

TESIS

**TINJAUAN ANALISIS *STRUT AND TIE MODEL*
UNTUK MEMPREDIKSI KUAT GESER ULTIMIT
PADA BALOK TINGGI-T BETON BERTULANG**



AGUSTINUS SUNGSANG NANA PATRIA

No. Mhs.: 155102397/PS/MTS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2017



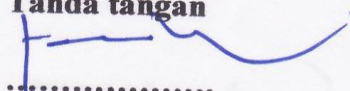
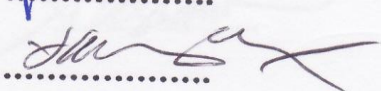
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : AGUSTINUS SUNGSANG NANA PATRIA
Nomor Mahasiswa : 155102397/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Tinjauan Analisis *Strut And Tie Model* untuk
Memprediksi Kuat Geser Ultimit pada Balok Tinggi-T
Beton Bertulang

Nama Pembimbing
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng.
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.

Tanggal
24/07/2017
19/07/17

Tanda tangan





UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : AGUSTINUS SUNGSANG NANA PATRIA
Nomor Mahasiswa : 155102397/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Tinjauan Analisis *Strut And Tie Model* untuk
Memprediksi Kuat Geser Ultimit pada Balok Tinggi-T
Beton Bertulang

Nama Penguji	Tanggal	Tanda tangan
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. (Ketua)	24/07/2017	
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. (Anggota)	19/07/17	
Ir. FX. Sugianto, M.Eng., Ph.D. (Anggota)	18/07/17	



Ketua Program Studi

Dr. Ir. Imam Basuki M.T.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis dengan judul :

**TINJAUAN ANALISIS *STRUT AND TIE MODEL*
UNTUK MEMPREDIKSI KUAT GESER ULTIMIT PADA BALOK
TINGGI-T BETON BERTULANG**

benar-benar merupakan hasil karya pendalaman akademik saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari orang lain. Ide, data hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tesis ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan



(Agustinus Sungsang Nana Patria)

Tesis ini saya persembahkan untuk:
Allah Sang Pencipta
Terima kasih atas rahmat, pertolongan dan mukjizat-Mu
Yesus, Bunda Maria, Santo Yosef, para Malaiikat dan Orang Kudus
Terima kasih atas jalan dan perantara doa dan usaha kepada-Nya
Bapak, Ibu, Kakak dan Adik
Terima kasih atas segala doa, kasih sayang dan pengorbanan yang telah dicurahkan

Dengan ini,
Bukan berarti perjuangan sudah selesai,
Namun perjuangan baru akan dimulai,
Jalan panjang, terjal dan berkelok sudah terbuka,
Beban berat telah terpasang di pundak,
Tantangan akan silih berganti menguji,
Sudah siapkah diri ini akan mempertanggung jawabkan...

"Akulah terang dunia; barangsiapa mengikut Aku, ia tidak akan berjalan dalam kegelapan, melainkan ia akan mempunyai terang hidup"
(Yohanes 8 : 12)

INTISARI

Metode baru berdasarkan *Strut and Tie Model* diusulkan untuk menghitung kuat geser ultimit balok tinggi-T beton bertulang. Analisis *Finite Element non linear* digunakan terlebih dahulu untuk mengetahui trayektori tegangan. Pemodelan beton menggunakan elemen hexahedral 8-node dengan *damaged plasticity model* sebagai persamaan konstitutifnya. Sedangkan pemodelan tulangan menggunakan elemen *space truss* dengan *elastic perfectly plastic* sebagai persamaan konstitutifnya. Trayektori tegangan yang terbentuk digunakan untuk membentuk konfigurasi *Strut and Tie Model*. Diasumsikan bahwa total aliran gaya geser pada balok tinggi-T beton bertulang ditopang oleh dua ketahanan, yaitu *strut* beton diagonal karena mekanisme *Strut and Tie Model* dan gaya ketahanan ekuivalen dari tulangan badan. Sembilan hasil eksperimen peneliti lain digunakan untuk mencari model yang belum diketahui melalui regresi *non linear*. Hasil eksperimen yang beda sekaligus berfungsi untuk validasi. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa metode yang diusulkan bisa digunakan untuk memprediksi kuat geser ultimit balok tinggi-T beton bertulang.

Kata kunci : *strut and tie model*, kuat geser ultimit, balok tinggi-T beton bertulang, analisis *finite element non linear*, trayektori tegangan

ABSTRACT

A new method based on Strut and Tie Model is proposed to determine the ultimate shear strength of reinforced concrete T-deep beam. Nonlinear Finite Element Analysis is used first to indicate the stress trajectory. Concrete modeling uses 8-node hexahedral elements with damaged plasticity model as the equation constitutive and reinforcement modeling using space truss element with elastic perfectly plastic as the constitutive. The stress trajectory produced is then used to model the Strut and Tie configuration. It is assumed that the total shear force flow in the reinforced concrete-T deep beam is resisted by two resistance, namely diagonal concrete strut due to the Strut and Tie mechanism and the equivalent resisting force by the web reinforcement. Nine experimental results by other researchers are used to solve for the model parameters through the use of non linear regression. The available experiment results are then also used as means of validation. The comparison results indicate that the proposed method can be used to predict the ultimate shear strength of reinforced concrete T-deep beams.

Keywords: strut and tie model, ultimate shear strength, reinforced concrete T-deep beam, analysis of non linear finite element, trajectory of stress

KATA HANTAR

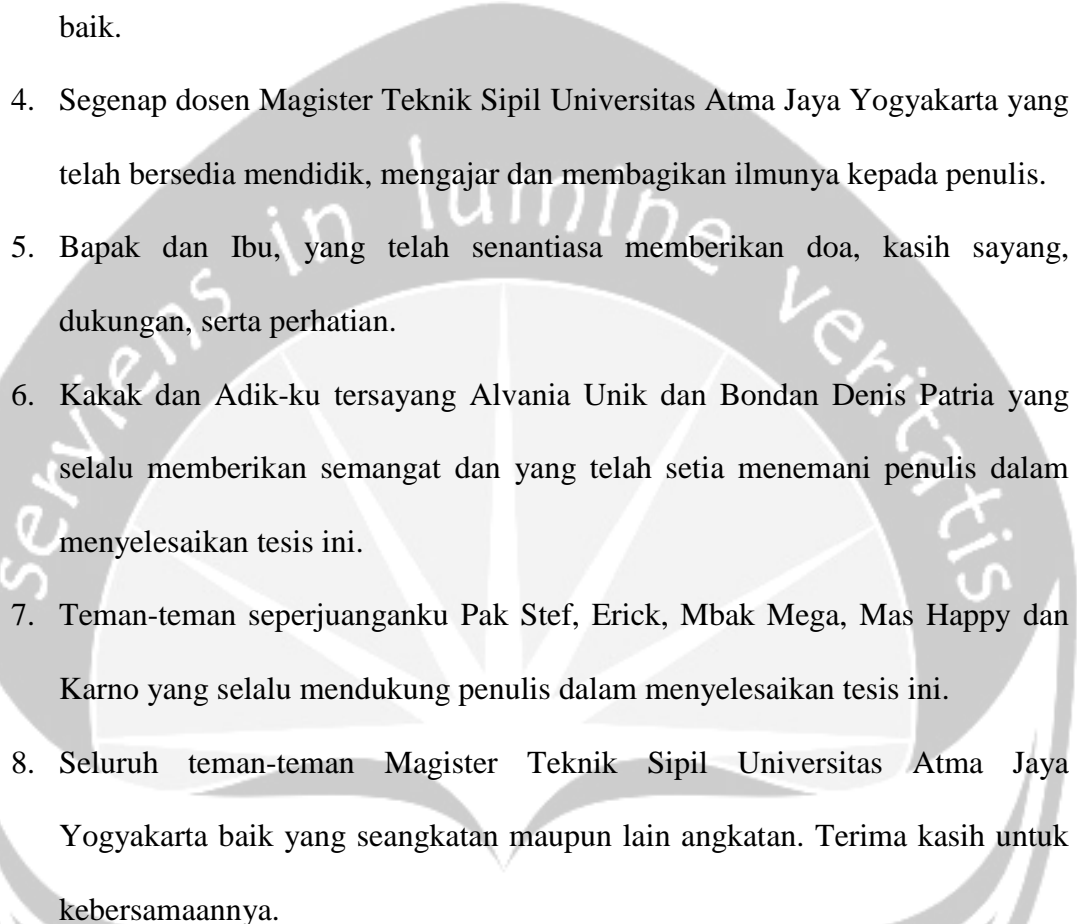
Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah melimpahkan berkat dan limpahan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Tinjauan Analisis *Strut And Tie Model* untuk Memprediksi Kuat Geser Ultimit pada Balok Tinggi-T Beton Bertulang”**.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Strata 2 (S2) di Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Dalam kesempatan ini penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Imam Basuki M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. dan Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah begitu sabar serta memberikan begitu banyak bantuan dan dorongan sehingga tesis ini dapat terselesaikan.

- 
3. Bapak Ir. FX. Sugianto, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan dan bantuan sehingga tesis ini menjadi lebih baik.
 4. Segenap dosen Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mendidik, mengajar dan membagikan ilmunya kepada penulis.
 5. Bapak dan Ibu, yang telah senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta perhatian.
 6. Kakak dan Adik-ku tersayang Alvania Unik dan Bondan Denis Patria yang selalu memberikan semangat dan yang telah setia menemani penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
 7. Teman-teman seperjuanganku Pak Stef, Erick, Mbak Mega, Mas Happy dan Karno yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
 8. Seluruh teman-teman Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta baik yang seangkatan maupun lain angkatan. Terima kasih untuk kebersamaannya.

Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian terutama bagi mahasiswa Teknik Sipil.

Yogyakarta, Juli 2017

Penulis

Agustinus Sungsang Nana Patria

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
INTISARI	vi
ABSTRACT	vii
KATA HANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Keaslian Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Tujuan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1. Balok Tinggi Beton Bertulang	13
3.2. Penampang dan Kuat Geser Balok-T Beton Bertulang	13
3.3. Kuat Tekan Beton	14
3.4. <i>Discontinuity Regions</i> (Daerah Terganggu) Balok	14
3.5. Metode <i>Strut and Tie Model (STM)</i>	15
3.6. Elemen <i>Strut</i>	16
3.7. Elemen <i>Tie</i>	17
3.8. Elemen <i>Nodal Zone</i>	18
3.9. Persamaan yang diusulkan A. Arabzadeh, A.R. Rahaie dan R. Aghayari (2009) untuk Memprediksi Kuat Geser Ultimit Balok Tinggi Beton Bertulang	19
3.9.1 Kuat Geser Balok Karena <i>Strut</i> Beton (V_c)	19
3.9.2 Kuat Geser Balok Karena Tulangan Badan (V_w)	24
3.9.3 Keseimbangan Gaya Bekerja pada <i>Strut</i>	27
3.9.4 Final Desain	31

BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	32
4.1.	Data Penelitian	32
4.2.	Langkah-langkah Penelitian	32
BAB V	PEMODELAN <i>FINITE ELEMENT</i> DAN PREDIKSI <i>STRUT AND TIE MODEL (STM)</i>	36
5.1.	Pemodelan <i>Finite Element</i>	36
5.1.1.	Elemen Hexahedral Delapan Titik Simpul	36
5.1.1.1.	Koordinat Alami	36
5.1.2.	Konstitutif Model	38
5.1.2.1.	Material Beton	38
5.1.2.2.	Material Baja Tulangan	42
5.1.3.	Experimental Program	43
5.1.4.	Pengembangan <i>STM</i>	47
5.2.	Prediksi <i>STM</i>	47
5.2.1.	Kuat Geser Balok karena <i>Strut</i> Beton (V_c)	48
5.2.1.1.	Dasar <i>Strut and Tie Model (STM)</i>	48
5.2.1.2.	Kuat desak <i>softened</i> beton	57
5.2.2.	Kuat Geser Balok karena Tulangan Badan (V_w)	58
5.2.3.	Keseimbangan Gaya Bekerja pada <i>Strut</i>	60
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1.	Kesimpulan	75
5.2.	Saran	76
	DAFTAR PUSTAKA	77
	LAMPIRAN	80

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1. Trayektori Tegangan Utama dengan B dan D-Region	15
Gambar 3.2. Pemodelan <i>Strut and Tie</i> Model	16
Gambar 3.3. Idealisasi Bentuk-bentuk <i>Strut</i>	17
Gambar 3.4. Tipe-tipe Nodal dalam Metode <i>STM</i>	18
Gambar 3.5. Geometri Balok Tinggi-T Beton Bertulang	20
Gambar 3.6. Keseimbangan <i>Strut</i> dengan Ketiadaan Tulangan Badan	21
Gambar 3.7. Geometri <i>Strut</i> Prismatik	23
Gambar 3.8. Kurva Softening Tegangan-Regangan Tekan karena Regangan Tarik Transversal	24
Gambar 3.9. Gaya-Gaya yang Terjadi pada Penulangan Badan Balok	25
Gambar 4.1. Langkah Penelitian	35
Gambar 5.1. Elemen Hexahedral dengan Koordinat Alami	36
Gambar 5.2. Hubungan Konstitutif Material Beton	39
Gambar 5.3. Hubungan Tegangan-Regangan Konstitutif Baja Tulangan	42
Gambar 5.4. Detail Geometri Balok (satuan dalam mm)	44
Gambar 5.5. Skema Pembebanan Balok (satuan dalam mm)	44
Gambar 5.6. Visualisasi 3-D <i>Meshing</i> Model	45
Gambar 5.7. Visualisasi Pembebanan Titik dan Tumpuan	45
Gambar 5.8. Visualisasi Trayektori Tegangan Tampak 3D	46
Gambar 5.9. Visualisasi Trayektori Tegangan Tampak 2D (Depan)	46
Gambar 5.10. Visualisasi Kontur Trayektori Tegangan	47
Gambar 5.11. Pemodelan <i>Strut and Tie Model</i> Berdasarkan Trayektori Tegangan yang Terbentuk dari Pemodelan <i>Finite Element</i>	47
Gambar 5.12. Geometri Balok Tinggi-T Beton Bertulang	48
Gambar 5.13. Keseimbangan <i>Strut</i> dengan Ketiadaan Tulangan Badan	50
Gambar 5.14. Detail Balok-T dalam Keadaan Seimbang	51
Gambar 5.15. Diagram Tegangan Balok Tinggi-T Beton Bertulang apabila $a_b \leq h_f$	54
Gambar 5.16. Geometri Balok Tinggi-T apabila $a_b \leq h_f$	54
Gambar 5.17. Geometri <i>Strut</i> Prismatik apabila $a_b \leq h_f$	54
Gambar 5.18. Diagram Tegangan Balok Tinggi-T Beton Bertulang apabila $a_b > h_f$	55
Gambar 5.19. Geometri Balok Tinggi-T apabila $a_b > h_f$	56
Gambar 5.20. Geometri <i>Strut</i> Prismatik apabila $a_b > h_f$	56
Gambar 5.21. Kurva Softening Tegangan-Regangan Tekan karena Regangan Tarik Transversal	57
Gambar 5.22. Gaya-Gaya yang Terjadi pada Penulangan Badan Balok	58

Gambar 5.23. Perbandingan Kuat Geser Ultimit Hasil Eksperimen $V_{u\text{ EXP}}$ dan
Prediksi $V_{u\text{ STM}}$ 69

Gambar 5.24. Perbandingan Kuat Geser Ultimit Hasil Eksperimen $V_{u\text{ EXP}}$ dan
Prediksi $V_{u\text{ STM}}$ Berdasarkan Persamaan Baru 74



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1. Data Spesimen Pengujian Kuat Geser Ultimit Balok Tinggi-T Beton Bertulang	64
Tabel 5.2. Hasil Perhitungan v_{cw}	66
Tabel 5.3. Input Data Regresi Nonlinear Menggunakan Program SPSS 22.....	66
Tabel 5.4. Output Hasil Regresi Nonlinear Menggunakan Program SPSS 22.....	67
Tabel 5.5. Hasil Pengaplikasian Persamaan yang Diusulkan ke Spesimen Pengujian	68
Tabel 5.6. Hasil Perbandingan $V_{u\text{ STM}}$ dan $V_{u\text{ EXP}}$	69
Tabel 5.7. Hasil Perhitungan v_{cw} setelah Dikalikan dengan 0.78.....	70
Tabel 5.8. Input Data Regresi Nonlinear Menggunakan Program SPSS 22 setelah Nilai v_{cw} Dikalikan 0.78.....	71
Tabel 5.9. Output Hasil Regresi Nonlinear Menggunakan Program SPSS 22 setelah Nilai v_{cw} Dikalikan 0.78.....	71
Tabel 5.10. Hasil Pengaplikasian Persamaan yang Diusulkan ke Spesimen Pengujian Berdasarkan Persamaan Baru	73
Tabel 5.11. Hasil Perbandingan $V_{u\text{ STM}}$ dan $V_{u\text{ EXP}}$ Berdasarkan Persamaan Baru	73

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Input Analisis <i>Finite Element Non Linear</i> dengan <i>Abaqus 6.14 Student Edition</i>	81

