

EVALUASI DAN PERENCANAAN *PILE CAP* PADA FLY OVER JAMIN GINTING KOTA MEDAN

Tondi Amirsyah Putera, M. Husin Gultom, Ferry Perdana Susanto
Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapt. Muchtar Basri No 3, Medan, Indonesia
e_mail : tondimt@yahoo.com

Abstrak — *Pile cap* merupakan salah satu elemen penting dari suatu struktur. Hal ini dikarenakan *pile cap* memiliki peranan penting dalam pendistribusian beban struktur ke tiang bor untuk kemudian diteruskan ke dalam tanah. Dalam perencanaan *pile cap*, terdapat berbagai metode desain, salah satunya adalah metode *strut and tie*. Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisa dan mengevaluasi perencanaan *pile cap* di titik P10 pada proyek *Fly Over Jamin Ginting* dengan menggunakan metode *strut and tie*. Perhitungan metode *strut and tie* dilakukan berdasarkan peraturan ACI Building Code 318-2002, yang meliputi desain model *strut and tie*, besar gaya yang terjadi, serta penulangan *pile cap*. Untuk memperoleh hasil yang signifikan, maka perhitungan metode *strut and tie* dilakukan dua cara yaitu secara manual dan dengan menggunakan program komputer yaitu CAST. Dari hasil analisa dan perhitungan yang dilakukan, terdapat perbedaan hasil dimana perencanaan metode *strut and tie* yang dilakukan menggunakan program CAST memberikan luas tulangan dan gaya-gaya yang terjadi pada struktur sedikit lebih besar dibandingkan dengan metode secara manual. Untuk metode yang dilakukan secara manual, besar gaya yang terjadi pada masing-masing *strut* $F_1 = 7384,9 \text{ kN}$; $F_2 = 6445,7 \text{ kN}$; $F_3 = 4926,9 \text{ kN}$ dan tulangan yang digunakan pada *tie* $F_1 = 66 \text{ D } 32$; $F_2 = 50 \text{ D } 32$; $F_3 = 26 \text{ D } 32$, dengan luas total tulangan sebesar $114145,28 \text{ mm}^2$. Sedangkan metode dengan menggunakan CAST, besar gaya $F_1 = 8930 \text{ kN}$; $F_2 = 6742,8 \text{ kN}$; $F_3 = 5082,5 \text{ kN}$ dan tulangan yang digunakan pada *tie* $F_1 = 70 \text{ D } 32$; $F_2 = 54 \text{ D } 32$; $F_3 = 34 \text{ D } 32$, dengan luas total tulangan sebesar 129402 mm^2 .

Kata kunci : *pile cap*, program, ACI 318-02, *strut and tie*.

Abstract — *Pile cap* is one of important element of the structure. Therefore the *pile cap* has important figure in distribute structure load to bore pile which is forwarded into ground then. In *pile cap* planning, there are various of design methode, which the one of is *strut and tie* methode. The purpose of this study is to analyxe and evaluate the planning of *pile cap* in P10 at *Fly Over Jamin Ginting* project by using *strut and tie* methode. The calculation of *strut and tie* methode based on ACI Building Code 318-2002 rule, which involve *strut and tie* design, value of force occur, and *pile cap* reinforcement. To obtain the significant result, then the calculation of *strut and tie* methode is done by two ways, by manually and using computer program CAST. From the result of analysis and calculation that have been done, obtained difference value which is the *strut and tie* methode by using CAST gave extensive reinforcement and forces occur bit bigger than by manually. For methode by manually, value of forces occur in each *struts* $F_1 = 7384,9 \text{ kN}$; $F_2 = 6445,7 \text{ kN}$; $F_3 = 4926,9 \text{ kN}$ and reinforcement ties $F_1 = 66 \text{ D } 32$; $F_2 = 50 \text{ D } 32$; $F_3 = 26 \text{ D } 32$, within extension reinforcement is $114145,28 \text{ mm}^2$. Meanwhile the methode by using CAST, value of forces occur in each *struts* $F_1 = 8930 \text{ kN}$; $F_2 = 6742,8 \text{ kN}$; $F_3 = 5082,5 \text{ kN}$ and reinforcement ties $F_1 = 70 \text{ D } 32$; $F_2 = 54 \text{ D } 32$; $F_3 = 34 \text{ D } 32$, within extension reinforcement is 129402 mm^2 .

Keywords: *pile cap*, program, ACI 318-02, *strut and tie*.

I. PENDAHULUAN

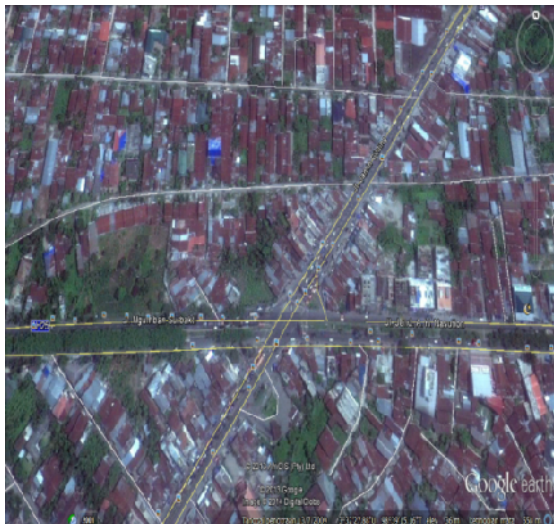
Dewasa ini, seiring perkembangan zaman, pembangunan di Indonesia semakin meningkat. Perkembangan yang diikuti dengan pertumbuhan penduduk yang juga semakin pesat, tak terkecuali di kota-kota besar khususnya kota Medan. Untuk kota Medan sendiri sebagai kota metropolitan ketiga setelah Jakarta & Surabaya tentunya

memiliki intensitas kegiatan yang tinggi. Dalam hal ini jumlah fasilitas yang dipergunakan untuk menunjang kehidupan oleh penduduk juga merangsak naik. Salah satunya adalah kendaraan. Maka dibuatlah jalan sebagai fasilitas penunjang untuk para pengguna kendaraan. Namun seiring peningkatan tersebut, muncul masalah dimana terjadi ketidakmampuan jalan untuk menampung volume kendaraan yang terus naik tiap tahunnya,

sehingga menyebabkan kemacetan lalu lintas. Hal inilah yang menjadi salah satu masalah utama di kota Medan.

Terdapat beberapa titik kemacetan yang sangat parah di kota Medan, salah satunya di Simpang Pos, Kelurahan Padang Bulan, Kecamatan Medan Baru. Kemacetan di kawasan Simpang Pos ini salah satu penyebabnya adalah badan jalan yang tidak mampu menampung kendaraan yang melintas, padahal kawasan ini sangat padat karena menghubungkan Jalan Jamin Ginting (arah kota Medan dan arah Berastagi) – Jalan A.H. Nasution dan Jalan Ngumban Surbakti.

Untuk mengurangi kemacetan di Simpang Pos, Kelurahan Padang Bulan, Kecamatan Medan Baru, maka dibangunlah sebuah jalan alternatif yaitu jembatan layang atau *fly over*. Pada pengerjaan Proyek *fly over* ini, Jalan A.H. Nasution dan Jalan Ngumban Surbakti yang tadinya hanya menggunakan aspal biasa / perkerasan lentur (*flexibel pavement*) diganti dengan menggunakan aspal beton / perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan tebal 27 cm (beton FS 45). Drainase di sepanjang jalan yang dilintasi *fly over* ini juga telah direkonstruksi dengan kedalaman 1 meter dan penampang persegi menggunakan material batu pecah.



Gambar 1: Lokasi proyek *fly over* jamin ginting (Google Earth)

Pada proyek *fly over* Jamin Ginting, pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang bor (*bore pile*) dengan diameter 1 meter dan kedalaman 20 meter. Pondasi adalah bagian terbawah dari sebuah struktur bangunan yang

berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke lapisan tanah dasar. Pondasi harus cukup kuat menahan beban dari struktur atas tanpa terjadinya penurunan. Maka pondasi tiang bor yang dipakai pada proyek *fly over* jamin Ginting ini membutuhkan kepala tiang atau biasa disebut *pile cap*.

Perencanaan *pile cap* haruslah baik dan efisien agar *pile cap* tidak mengalami kegagalan seperti patah maupun pergeseran (satu arah maupun dua arah) dan desain *pile cap* tidak boros sesuai kebutuhan. Oleh sebab itu dibutuhkan perhitungan yang teliti untuk merencanakan dimensi *pile cap*, tebal *pile cap*, serta penulangan *pile cap*.

Setelah memperhatikan latar belakang tersebut, penelitian ini mencoba untuk mempelajari dan menganalisa serta mengevaluasi perencanaan *pile cap* pada proyek *fly over* Jamin Ginting ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Model *Strut and Tie*

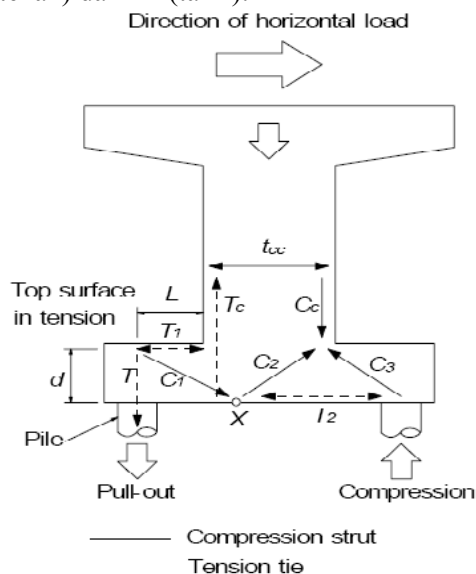
Pile cap pada dasarnya merupakan suatu slab beton tebal yang memikul beban terpusat dengan reaksi titik. *Pile cap* digunakan untuk mendistribusikan beban dari satu atau lebih kolom ke grup tiang pancang. Meskipun menjadi unsur yang sangat umum dan penting dalam suatu konstruksi tidak ada prosedur yang berlaku secara umum untuk desain sebuah *pile cap*. Banyak aturan yang merinci secara empiris yang diikuti dalam praktek, namun pendekatan ini bervariasi secara signifikan. Alasan utama untuk perbedaan ini adalah bahwa kode desain paling tidak memberikan sebuah metodologi desain yang memberikan pemahaman yang jelas tentang kekuatan dan perilaku elemen struktur penting ini.

Ada dua pendekatan umum dalam mendesain sebuah *pile cap*. Pada pendekatan pertama, *pile cap* dianggap sebagai balok tinggi dan dirancang untuk geser pada bagian kritis. Pendekatan kedua yaitu dengan membagi struktur dalam dua daerah yakni, daerah D dan B. Dimana, daerah yang tidak lagi datar dan tegak lurus garis netral sebelum dan sesudah ada tambahan lentur yang dirincikan oleh regangan nonlinear, disebut daerah D (*Disturbed* atau *Discontinuity*) dan daerah dimana berlaku

hukum Bernoulli disebut daerah B (*Bending* atau *Bernoulli*). Pendekatan ini biasa disebut dengan model *strut-and-tie*. Dalam model ini, kekuatan tekan diasumsikan akan didistribusikan melalui *strut* tekan tanpa perkuatan ke daerah nodal pada masing-masing titik tiang pancang dan kekuatan tarik yang terjadi di antara tiang diberikan oleh tegangan *tie* yang dibentuk oleh penguat (tulangan).

Pada balok tinggi, dinding dan struktur diskontinu, metode desain berdasarkan model *strut and tie* sering digunakan untuk menjelaskan efek beban dan perlawanan. Hal ini bergantung pada asumsi bahwa desain mengharapkan aliran gaya yang cocok untuk dibentuk dalam elemen struktur beton yang dianggap membentuk *strut* dan *tie* atau berbagai jenis model truss.

Gambar 2 menggambarkan alur beban (*stress*) dalam *pile cap* di mana garis padat dan garis putus-putus merupakan *strut* (tekan) dan *tie* (tarik). Sisi kanan Gambar 2 menjelaskan bahwa reaksi tumpukan didukung dengan membentuk "segitiga kekuatan" yang terdiri dari C3 (tekan) dan T2 (tarik).



Gambar 2 : *Strut and tie* model pada *pile cap* (Shirato dkk., 1993)

CAST (*Computer Aided Strut And Tie*)

CAST adalah program komputer yang digunakan untuk menganalisa model *Strut and Tie* pada suatu struktur. CAST diciptakan oleh Tjen Tjhin dan Daniel Kuchma pada tahun 1998. CAST telah dikembangkan oleh Universitas Illinois yang mana program ini sering digunakan

untuk mempelajari berbagai konsep ideal model-model *Strut-and-Tie* dengan mudah. CAST mempermudah pemeriksaan kestabilan model STM yang dirancang dan menginformasikan gaya-gaya yang terjadi pada setiap komponen elemen STM berupa *strut*, *tie*, dan *node*.

III. METODE PENELITIAN

Deskripsi Proyek

Proyek *Fly Over* Jamin Ginting terletak di persimpangan Jalan Jamin Ginting-Jalan Ngumban Surbakti- Jalan AH Nasution di kota Medan yang mempunyai lalu lintas sangat padat dan merupakan titik kemacetan di Kota Medan. Pemilik proyek ini adalah Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional I SNVT Pelaksanaan Jalan Nasional Metropolitan Medan PPK 18 (Metropolitan Medan Selatan Cs). Penyedia jasa pada proyek ini adalah hasil kerja sama PP-WIKA dan KSO dengan Nomor Kontrak 05/KTR-APBN/FO-JG/PPK18/2012 tanggal 24 Juli 2012, Nomor SPMK PR.03.02-Br.S4/PPK18/1572/2012 tanggal 25 Juli 2012. Pelaksanaan pekerjaan dimulai pada tanggal 26 Juli 2012 dan dibutuhkan waktu pelaksanaan selama 900 (sembilan ratus) hari kalender dengan masa pemeliharaan selama 1096 (seribu sembilan puluh enam) hari kalender. Panjang *Fly Over* direncanakan sepanjang 658 meter (sta. 0+567 s/d sta. 1+ 225) menggunakan fondasi bore pile 145 titik (beton K350, besi ulir U39). Jumlah Footing, Pilar dan Kepala Pilar sebanyak 12 buah (P1 – P12) dengan menggunakan mutu beton K250 untuk Footing, mutu beton K350 untuk Pilar dan mutu beton K400 untuk Kepala Pilar. Untuk Footing, Pilar dan Kepala Pilar masing-masing menggunakan besi ulir U39.

Jumlah Abutmen pada Proyek *Fly Over* Jamin Ginting sebanyak 2 buah (A1 dan A2) dengan menggunakan mutu beton K250 dan besi ulir U39. Untuk Hollow Slab pada proyek ini direncanakan 10 buah (A1 – P4, P7 – A2) dengan mutu beton K350 dan menggunakan besi ulir U39. Dan terakhir untuk Box Girder direncanakan 3 span (P4 – P7) dengan mutu beton K500 dan menggunakan besi ulir U39). Di sekitar lokasi proyek terdapat pemukiman padat penduduk dan usaha pertokoan warga. Untuk

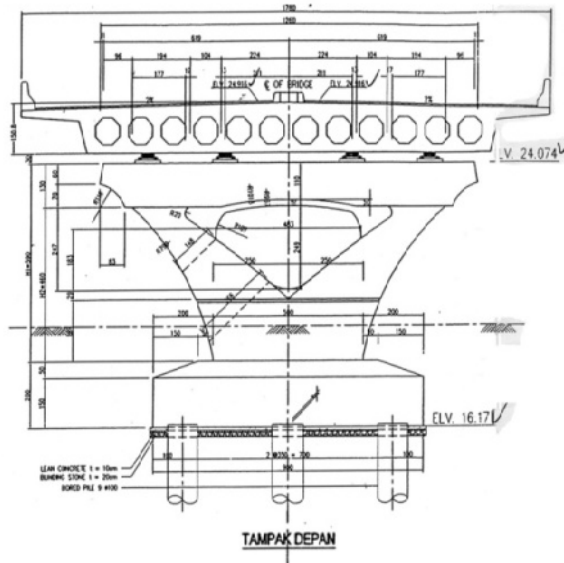
lebih jelasnya dapat dilihat peta proyeknya pada Gambar 3 berikut ini.



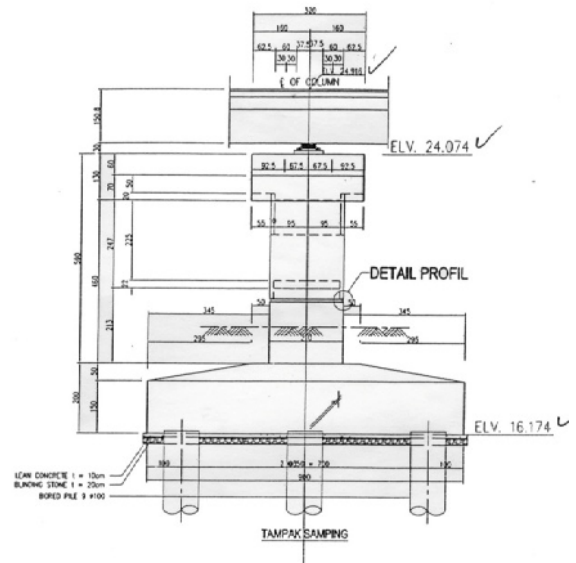
Gambar 3 : Peta lokasi proyek *Fly Over Jamin Ginting*

Detail Struktur *Pile Cap*

Dalam kasus ini detail struktur dikhususkan pada P10, meliputi dimensi pilar/kolom, dimensi kepala pilar, dimensi slab dan data-data lain yang sekiranya diperlukan pada penelitian ini diperlihatkan pada gambar 4, dibawah ini.



(a)



(b)

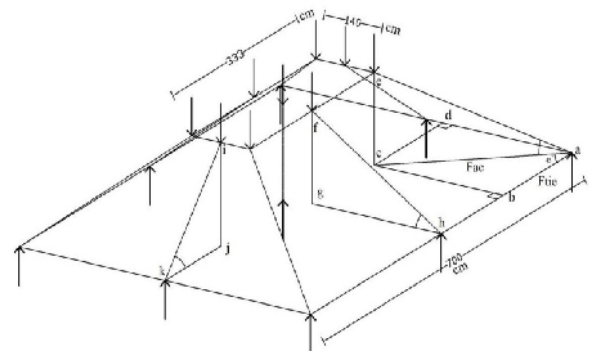
Gambar 4 : Detailing struktur slab, pier head, pier, dan *pile cap* di P10

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa *Pile Cap*

Gaya-gaya yang bekerja Pada *Strut And tie Pile Cap*

Untuk beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah digunakan tebal selimut beton sebesar 75 mm. Diasumsikan jarak dari garis tengah tulangan *tie* bawah ke serat beton bawah adalah 150 mm dan tebal strut horizontal atas adalah 300 mm. Maka, jarak antara tie bawah dengan strut horizontal atas (ec) adalah sebagai berikut:



Gambar 5 : Kerangka model *Strut And Tie* pada *Pile Cap*

$$\begin{aligned}
 ec &= fg = ij = 2000 - 150 - (300/2) \\
 &= 1700 \text{ mm} \\
 ab &= jk = 3500 - (3300/2) = 1835 \text{ mm} \\
 ad &= gh = 3500 - (1400/2) = 2800 \text{ mm} \\
 ac &= \sqrt{2800^2 + 1835^2} = 3347,719 \text{ mm} \\
 \theta F_1 &= \tan^{-1}(ec / ac) \\
 &= \tan^{-1}(1700 / 3347,719) = 26,92^\circ > 25^\circ \\
 \theta F_2 &= \tan^{-1}(fg / ad) = \tan^{-1}(1700 / 2800) \\
 &= 31,26^\circ > 25^\circ \\
 \theta F_3 &= \tan^{-1}(ij / kj) = \tan^{-1}(1700 / 1835) \\
 &= 42,81^\circ > 25^\circ
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan persyaratan yang ditentukan ACI318-02 bahwa sudut terkecil antara sebuah strut dengan sebuah tie yang bergabung di daerah node ditetapkan sebesar 25° , maka sudut kemiringan strut masih memenuhi syarat.

Maka, gaya pada strut F_1 :

$$F_1 = \frac{3345,354 \text{ kN}}{\sin 26,92} = 7384,888 \text{ kN}$$

Sedangkan gaya pada tie diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{ac} &= F_1 / \tan \theta = 7384,888 / \tan 26,92^\circ \\
 &= 14537,18 \text{ kN} \\
 F_{tie} &= F_{ac} \cos 45^\circ = 14537,18 \times \cos 45^\circ \\
 &= 10277,79 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya pada strut F_2 :

$$F_2 = \frac{3345,354 \text{ kN}}{\sin 31,26} = 6445,769 \text{ kN}$$

Sedangkan gaya pada tie diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{ac} &= F_2 / \tan \theta = 6445,769 / \tan 31,26^\circ \\
 &= 10619,06 \text{ kN} \\
 F_{tie} &= F_{ac} \cos 45^\circ = 10619,06 \times \cos 45^\circ \\
 &= 7507,675 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya pada strut F_3 :

$$F_3 = \frac{3345,354 \text{ kN}}{\sin 42,81} = 4926,884 \text{ kN}$$

Sedangkan gaya pada tie diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{ac} &= F_3 / \tan \theta = 4926,884 / \tan 42,81^\circ \\
 &= 5320,609 \text{ kN} \\
 F_{tie} &= F_{ac} \cos 45^\circ = 5320,609 \times \cos 45^\circ \\
 &= 3761,671 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Analisa Kekuatan *Strut* Dan Tulangan *Tie*

Kuat Tekan Strut F_1

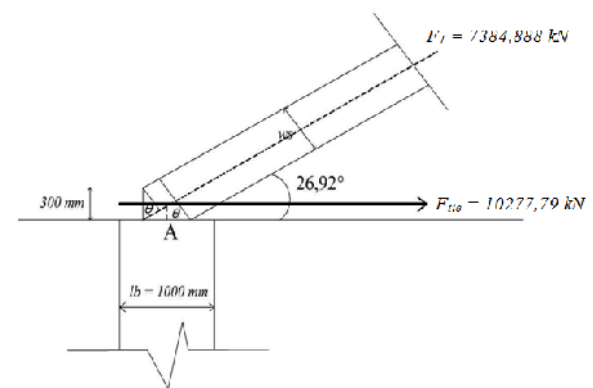
Pada node bawah:

Karena tulangan tie yang digunakan hanya satu lapis tulangan maka:

$$w_t = 2c + \emptyset$$

Telah diasumsikan sebelumnya bahwa jarak dari garis tengah tie ke bawah serat terluar beton adalah 150 mm, maka:

$$\begin{aligned}
 w_t &= 300 \text{ mm} \\
 w_s &= lb \sin \theta + w_t \cos \theta \\
 w_s &= 1000 \sin 26,92^\circ + 300 \cos 26,92^\circ \\
 &= 720,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 6 : Penampang *Strut* F_1

Kapasitas strut miring berdasarkan ACI318-02 diberikan oleh:

$$\begin{aligned}
 F_{ns} &= 0,85 \beta_s f_c' x w_s \cdot b \\
 F_{ns} &= 0,85 \times 1 \times 20,75 \times 720,6 \times 1000 \times 10^{-3} \\
 &= 12709,58 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kuat nominal strut harus lebih besar daripada gaya yang terjadi:

$$\begin{aligned}
 \Phi F_{ns} &= 0,75 \times 12709,58 \\
 &= 9532,187 \text{ kN} \\
 \Phi F_{ns} &\geq F_1 = 7384,888 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

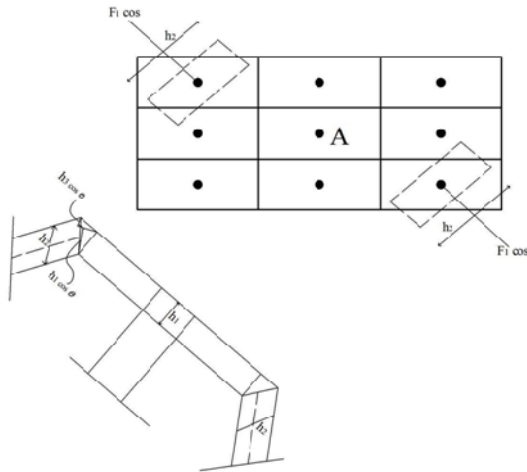
Pada node atas:

Pada node atas juga diperlukan suatu daerah penyangga (*strut*). Luas *area strut* pada node atas (A_{CST}) dapat dicari sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \Phi 0,85 \beta_s f_c' x A_{CST} \\
 A_{CST} &= \frac{7384,888 \times 10^3}{0,75 \times 0,85 \times 1 \times 20,75} = 558271,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jika diidealisasikan bahwa strut diagonal tersebut berbentuk persegi. Maka panjang sisi dari strut (h_2) dapat diperoleh sebagai berikut:

$$h_2 = \sqrt{A_{CST}} = \sqrt{558271,7} = 747,173 \text{ mm}$$



Gambar 7 : Gambar Penampang model *strut* and *tie* F1

Untuk menghitung ketebalan h_1 (lihat gambar di atas), maka digunakan lebar rata-rata (h_3) untuk area A. Dengan demikian:

$$h_3 = \frac{A}{h_2} = \frac{252897,1}{747,173} = 338,471 \text{ mm}$$

$$h_2 = h_3 \sin \theta + h_1 \cos \theta \rightarrow 747,173$$

$$= 338,471 \sin 26,92^\circ + h_1 \cos 26,92^\circ$$

$$h_1 = 665,75 \text{ mm}$$

$$f_c = \frac{F_1 \cos \theta}{h_1 \times h_2} = \frac{7384,888 \times 1000 \times \cos 26,92}{665,75 \times 747,173}$$

$$= 13,243 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cn} = 0,85 \beta_s f_c'$$

$$= 0,85 \times 1,0 \times 20,75$$

$$= 17,6375 \text{ N/mm}^2$$

Maka:

$$\phi f_{cn} = 0,75 \times 17,6375 = 13,25 \text{ N/mm}^2$$

Karena ϕf_{cn} lebih besar atau sama dengan f_c maka desain strut F_1 memadai.

$$\phi f_{cn} \geq f_c \rightarrow 13,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\geq 13,243 \text{ N/mm}^2$$

untuk kuat tekan strut F2 dan F3 dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 1. Kuat tekan strut pada F2 dan F3

	Node Bawah			Node Atas					
	w_s (mm)	ϕF_{tn} (kN)	F_x (kN)	A_{CST} (mm ²)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	ϕf_{cn} (MPa)	f_c (MPa)
Strut F2	756,435	10006,214	6445,769	756434,8	840,73	869,733	290,78	13,25	7,537
Strut F3	899,2	11894,73	4929,884	372455,2	448,122	610,291	414,388	13,25	13,22

Tulangan Tie

Untuk tulangan *tie* dapat dilihat pada table berikut ini.

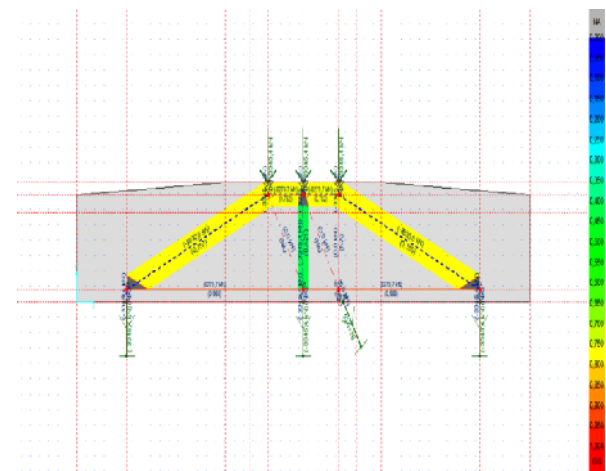
Tabel 2. Diameter Tulangan *Tie*

	Diameter	Luasan(mm ²)
Tie F1	D _{B2} -143	26.526,72
Tie F2	D _{B2} -108	20.096,00
Tie F3	D _{B2} -280	10.449,92

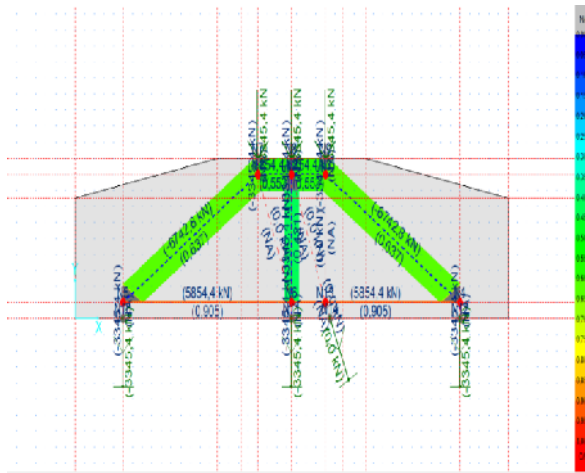
Analisa *Strut And Tie* Dengan Cast (*Computer Aided Strut And Tie*)

CAST (*Computer Aided Strut and Tie*) merupakan salah satu program yang dapat digunakan untuk menganalisa metode *strut and tie* pada struktur. Pada analisa menggunakan program CAST ini, pemodelan *strut and tie* dibuat per layer dalam bentuk 2 dimensi.

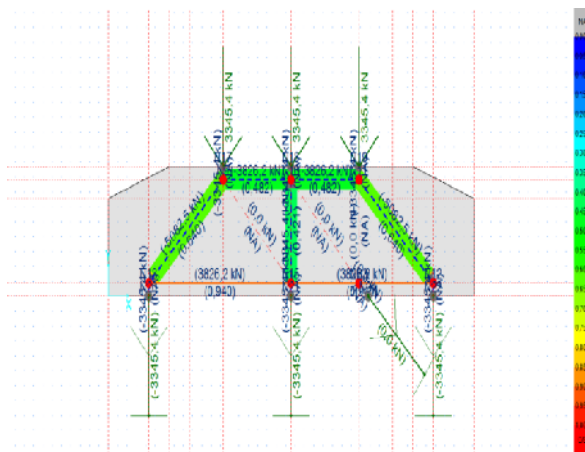
Berikut adalah hasil analisa CAST dari elemen STM untuk strut, tie, node F_1 , F_2 , dan F_3 .



Gambar 8 : Hasil *Run Analysis* dari STM F1



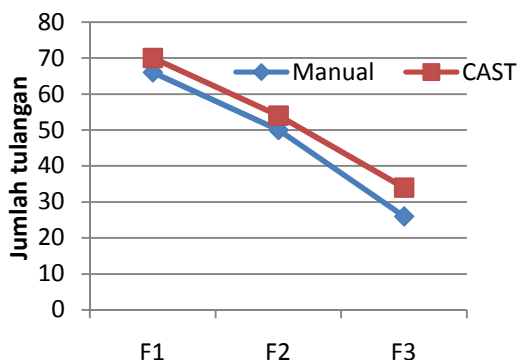
Gambar 9 : Hasil Run Analysis dari STM F2



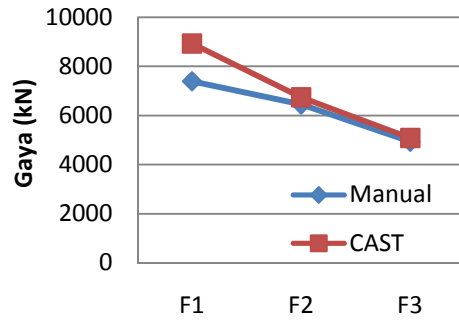
Gambar 9 : Hasil Run Analysis dari STM F3

Perbandingan Gaya Dan Desain Tulangan

Dari perhitungan yang diperoleh menggunakan cara manual dan CAST, didapat desain tulangan yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan juga perbandingan gaya yang dihasilkan pada Gambar 11.



Gambar 10 : Perbandingan Desain Tulangan



Gambar 11 : Perbandingan Besar Gaya

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa Hasil metode *strut and tie* yang menggunakan program CAST memberikan luas tulangan dan gaya-gaya yang terjadi pada elemen STM sedikit lebih besar dibanding dengan metode secara manual. Untuk metode yang dilakukan secara manual, besar gaya yang terjadi pada masing-masing strut $F_1 = 7384,9$ kN ; $F_2 = 6445,7$ kN ; $F_3 = 4926,9$ kN dan tulangan yang digunakan pada tie $F_1 = 66$ D 32 ; $F_2 = 50$ D 32 ; $F_3 = 26$ D 32, dengan luas total tulangan sebesar 114145,28 mm². Sedangkan metode dengan menggunakan CAST, besar gaya $F_1 = 8930$ kN ; $F_2 = 6742,8$ kN ; $F_3 = 5082,5$ kN dan tulangan yang digunakan pada tie $F_1 = 70$ D 32 ; $F_2 = 54$ D 32 ; $F_3 = 34$ D 32, dengan luas total tulangan sebesar 129402 mm². Hasil perhitungan dengan menggunakan CAST lebih besar 8,5 % daripada dengan menggunakan cara manual. Dari hasil yang diperoleh, desain tulangan utama terbesar pada CAST lebih mendekati dengan desain tulangan utama pada perencanaan di lapangan yaitu 73 D 32. Keuntungan menggunakan metode *strut and tie* ini adalah kemudahan perhitungan gaya dan dapat menganalisa aliran gaya yang terjadi sehingga letak tulangan benar-benar tepat di tempat yang membutuhkan sehingga fungsi kerja tulangan menjadi lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 318. (2002) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-02)*. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute.

Adebar, P., Zhou, Z., dan Zongyu, L. (1993) *Design of Deep Pile Caps by Strut-and-Tie Models*, ACI Structural Journal, No. 93-S41.

- Badan Standardisasi Nasional. (2002) *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 2847 – 2002)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987) *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1992) *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005) *Standart Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T -02-2005)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Ghoneim, M., dan El-Mihilmy, M. (2008) *Design of Reinforced Concrete Structures*, Vol. 3.
- Ghoneim, M., dan El-Mihilmy, M. (2008) *Design of Reinforced Concrete Structures*, Vol. 1.
- Hardjasaputra, H., dan Tumilar, S. (2002) *Model Penunjang dan Pengikat (Strut and Tie Model) Pada Perancangan Struktur Beton*. Universitas Pelita Harapan.
- Mowka, R. L. (1999) *Investigation of the Resistance of Pile Caps to Lateral Loading*. Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Pakpahan, R. (2010) *Analisis Perencanaan Dinding Geser Dengan Metode Strut and Tie Model*, Tugas Akhir. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Reineck, K. (2002) *Examples for the Design of Structural Concrete with Strut-and-Tie Models*. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute.
- Schlaich, J., Schäfer, K., dan Jennewein, M. (1987) *Toward a Consistent Design of Structural Concrete*, Journal of Prestressed Concrete Institute, Vol. 32, No. 3, Hal: 74-150.
- Shirato, M., Fukui, J., Masui, N., dan Kosa, K. (2002) *Ultimate Shear Strength of Pile Caps*. Concrete Library International, Japan Society of Civil Engineering.
- Simalango, R. (2011) *Analisa Dan Perencanaan Pile Cap Dengan Metode Strut And Tie Berdasarkan ACI Building Code 318-2002*, Laporan Tugas Akhir. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Souza, R., Kuchma, D., Park, J., dan Bittencourt, T. (2001) *Adaptable Strut-and-Tie Model for Design and Verification of Four-Pile Caps*, ACI Structural Journal, No. 106-S15.
- Winter, G., Nilson, A. (1991) *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.