume, strut-and-tie model, concrete.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan struktur beton berdasarkan analisis batas (*limit analysis*) telah banyak diselidiki melalui berbagai penelitian selama hampir empat dasawarsa belakangan ini. Berbagai

manfaat telah diperoleh melalui penyelidikan dan penelitian tersebut, terutama pada kekuatan struktur balok yang dibebani geser, torsi dan beban kombinasi. Berbagai penelitian terus berlangsung dan berkembang serta berbagai model yang rasional yang

dianggap cukup sederhana dan cukup akurat dalam aplikasinya sudah banyak diusulkan. Sampai saat ini model yang dianggap cukup konsisten dan rasional adalah pendekatan melalui *Strut-and-Tie Model*.

Strut and Tie Model merupakan hasil pengembangan dari metode *Truss Analogy Model* yang pertama kali dikembangkan oleh Ritter (1899) dan Mörch (1902). Selanjutnya atas inisiatif Schafer (1982-1993), *Truss* analogi dikembangkan kedalam suatu bentuk /model yang lebih umum dan konsisten dan kemudian dikenal sebagai *Strut and Tie Model* (Model Penunjang dan Pengikat). Untuk pertama kalinya Schlaich dan Schafer secara sistematis diembankan langkah perencanaan struktur beton bertulang dengan *Strut and Tie Model*, yaitu dengan membagi struktur dalam dua daerah yakni daerah D dan B. Di mana daerah yang tidak lagi datar dan tegak lurus garis netral sebelum dan sesudah ada tambahan lentur yang dirincikan oleh regangan non linier, disebut daerah D (*Distributed atau Discontinuity*) dan daerah di mana berlaku hukum Bernoulli disebut daerah B (*Bending atau Bernoulli*). Kedua daerah tersebut menggambarkan alur gaya (*Load Path*) sebagai transfer gaya yang terjadi pada struktur beton bertulang pada kondisi retak dari sumber pembebanannya sampai tumpuan (Hardjasaputra, H dan Tumilar S, 2002). Struktur seperti balok tinggi (*deep beam*) mengandung daerah D. ACI Code menjelaskan bahwa suatu balok dinyatakan sebagai balok tinggi dalam perencanaan lentur bila rasio bentang bersih balok dibandingkan tinggi balok $Ln/d \leq 1,25$ untuk di atas dua tumpuan dan $Ln/d \leq 2,5$ untuk balok di atas beberapa tumpuan. Selanjutnya

balok dinyatakan sebagai balok tinggi dalam perencanaan geser bila $Ln/d \leq 5,0$ dan balok tersebut dibebani dari permukaan atas serta ditumpu pada sisi bawah balok. Mac Gregor (1988) mendefinisikan suatu balok dinyatakan sebagai balok tinggi bila sebagian besar beban yang dipikul dapat diteruskan atau dihubungkan langsung ke tumpuan-tumpuannya melalui batang tekan (*Compression Strut*). Pada balok tinggi yang dikategorikan sebagai D-region, balok tinggi diidealisasikan sebagai suatu rangkaian batang-batang tarik (*Tie*), batang-batang tekan (*strut*), beban-beban kerja dan tumpuan-tumpuan yang saling berhubungan melalui titik-titik simpul (*nodes*) sehingga terbentuk suatu rangka batang.

Secara khusus, balok tinggi juga dapat dijumpai pada balok transfer (*Transfer girder*) dari bangunan tinggi, struktur pendukung turbo-generator, bangunan infrastruktur lainnya, dan aksi balok tinggi tersebut dapat pula terjadi dinding fondasi (*Shear wall*).

1.2 Perumusan Masalah

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, diperlukan kepastian tentang keamanan struktur terhadap keruntuhan yang mungkin terjadi selama umur bangunan. Salah satu keruntuhan yang cukup fatal dalam konstruksi bal beton bertulang adalah keruntuhan geser, Solusi geser dari struktur beton bertulang yang telah dibuat dapat dikembangkan dalam praktek yang dikembangkan dari rumus empiris. Menjelang akhir 1980, teori geser dari beton bertulang mulai dikembangkan pada model mekanik dan matematik. Teori plastik geser, teori daerah tekan termodifikasi, dan teori *Strut and Tie Model* merupakan model baru yang dibuat sesuai dengan analisa geser pada beton

bertulang. Akan tetapi perkembangan teori ini telah banyak mengalami banyak fase, dan metode *Strut and Tie Model* merupakan metode pendekatan alternative yang dapat diterima untuk menganalisa dan mendesain pada struktur balok beton bertulang.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. untuk mempelajari perkembangan yang berhubungan dengan dengan teori dalam mendesain beton bertulang yang dapat disederhanakan dengan metode *strut-and-tie-model*,
2. untuk melihat perilaku kekuatan beton bertulang dan *strut-and-tie-model* dan konvensional,
3. rasio tulangan balok tinggi,
4. untuk melihat perbandingan tulangan geser balok tinggi dengan metode *strut-and-tie model* dengan metode konvensional serta diverifikasi dengan program *computer aided strut and tie (CAST)*,
5. untuk melihat perbandingan volume tulangan pada beton bertulang dengan metode *strut-and tie model*.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperoleh perilaku alk tinggi dengan metode konvensional dan metode *strut-and-tie-model*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. balok yang dianalisa adalah balok tinggi sesuai dengan ACI 318-02,
2. perencanaan penulangan balok dilakukan dengan menggunakan *Strut-and-Tie-Model (STM)* dan metode konvensional diverifikasi dengan

program *Computer aided strut and tie (CAST)*,

3. untuk tulangan konvensional tidak menggunakan tulangan badan.
4. dimensi balok untuk masing-masing betang yaitu lebar balok 400 mm, dan tinggi 1200 mm,
5. panjang bentang yang direncanakan 2,5 s/d 4,5 m dengan kenaikan 0,5 m,
6. mutu beton 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa,
7. mutu baja yang digunakan 240 MPa dan 400 MPa,

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Balok Tinggi

Balok tinggi (*deep beam*) adalah balok yang dimana sejumlah beban yang signifikan diteruskan ke tumpuan oleh suatu dorongan tekan (*compression strut*) yang merupakan hasil gabungan beban luar dan reaksi (MacGregor,1997). Untuk suatu balok tinggi, tegangan geser mempunyai pengaruh yang besar.

Menurut ACI *committee* 318, balok tinggi didefinisikan sebagai komponen struktur dengan beban bekerja pada salah satu sisinya dan perletakan pada sisi lainnya sehingga *strut* tekan dapat terbentuk di antara beban dan perletakan. Balok tinggi juga didefinisikan sebagai balok dengan bentangan bersih L_n tidak lebih dari empat kali tinggi balok (h) untuk pembebanan merata atau dua kali tinggi efektif balok ($2d$) dari permukaan perletakan untuk balok dengan pembebanan terpusat.

2.2 Analogi Krangka (*Truss Analogy*)

Pada balok dengan penulangan geser badan, retak dalam bentang geser dapat menghancurkan sistem struktur sebenarnya, ini bisa digantikan dengan aksi gaya kerangka (*truss*) atau pelengkung atau kombinasi dari

keduanya. Aksi rangka ada kegagalan geser menggunakan prinsip analogi kerangka (*truss analogy*).

Model penunjang dan pengikat (*strut and tie model*) berawal dari “model analogi kerangka (*truss analogi model*)” yang pertama kali diperkenalkan oleh Ritter (1899) dan Morsch (1902). Melalui anggapan bahwa pola retak yang terjadi pada balok beton bertulang yang diakibatkan oleh beban luar, lihat Gambar 2.2, Morsch menggunakan model rangka batang (*truss*) seperti gambar 2.3, untuk menjelaskan aliran gaya (*load path*) untuk transfer beban Q ke tumpuan yang terjadi pada struktur beton bertulang pada keadaan retak (*cracked condition*).

2.3 Balok Tinggi Beton Bertulang Tulangan Lentur Balok Tinggi Konvensional

Pada skema distribusi tegangan pada balok tinggi homogen yang mempunyai angka perbandingan penting terhadap tinggi (l_n/h) = 1,0. Dari penyelidikan secara eksperimen dapat diketahui bahwa lengan momennya tidak begitu banyak berubah meskipun sudah terjadi retak awal. Karena momen tahanan nominalnya adalah:

$$M_n = A_s f_y x \text{ lengan momen } jd$$

Maka luas penulangan A_s untuk lentur adalah :

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y jd} \geq \frac{200bd}{f_y}$$

$$A_s = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

Lengan momen yang direkomendasikan oleh CEB adalah :

$$jd = 0,2(l + 2h) \text{ untuk } 1 \leq l/h < 2$$

dan

$$jd = 0,6 \text{ luntuk } l/h < 1$$

di mana l adalah bentang efektif yang diukur dari as ke as perletakan 1,15

bentang bersih l_n , mana saja yang terkecil. Penulangan tarik harus ditetapkan pada sisi bawah tinggi balok sehingga tinggi segmennya adalah :

$$y = 0,25h - 0,05l < 0,20h$$

pada daerah ini harus ada tulangan berdiameter kecil dan berjarak dekat yang dijangkarkan pada tumpuannya.

Tulangan geser Balok Tinggi Konvensional

Balok tinggi ($a/d < 2,5$ dan $l_n/d < 5,0$) mempunyai tahanan geser nominal yang lebih tinggi dari balok biasa. Pada balok biasa, penampang kritis untuk menghitung gaya geser V_u diambil pada jarak d dari muka perletakan, sedangkan pada balok tinggi, bidang gesernya sangat miring dan dekat dengan perletakan. Jika x adalah jarak antara bidang keruntuhan dari muka perletakan, l_n adalah bentang bersih untuk beban terdistribusi merata, dan a adalah lengan geser atau bentang untuk beban terpusat, maka persamaan untuk jarak ini adalah:

$$\text{Beban terdistribusi merata : } x = 0,15 l_n$$

$$\text{Beban terpusat : } x = 0,50 a$$

Dalam kedua hal, jarak x ini tidak boleh melebihi tinggi efektif d

Gaya geser rencana V_u harus memenuhi kondisi:

$$V_u \leq \phi(0,8\sqrt{f'_c}b_w d) \text{ untuk } l_n/d < 2,0$$

Atau

$$V_u \leq \phi \left| \frac{2}{3} \left(10 + \frac{l_n}{a} \right) \sqrt{f'_c} b_w d \right| \text{ untuk } 2 \leq l_n/d \leq 5$$

Jika tidak memenuhi keadaan ini, penampang harus diperbesar. Faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,85$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w d}$$

Gaya geser tahanan nominal V_c untuk beton sederhana dapat diambil sebagai:

$$V_c = \left(3,5 - 2,5 \frac{M_u}{V_u \cdot d}\right) \frac{1}{7} \left(\sqrt{f'c} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u}\right) b_w d \leq 6 \sqrt{f'c} b_w d$$

Dimana $1,0 < 3,5 - 2,5 \left(\frac{M_u}{V_u d}\right) \leq 2,5$

faktor ini merupakan pengali dari persamaan dasar V_c dari balok bias untuk memperhitungkan besarnya kapasitas tahanan balok tinggi. Peraturan ACI mengizinkan kapasitas tahanan yang tinggi apabila retak minor pada keadaan V_u melebihi beban retak geser pertama masih dapat ditoleransi. Apabila tidak demikian, dapat digunakan:

$$V_c = 2 \sqrt{f'c} b_w d$$

Apa bila gaya geser rencana V_u melebihi ϕV_c , penulangan geser harus diberikan sehingga memenuhi $V_u \leq \phi(V_u + V_s)$ dimana V_s adalah gaya yang dipikul oleh penulangan geser:

$$V_s = \left[\frac{A_v}{S_v} \left(\frac{1 + \frac{l_n}{d}}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{S_h} \left(\frac{11 - \frac{l_n}{d}}{12} \right) \right] f_y d$$

Dimana:

A_v = luas total tulangan vertical yang berjarak s_v dalam arah horizontal dikedua sisi balok.

A_{vh} = luas total penulangan horizontal yang berjarak S_h dalam arah vertikal dikedua sisi balok.

S_v minimum $\leq d/5$ atau 500 mm

S_h maksimum $\leq d/3$ atau 500 mm

A_v min = $0,0015(b s_v)$

A_{vh} min = $0,0015(b s_v)$

2.4 Persyaratan Perencanaan Untuk Struktur Beton (ACI-318-02)

Desain strut, tie dan nodal harus berdasarkan pada:

$$\phi F_n \geq F_u$$

Di mana F_u adalah gaya dalam *strut and tie* atau gaya yang berada pada zona nodal yang merupakan faktor beban, F_n adalah kekuatan nominal dari strut, tie atau zona

nodal dan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan.

2.4.1 Kekuatan Strut (ACI 318-02)

Kuat tekan nominal strut tanpa tulangan longitudinal harus diambil lebih kecil dari

$$F_{ns} = f_{cu} A_c$$

Kuat tekan efektif beton pada strut harus diambil sebagai berikut:

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_s f'_c$$

Di mana untuk daerah tekan:

$$A_c = b_w w_s$$

Ada beberapa nilai β_s yang diusulkan untuk menghitung tegangan-tegangan yang terjadi pada daerah strut, menurut ACI 318-02 Appendix A, nilai β_s ditentukan sebagai berikut:

$\beta_s = 1$ untuk strut prismatis di daerah tekan yang tidak mengalami retak atau strut yang mempunyai wilayah menyilang dan sama panjang tanpa kontrol retak pada daerah penulangan.

$\beta_s = 0,75$ untuk strut berbentuk botol dan terdapat kontrol retak pada daerah penulangan.

$\beta_s = 0,60\lambda$, untuk strut berbentuk botol dan tidak terdapat tanpa penulangan, di mana λ adalah suatu faktor koreksi

$\beta_s = 0,40$ untuk strut didalam komponen tarik

$\beta_s = 0,60$ untuk kasus-kasus lain

Di mana :

F_{ns} = Kekuatan nominal strut (KN)

f_{cu} = Kekuatan efektif (Mpa)

A_c = Luasan daerah tekan (mm²)

β_s = faktor reduksi kekuatan tekan pada strut

f'_c = Mutu beton (Mpa)

Untuk f_c' tidak lebih besar dari 6000 psi, konfigurasi *strut* gaya-gaya tekanan dalam *strut* dapat dipenuhi jika $\sum \frac{A_{si}}{b_{si}} \sin \gamma_i \geq 0,003$, dimana A_{si} adalah luasan total tulangan dengan spasi dalam sebuah lapisan tulangan dengan batang-batang pada sudut α_i terhadap sumbu *strut*.

2.4.2 Kekuatan Tie (ACI 318-02)

Karena *Strut and Tie Model* diberlakukan pada beton sruktur dalam keadaan batas, maka pada kondisi layan (*serviceability limit state*) lebar retak pada batang tarik perlu diperiksa, yaitu melalui pembatasan lebar retak atau melalui pembuatan tegangan baja yang lebih rendah. Gaya tarik pada batang tarik *tie* tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\phi F_{nt} \geq F_{ut}$$

Dimana subskrip t melambangkan *tie* dan F_{nt} adalah kekuatan nominal dari *tie* dinyatakan sebagai:

$$F_{nt} = A_{ts} f_y + A_{tp} (f_{se} + \Delta f_p)$$

Dengan :

F_{nt} = kekuatan nominal tie (KN)

A_{st} = luasan tulangan (mm^2)

A_{ps} = luasan baja tendon prategang (mm^2)

f_y = mutu baja (Mpa)

f_{se} = tegangan efektif yang hilang didalam baja tandon prategang (Mpa)

Δf_p = penambahan gaya prategang disamping level load ($f_{se} + \Delta f_p$)

2.4.3 Menentukan momen yang terjadi dalam STM

Menentukan W_c dan W_t

Pada metode STM, baja tulangan sebagai elemen pemikul tarik dianggap bekerja dalam sebuah grup sehingga komponen *ties* memiliki suatu lebar efektif (w_c). Lebar w_t memiliki nilai

terbatas dan tergantung dari pendistribusian tulangan tarik balok. Pembatasan nilai w_t berdasarkan atas beban luar dan reaksi-reaksi tumpuan serta semua titik simpul berbeda dalam kesetimbangan ($\sum V = 0$; $\sum H = 0$; $\sum M = 0$). Pada perhitungan nilai w_b faktor yang harus diperhatikan adalah kekuatan ties itu sendiri ($F_{nt} = A_s f_y$) dan kekuatan nodal zona akibat penjangkaran tulangan ($F_{nn} = 0,85 \beta_n f_c' b w_t$). Agar komponen ties dapat mencapai leleh, maka kesetimbangan kedua gaya tersebut dapat dijadikan dasar untuk menghitung lebar efektif elemen ties.

Dari gambar di bawah dapat dilihat :

$$\sum H = 0$$

$$F_{nt} = F_{nn}$$

$$A_s f_y = 0,85 \beta_n f_c' b w_t$$

$$w_t = \frac{A_s f_y}{0,85 \beta_n f_c' b}$$

Dengan persamaan momen $\sum M_x = 0 = P u . x = F a c . l c$ dan dengan persamaan momen geser momen maksimum maka:

$$\sum H = 0$$

$$F_{BC} = F_{AD}$$

$$0,85 \beta_n f_c' b w_t = 0,85 \beta_n f_c' b w_t$$

Dengan :

$\beta_n = 1$, untuk F_{BC} (*Strut Prismatic*)

$\beta_n = 0,8$, untuk F_{AD} (angkur tie di nodal A), maka:

$$(1). (0,85) f_c' b . w_c = (0,8). (0,85) f_c' b . w_t$$

$$(1). w_c = (0,8) w_t$$

$$(0,8) w_t = (1). w_c$$

$$w_t = 1,25 . w_c$$

$$Jd = d - \frac{w_c}{2} - \frac{w_t}{2}$$

2.4.4 Syarat-syarat menentukan tulangan

Dengan menggunakan syarat-syarat sebagai berikut :

$$\frac{A_h}{bS_h} > 0,00015 \text{ tulangan horizontal}$$

$$\frac{A_v}{bS_h} > 0,00015 \text{ tulangan vertikal}$$

2.4.5 Kekuatan zona nodal

Kuat tekan dari nodal zone harus diambil sebagai berikut:

$$F_{nn} = f_{cu} A_n$$

Meskipun batas tulangan telah disediakan dalam zona nodal dan penulangan didukung oleh pengujian dan analisis tegangan yang efektif yang dihitung permukaan zona nodal juga strut and tie tidak harus lebih besar dari nilai:

$$f_{cu} = 0,85 \cdot \beta_n f'_c$$

Dimana:

F_{nn} = kekuatan nominal nodal (KN)

F_{cu} = kekuatan efektif (Mpa)

A_n = luasan daerah nodal (mm²)

β_s = faktor reduksi kekuatan tekan pada strut

f'_c = mutu beton (Mpa)

Dimana:

$$A_n = b_w w_c$$

$$A_n = b_w w_t$$

Ada beberapa β_n yang diusulkan untuk menghitung tegangan-tegangan yang terjadi pada daerah nodal. Menurut ACI 318-02 Appendix A, nilai β_n ditentukan sebagai berikut:

- $\beta_n = 1$, pada daerah nodal yang terjadi oleh tekanan *strut* dan landasan (CCC nodes)
- $\beta_n = 0.80$, pada daerah nodal dimana terdapat penjangkaran oleh *ties* hanya pada daerah (CCT nodes)

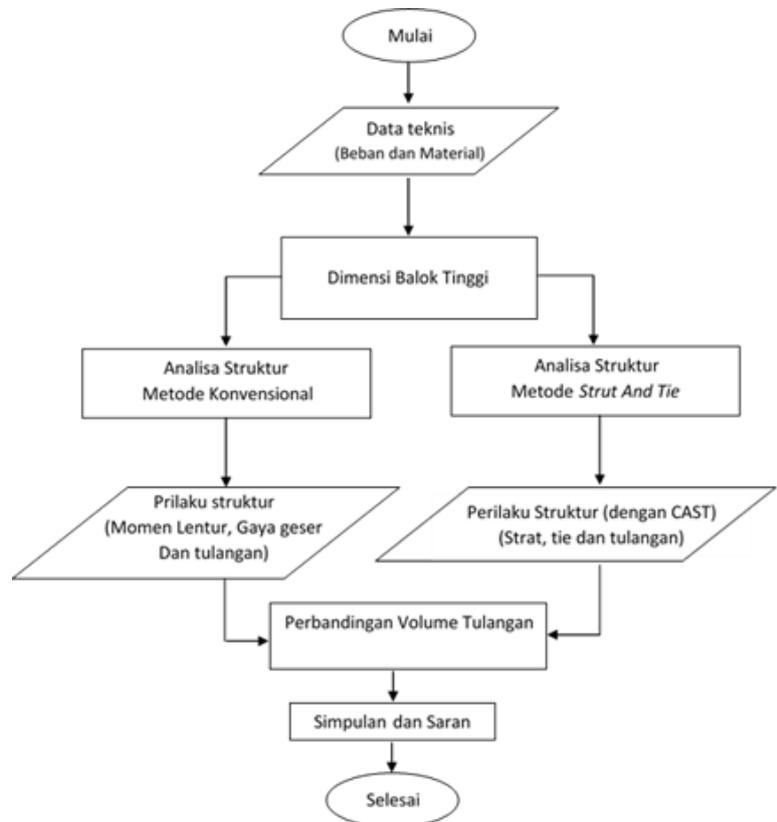
- $\beta_n = 0.60$, pada daerah nodal dimana terdapat penjangkaran oleh tarikan *ties* dalam daerah (CTT nodes atau TTT nodes)

$\sum \rho_{yi} \sin y_i \geq 0.003$ dimana $\sum \rho_{yi}$ rasio tulangan lapisan ke i yang memotong unsur penyokong yang ditinjau, dan y_i adalah sudut antara sumbu penyokong dengan tulangan. Faktor reduksi kekuatan Φ senantiasa diambil 0.75 untuk penyokong, penggantung dan simpul. *Critical section* adalah daerah kritis atau daerah di mana beton lebih mudah hancur.

III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Langkah-langkah analisis perilaku balok tinggi yang akan dijelaskan dalam bab ini.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Pemodelan Struktur.

Strut and tie model (STM) merupakan suatu metode perencanaan struktur beton bertulang yang relative baru. Metode tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan cara penulangan yang konsisten untuk bagian-bagian struktur beton yang dahulu hanya diketahui berdasarkan aturan-aturan empiris misalnya: kenapa tulangan lapangan harus diteruskan ke tepi yang notabennya momennya adalah nol, bagaimana lubang (*opening*) pada balok harus diberi tulangan silang membentuk pigura, dan sebagainya. Intinya bahwa dengan memahami STM maka berbagai detail penulangan struktur beton yang dahulu tidak dapat diselesaikan dengan analisis penampang akhirnya dapat diselesaikan dengan baik.

3.2.1 Dimensi Struktur

Balok yang dianalisa merupakan balok tinggi dengan panjang yang bervariasi. Dimensi balok direncanakan berdasarkan ketentuan SNI 03-2847-2002 untuk metode konvensional dan ACI 318-2002

3.2.2 Spesifikasi Bahan

Struktur balok tinggi yang dianalisa merupakan struktur balok beton bertulang yang ujungnya sendi rol. Data-data perencanaan adalah sebagai berikut:

- a. Mutu beton (f'_c)
Mutu beton yang digunakan dalam analisa divariasikan menjadi beberapa mutu beton yakni, 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa.
- b. Mutu baja (f_y)
Mutu baja yang digunakan dalam analisa divariasikan menjadi

beberapa mutu baja yakni 240 Mpa dan 400 Mpa.

3.3 Pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam analisa balok tinggi merupakan beban merata sepanjang balok dengan, 500 kN/m, 625 kN/m, 700 kN/m, 725 kN/m, , 750 kN/m, , 800 kN/m, , 1000 kN/m

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

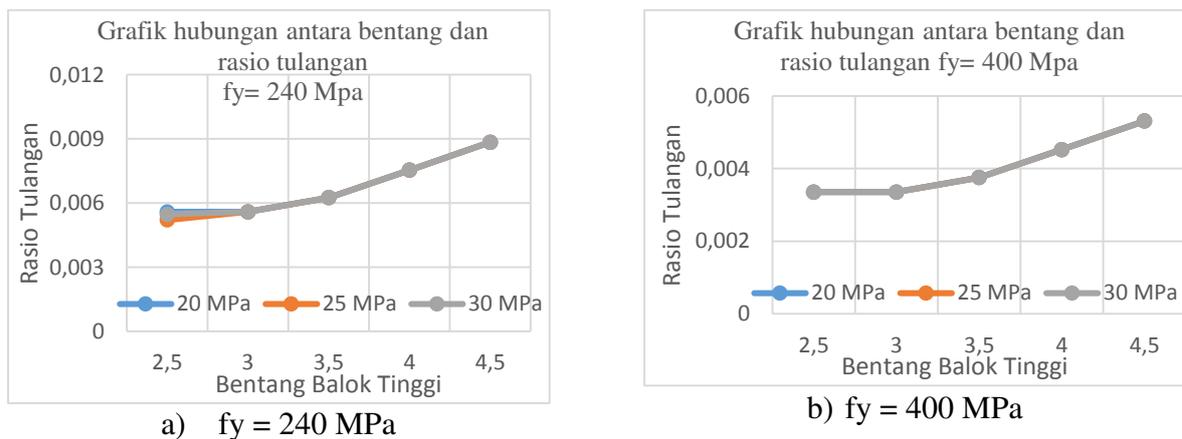
4.1 Hasil Analisis

Perencanaan dengan metode *Strut-and-Tie-Model* didasarkan pada truss-model belum dapat meliputi seluruh unsur struktur, terutama untuk struktur yang secara statika dan geometri tidak kontinu seperti daerah sekitar struktur yang mengalami beban terpusat, joint pada rangka-rangka portal, struktur berlubang atau dengan bukaan, konsol pendek (*corbel*), beton pracetak, batang-batang menerus dengan penampang berbeda, balok tinggi (*deep beam*) termasuk dinding geser serta balok perangkai dinding (*coupling beam*), lantai-lantai sebagai diafragma dan fondasi.

4.2 Perhitungan dengan Metode Konvensional

4.2.1 Perbandingan nilai Rasio Tulangan dengan Metode Konvensional

Grafik perbandingan rasio tulangan terhadap variasi bentang balok tinggi (L) menunjukkan pada balok metode konvensional mengalami kenaikan, dapat kita lihat pada tabel 4.1 beban 500 kN/m dengan mutu beton (f'_c) 20 MPa



Gambar 4.1 Pengaruh pertambahan panjang bentang balok tinggi terhadap rasio tulangan balok beton dengan beban 500 kN/m.

Tabel 4 1 Perbandingan nilai rasio tulangan terhadap panjang bentang dan mutu baja (f_y) beban 500 kN/m dengan mutu beton 20 MPa

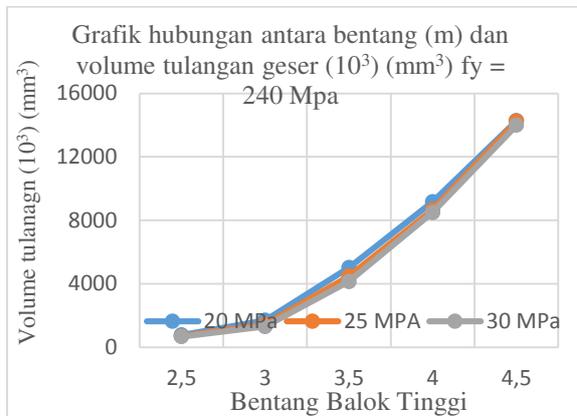
NO	Bentang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	ρ 240 (Mpa)	ρ 400 (Mpa)
1	2500	1200	400	0,00559	0,00335
2	3000	1200	400	0,00559	0,00335
3	3500	1200	400	0,00626	0,00375
4	4000	1200	400	0,00754	0,00452
5	4500	1200	400	0,00885	0,00531

Sumber: Hitungan.Penelitian.

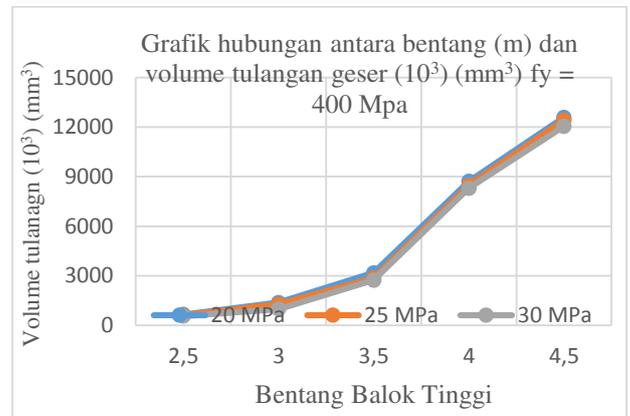
Pada balok tinggi metode konvensional mutu baja (f_y) 240 Mpa dan 400 Mpa dengan panjang bentang balok tinggi 2,5 m hingga 4,5 m, memperlihatkan pengaruh pertambahan bentang dengan nilai mutu beton (f'_c) 20 MPa lebih besar adalah 0,00559 ($f_y = 240$ Mpa) dan 0,00335 ($f_y = 400$ Mpa) dengan

perbandingannya 48,45 %, sedangkan dengan pertambahan bentang balok tinggi peningkatan rasio tulangan dengan mutu beton 20 MPa dan beban yang berkerja pada balok tinggi 500 kN/m peningkatannya sebesar 36,825 %, ini dikarenakan dimensi balok tinggi yang divariasikan sama.

4.2.2 Perbandingan Volume Tulangan geser metode konvensional



a) $f_y = 240 \text{ MPa}$



b) $f_y = 400 \text{ MPa}$

Gambar 4.2 Pengaruh pertambahan panjang bentang balok tinggi terhadap tulangan geser balok beton dengan beban 500 kN/m

Grafik perbandingan volume tulangan terhadap variasi panjang bentang dengan dimensi yang sama menunjukkan

pada balok tinggi metode konvensional mengalami kenaikan

Tabel 4.2 Perbandingan nilai Volume tulangan geser terhadap penambahan bentang dan mutu baja (f_y) beban 500 kN/m dengan mutu beton 20 MPa.

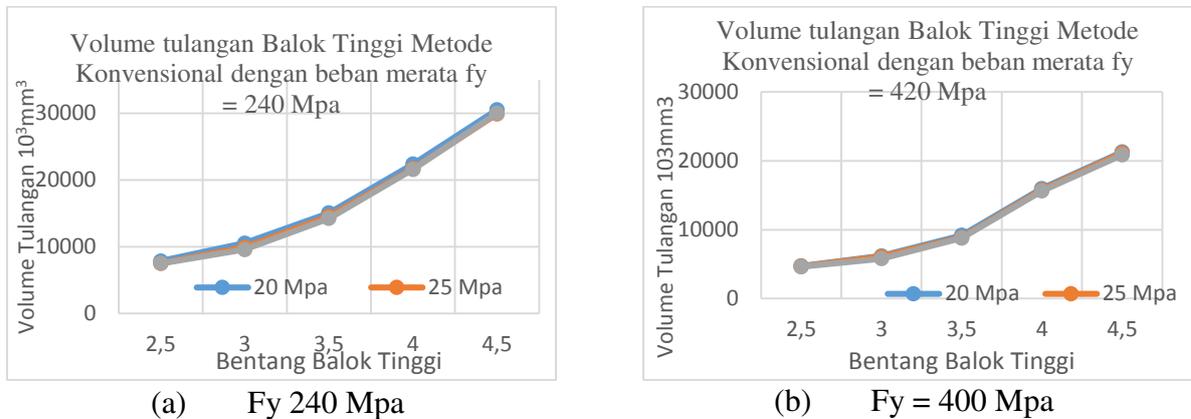
NO	Bentang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Volume Tul (10^3) (mm^3) (240 Mpa)	Volume Tul (10^3) (mm^3) (400 Mpa)
1	2500	1200	400	774,72	602,56
2	3000	1200	400	1701,67	1382,39
3	3500	1200	400	5019,15	3177,24
4	4000	1200	400	9169,66	8716,96
5	4500	1200	400	14427,90	12590,28

Sumber: Hitungan Penelitian.

Untuk bentang balok 2,0 m hingga 4,5 m, Volume tulangan bervariasi dari $774,72 \times 10^3 \text{ mm}^3$ hingga $14427,90 \times 10^3 \text{ mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 240 MPa dengan mutu beton (f'_c) 20 MPa dan $602,56 \times 10^3 \text{ mm}^3$ hingga $12590,28 \times 10^3 \text{ mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 400 MPa dengan mutu beton (f'_c) 20 MPa sedangkan perbandingan antara mutu baja

400 MPa dengan mutu baja 240 Mpa dengan bentang dan beban yang sama yaitu 9,03%. Ini menunjukkan bahwa nilai volume tulangan akan mengalami kenaikan sering dengan bertambahnya panjang bentang.

4.2.3 Perbandingan Volume Tulangan Metode Konvensional



Gambar 4.3 Pengaruh pertambahan panjang bentang balok tinggi terhadap volume tulangan Lentur beton dengan beban 500 kN/m

Grafik perbandingan volume tulangan variasi panjang bentang menunjukkan pada balok tinggi metode

konvensional mengalami kenaikan dapat dilihat pada tabel 4.7 beban 500 kN/m dengan mutu beton ($f'c$) 20 Mpa.

Tabel 4.3 Perbandingan nilai Volume tulangan terhadap pertambahan bentang dan mutu baja (f_y) beban 500 kN/m dengan mutu beton 20 Mpa.

NO	Bentang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Volume Tul (10^3) (mm^3) (240 Mpa)	Volume Tul (10^3) (mm^3) (400 Mpa)
1	2500	1200	400	414,72	322,56
2	3000	1200	400	833,47	677,09
3	3500	1200	400	2265,70	1434,24
4	4000	1200	400	3838,46	3648,96
5	4500	1200	400	5572,80	4913,28

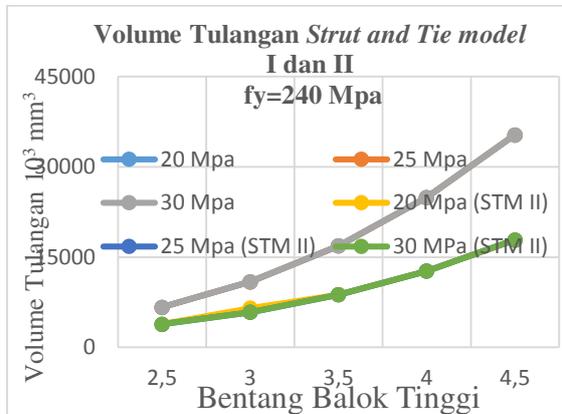
Sumber : Hitungan Penelitian.

Untuk panjang bentang balok tinggi 2,5 m hingga 4,5 m, volume tulangan bervariasi $345,60 \times 10^3 \text{ mm}^3$ hingga $5715,36 \times 10^3 \text{ mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 240 Mpa dengan mutu beton ($f'c$) 20 Mpa dan $507,74 \times 10^3 \text{ mm}^3$ hingga $5760,00 \times 10^3 \text{ mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 400 Mpa

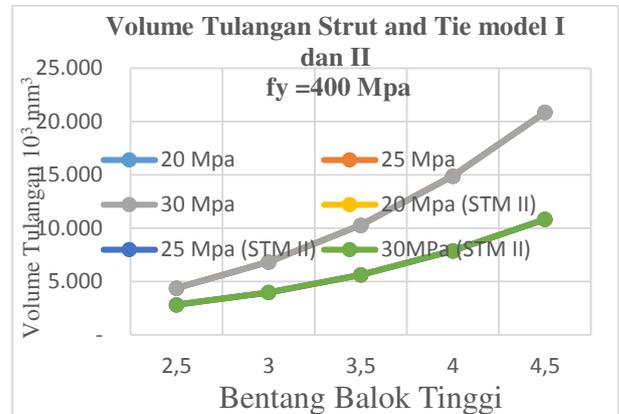
dan mutu beton ($f'c$) 20 Mpa. Ini menunjukkan nilai volume tulangan akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya beban dan dapat kita lihat pada tabel 4.5 nilai volume tulangan dengan mutu baja (f_y) 240 Mpa lebih besar dari mutu baja (f_y) 400 Mpa.

4.3 Perhitungan dengan Metode *Strut-and-Tie-Model*

4.3.1 Perbandingan Volume tulangan metode *strut-and-tie* Type I dan II



(a) $F_y = 240$ Mpa



(b) $F_y = 400$ Mpa

Gambar 4.4 Pengaruh pertambahan panjang bentang balok tinggi terhadap volume tulangan STM I dengan beban 500 kN/m

Grafik perbandingan volume tulangan terhadap variasi panjang bentang menunjukkan pada balok dengan metode *Strut-and-Tie-Model* mengalami kenaikan, dengan variasi dimensi yang

sama pada balok tinggi yang di rencanakan, dapat kita lihat pada tabel 4.10 beban 500 kN/m dengan mutu beton 20 MPa.

Tabel 4 4 Perbandingan nilai volume tulangan terhadap penambahan bentang dan mutu baja (f_y), beban 500 kN/m dengan mutu beton 20 MPa.

NO	Bentang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Volume Tul (10^3) (mm^3) (240 Mpa)	Volume Tul (10^3) (mm^3) (400 Mpa)
1	2500	1200	400	7353,93	5040,49
2	3000	1200	400	9751,20	6740,59
3	3500	1200	400	15549,52	11474,84
4	4000	1200	400	23919,34	16617,84
5	4500	1200	400	33752,27	22983,99

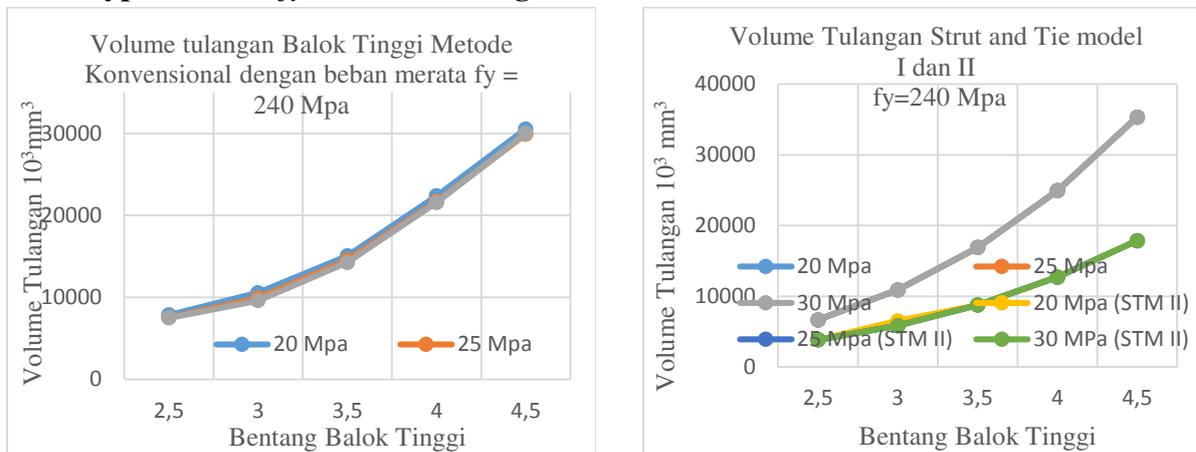
Sumber : Hitungan Penelitian.

Untuk panjang betang 2,5 m hingga 4,5 m volume tulangan bervariasi mulai dari $7353,93 \times 10^3 \text{ mm}^3$ hingga $33752,27 \times 10^3 \text{ mm}^3$ untuk mutu baja 240 MPa dengan mutu beton 20 MPa atau 78,21 % keniakannya terhadap panjang bentang yang divariasikan, dan volume tulangan

$5040,49 \times 10^3 \text{ mm}^3$ hingga $22983,99 \times 10^3 \text{ mm}^3$ atau 78,07 % untuk mutu baja 400 MPa. Perbandingan volume tulangan balok tinggi pada bentang 2,5 m $7353,93 \times 10^3 \text{ mm}^3$ untuk mutu baja 240 MPa, dan $5040,49 \times 10^3 \text{ mm}^3$ untuk mutu baja 400 MPa atau sebesar 31,46 %.

4.4 Perbandingan Volume Tulangan Metode Konvensional dan *Strut-and-Tie-model*

4.4.1 Perbandingan Volume Tulangan Metode Konvensional dan *Strut and Tie Model* Type I dan II $f_y = 240$ MPa dengan Benan 500 kN/m



Gambar 4.5 Pengaruh penambahan panjang balok tinggi terhadap volume tulangan konvensional dan STM I dan II F_y 240 MPa dengan beban 500 kN/m

Grafik perbandingan volume tulangan yang dibutuhkan untuk balok tinggi yang direncanakan terhadap variasi panjang bentang pada metode konvensional dan STM I dan STM II serta dengan verifikasi menggunakan program

Computer Aided Strut and Tie (CAST) mengalami kenaikan kebutuhan volume tulangan yang diperlukan dapat kita lihat pada tabel 4.13 beban 500 kN/m dengan mutu beton (f'_c) 20 Mpa.

Tabel 4.5 Perbandingan nilai Volume tulangan Metode Konvensional dan Metode *Strut and Tie Model* terhadap penambahan bentang dan mutu baja (f_y), beban 500 kN/m dengan mutu beton 20 Mpa.

NO	Betang (mm)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Volume Tul (10^3) (mm ³) ($f_y=240$ Mpa)			Volume Tul (10^3) (mm ³) ($f_y=400$ Mpa)		
				Konvensional	STM I	STM II	Konvensional	STM I	STM II
1	2500	1200	400	7483,05	8768,73	7161,69	4727,72	6273,07	4925,58
2	3000	1200	400	9751,67	13580,12	10920,37	6184,18	9205,12	7070,37
3	3500	1200	400	15532,67	20301,24	16206,83	9176,60	13283,01	10110,99
4	4000	1200	400	23637,26	29257,60	23281,48	15978,48	18702,04	14203,70
5	4500	1200	400	33386,96	40774,72	32404,74	21290,55	25657,53	19504,74

Sumber : Hitungan Penelitian.

Untuk panjang 2,5 m hingga 4,5 m, Volume tulangan konvensional bervariasi dari $7483,05 \times 10^3 \text{mm}^3$ hingga $33386,96 \times 10^3 \text{mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 240 Mpa dengan mutu beton (f'_c) 20 Mpa dan dari $4727,72 \times 10^3 \text{mm}^3$ hingga $21290,55 \times 10^3 \text{mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 400 Mpa dengan mutu beton (f'_c) 20 Mpa. Ini menunjukkan nilai volume tulangan akan mengalami kenaikan seiring dengan penambahan bentang balok tinggi dan nilai volume mutu baja (f_y) 240 Mpa lebih besar dari mutu baja (f_y) 400 Mpa.

Untuk panjang 2,5 m hingga 4,5 m, Volume tulangan STM I dan STM II bervariasi dari $8768,73 \times 10^3 \text{mm}^3$ hingga $40774,72 \times 10^3 \text{mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 240 Mpa dengan mutu beton (f'_c) 20 Mpa dan dari $6273,07 \times 10^3 \text{mm}^3$ hingga

$25657,53 \times 10^3 \text{mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 400 Mpa dengan mutu beton (f'_c) 20 Mpa dan untuk STM II dari $7161,69 \times 10^3 \text{mm}^3$ hingga $32404,74 \times 10^3 \text{mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 240 Mpa dengan mutu beton (f'_c) 20 Mpa dan dari $4925,58 \times 10^3 \text{mm}^3$ hingga $19504,74 \times 10^3 \text{mm}^3$ untuk mutu baja (f_y) 400 Mpa dengan mutu beton (f'_c) 20 Mpa, Ini menunjukkan nilai volume tulangan akan mengalami kenaikan seiring dengan penambahan bentang balok tinggi dan nilai volume mutu baja (f_y) 240 Mpa lebih besar dari mutu baja (f_y) 400 Mpa. Pada bentang 2,6 m hingga 4,5 m dengan mutu baja (f_y) = 240 Mpa volume tulangan konvensional lebih besar dari metode STM I dan STM II.

$5715,36 \times 10^3 \text{mm}^3$ dengan mutu beton (f'_c) 20 MPa atau sebesar 93,953 %,

III. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan referensi yang mendukung proses penyusunan tugas akhir ini, dapat disimpulkan

1. Perhitungan dalam mendesain balok tinggi beton bertulang metode *strut and Tie Model* lebih sederhana daripada metode konvensional,
2. Untuk panjang bentang 2,5 m hingga 4,5 m, memperlihatkan pengaruh pertambahan panjang dengan nilai mutu beton (f'_c) 20 MPa mengalami kenaikan 0,00559 hingga 0,00885 atau 36,5 % untuk mutu baja yang digunakan (f_y) 240 MPa dan dari 0,00335 hingga 0,00531 untuk mutu baja (f_y) 400 MPa,
3. Pada panjang bentang balok tinggi 2,5 m hingga 4,5 m volume tulangan geser akan mengalami kenaikan seiring dengan penambahan bentang mulai dari $345,60 \times 10^3 \text{mm}^3$ hingga

4. Nilai volume tulangan geser mengkaji penurunan seiring dengan variasi mutu beton (f'_c) dan akan mengalami kenaikan seiring dengan penambahan beban,
5. Volume tulangan metode *strut and tie model* akan mengalami kenaikan seiring dengan penambahan bentang dan akan mengalami penurunan seiring dengan variasi mutu beton (f'_c),
6. Volume tulangan yang dibutuhkan dengan metode *Strut-and-Tie-Model II* lebih kecil dibandingkan metode konvensional, namun untuk *Strut-and-Tie-Model I* lebih besar kebutuhan Volume Tulangannya.
7. Bentuk *Strut-and-Tie-Model* yang digunakan akan berpengaruh pada gaya batang yang terjadi. Gaya batang yang ada ini sangat memenuhi besarnya kebutuhan tulangan yang

akan dipakai untuk desain kebutuhan tulangan perlu.

8. Dari hasil analisa yang telah dilakukan juga dapat disimpulkan bahwa metode *Strut-and-Tie-Model* dapat juga secara praktis dan akurat digunakan untuk desain penulangan balok tinggi (*deep beam*), baik analisa yang dilakukan secara maual maupun dengan menggunakan bantuan rogram CAST (*Computer-Aided-Strut and Tie*).

5.2 Saran

1. Dalam perencanaan Balok Tinggi dengan metode *strut and Tie Model* diharapkan akan menguasai *trutss* analogi atau analisa rangka batang dengan benar yaitu di dalam memodelkan rangka batang yang tepat sesuai dengan aliran gaya untuk transfer beban ke masing-masing tumpuan dan dalam keadaan seimbang,
2. Pemodelan rangka batang yang dibangun harus memenuhi persyaratan keseimbangan,
3. Untuk pembebanan dengan gaya gempa diharapkan ada penelitian untuk tugas akhir selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318 (2002), "*Building Code Requirements for Structural Concrete*", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- ACI Committee 318 (2005), "*Building Code Requirements for Structural Concrete*", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Federation Internationale de la Precontrainte / Comite Euro-International du Beton (FIP/CEB). 1990. *High Strength Concrete: State of the Art*

Report. London, UK, 61 pp: Bulletin d'Information No.197.

- Hardjasaputra, H., dan Tumilar, S. (2002), "Model Penunjang dan Pengikat (*Strut and-Tie Model*) Pada Perancangan Struktur Beton", Universitas Pelita Harapan: Jakarta.
- McGregor James G. 1997. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, edisi ke tiga. New Jersey : Prentise Hall
- Nawy, E.G. (1998) *Beton Beetulang Suatu Pendekatan Dasar*, PT Rafika Aditma: Bandung.
- Schlaich, Jorg., Schafer, Kurt (1991), "Design and Detailing of structural Concrete Using Strut and Tie Models," The Structural Engineering.
- Wahyudi, Rahmat. (2010), "*Analisa balok tinggi dengan metode Trut and Tie Model*", Pekanbaru:Tugas Akhir Mahasiswa.
- (2002) ; *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. Jakarta.

http://www.cee.uinc.edu/kuchma/strut_and_tie.html