



**KAJIAN NUMERIK PENGGUNAAN *STRUT & TIE MODEL (STM)* PADA
PIERHEAD JEMBATAN KANTILEVER GANDA**



UNIVERSITAS
MERCU BUANA
FERY RISWANTO
55720120014

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

2023



**KAJIAN NUMERIK PENGGUNAAN *STRUT & TIE MODEL (STM)* PADA
PIERHEAD JEMBATAN KANTILEVER GANDA**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Pascasarjana
Program Studi Magister Teknik Sipil

UNIVERSITAS
Oleh:
MERCU BUANA
FERY RISWANTO

55720120014

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

2023

ABSTRACT

Today, STM provision has developed with a rectangular deep beam (Varney et al., 2015). To expand the application of STM for knowing the behavior of double cantilever pierhead, must be verified. The goals are (1) Verified feasibility of STM to predict the structure failure mechanism of double cantilever pierhead. (2) Knowing the structure failure mechanism on the double cantilever pierhead due to transferring the load. (3) The difference in the quantity of material used on double cantilever pierhead design with STM according to SNI 2847: 2019 and AASHTO LRFD: 2017.

Finding the result (1) load transferred on the pierhead specimen's S1 (direct strut mechanism) and S2 (vertical ties mechanism) confirmed, there is the same behavior between STM and FEM. The strength ratio, on the specimen's S1 respectively 1.118; 1.09; 1.293, on the other hand, S2 0.63, above 1 conservative and can predict the strength of structure very well. Deflection in 100% loading applied, specimen: S1 (allowable is 18.75mm) respectively 12.88mm, 7.96mm, 2.048mm and S2 (allowable is 40.62) is 38mm. (2) Failure mechanism on the pierhead between STM and FEM, specimen's S1, are same, but S2 is different. (3) Rebar usage has a deviation between SNI and AASHTO on the S1 respectively 16.67%; 15.78%; 16.13% and S2 is 17.05%, with AASHTO lower than SNI.

Keyword: Double cantilever pierhead, STM, FEM, BESO 2D.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ABSTRAK

Saat ini ketentuan STM dikembangkan dengan balok tinggi berbentuk persegi (Varney et al., 2015). Mengembangkan aplikasi penggunaan STM dalam mendekati perilaku *pierhead* kantilever ganda perlu dilakukan verifikasi. Tujuan penelitian (1) menverifikasi keandalan STM dalam memprediksi kegagalan struktur pada *pier head* jembatan kantilever ganda, (2) mengetahui mekanisme kegagalan struktur pada *pier head* jembatan kantilever ganda akibat beban yang bekerja, (3) Perbedaan penggunaan material pada *pier head* kantilever ganda yang didesain dengan SNI 2847 : 2019 dan AASHTO LRFD 2017 dengan STM.

Hasil (1) distribusi beban pada *pierhead* spesimen S1 (mekanisme *strut* secara langsung) dan S2 (mekanisme *ties* vertikal) terkonfirmasi antara STM dan MEH memiliki kesamaan. Rasio kekuatan, V_{MEH}/V_{STM} pada spesimen S1 berturut – turut 1.118; 1.09; 1.293, sedangkan S2 0.63, dengan nilai diatas 1 konservatif dan dapat memprediksi kekuatan dengan baik. Lendutan pembebanan 100% dari spesimen S1 (ijin 18.75mm) berturut – turut 12.88mm; 7.96mm; 2.048mm sedangkan S2 (ijin 40.62mm) sebesar 38mm. (2) Mekanisme kegagalan pada *pierhead* antara STM dengan MEH, spesimen S1 mempunyai kesamaan, sedangkan S2 berbeda. (3) Deviasi penggunaan material tulangan antara SNI dan AASHTO pada S1 berturut turut 16.67%; 15.79%; 16.13%, S2 17.05% dengan AASHTO lebih kecil dari SNI.
Keyword : *Pierhead* kantilever ganda, STM, MEH, BESO2D.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Kajian Numerik Penggunaan *Strut & Tie Model (STM)* Pada *Pierhead*
Jembatan Kantilever Ganda
Bentuk Tesis : Penelitian / Kajian Numerik
Nama : Fery Riswanto
NIM : 55720120014
Program : Magister Teknik Sipil
Tanggal : 23 Agustus 2023

Mengesahkan

Pembimbing



UNIVERSITAS
(Ir. Pariatmono Sukamdo, M.Sc., Ph.D.)

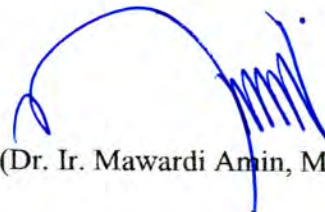
MERCU BUANA

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Sipil



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, S.TP, M.T.)



(Dr. Ir. Mawardi Amin, M.T.)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenar - benarnya bahwa semua pernyataan dalam Tesis ini :

Judul : Kajian Numerik Penggunaan *Strut & Tie Model (STM)* Pada *Pierhead* Jembatan Kantilever Ganda
Bentuk Tesis : Penelitian / Kajian Numerik
Nama : Fery Riswanto
NIM : 55720120014
Program : Magister Teknik Sipil
Tanggal : 23 Agustus 2023

Merupakan hasil penelitian dan merupakan karya saya sendiri dengan bimbingan Dosen Pembimbing yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Mercu Buana.

Tesis ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada program sejenis di perguruan tinggi lain. Semua informasi, data, dan hasil pengolahan data yang disajikan, telah dinyatakan secara jelas sumbernya dan dapat diperiksa kebenarannya.

MERCU BUANA

Jakarta, 23 Agustus 2023



Fery Riswanto

PENYATAAN SIMILARITY CHECK

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa karya ilmiah yang ditulis oleh:

Nama : Fery Riswanto
NIM : 55720120014
Program Studi : Magister Teknik Sipil

Dengan judul “**Kajian Numerik Penggunaan *Strut & Tie Model (STM)* Pada Pierhead Jembatan Kantilever Ganda**”, telah melalui proses pemeriksaan ‘*similarity*’ dengan sistem Turnitin pada tanggal 26 Juni 2023, didapatkan nilai presentase sebesar 16 %.

Jakarta, 07 Agustus 2023
UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Administrator Turnitin



(Miyono, S. Kom)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Tesis dengan judul “*Kajian Numerik Penggunaan Strut & Tie Model (STM) Pada Pierhead Jembatan Kantilever Ganda*” ini dapat selesai.

Tesis ini disusun untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan studi pendidikan Strata 2 Magister Teknik Sipil Universitas Mercu Buana Jakarta. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Mawardi Amin, M.T. sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mercu Buana;
2. Bapak Ir. Pariatmono Sukamdo, M.Sc, Ph.D & ibu Dr. Resmi Bestari Muin, MS. sebagai dosen pembimbing dan dosen Program Studi Magister Teknik Sipil yang memberikan masukan dalam penyusunan penelitian ini;
3. Kedua orang tua (Bapak Risman Utoyo & Ibu Sumarsidah) dan adik saya (Ermi dan Anggi) yang tak henti memberikan dukungan serta doa dalam menyelesaikan studi saya;
4. Bapak Ir. Johny Chow Kok Yein, B.Sc, M.Sc, M.B.A, M.I.E.M mentor dan inspirator pertama saya di bidang *structure engineering*, yang selalu memberi masukan kepada saya mengenai pengimplementasian ilmu teknik sipil di dunia konstruksi sesungguhnya;
5. Bapak Ir. Djoni Tanudjaja, Bpk Ir. Sata Kumara Aby, Bpk Ir. Djati Samodra & Ibu Herdhyna Sri Sundari, S.T berkat keputusan dan welas asih dalam kepemimpinan beliau - beliau, saya dapat sampai pada titik ini. Juga Bpk Ir. Tjatur Haripriambodo, M.T., M.M., Bpk Ir. Sumulyono, Bpk Ir. Abdurahman Sadat, Bpk Fauzie Pohan, S.T, M.T., dan Bpk Ir. Dwi Novianto dibawah kepemimpinan beliau - beliau saya diberi kesempatan untuk menempuh dan menyelesaikan Strata 2. Mereka pemimpin hebat dalam perjalanan S1 & S2 saya;
6. Mas Haidar, Mbak Mona *konco sak perjuangan*, serta seluruh pihak yang terlibat dan menjadi *support system* dalam penyelesaian tesis ini yang tidak mungkin disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

“Lelah itu manusiawi, tapi menyerah bukanlah solusi”

“Jangan bilang sukar, sukar tidak ada disini (Guru SD Kelas 6, Bapak Sudibyo)”

“All is Well (3 Idiots)”

Penulis

DAFTAR ISI

<i>ABSTRACT</i>	i
ABSTRAK	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
PERNYATAAN <i>SIMILARITY CHECK</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR ISTILAH	ix
DAFTAR NOTASI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi, Perumusan dan Batasan Masalah	5
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	7
1.4. Manfaat & Kegunaan Penelitian	7
1.5. Sistematika Penulisan	8
BAB II LANDASAN TEORI	10
2.1. Teori	10
2.1.1. Sejarah dan Definisi	10
2.1.2. Daerah B & D	11
2.1.3. Desain Daerah Terganggu	14
2.1.4. Asumsi Perancangan STM	18
2.1.5. <i>Strut, Tie & Node</i>	19
2.1.6. Tulangan Minimum	30
2.1.7. Panjang Penyaluran, Penjangkaran dan Lewatan	31
2.1.8. Menemukan Rangka Batang dengan BESO2D	37
2.1.9. <i>Concrete Damage Plasticity (CDP)</i>	40
2.2. Penelitian Terdahulu	45
2.3. Kerangka Pemikiran	49
2.4. Hipotesis	50

BAB III METODE PENELITIAN.....	51
3.1. Desain Penelitian.....	51
3.2. Variable Penelitian Dan Pengukuran Variabel.....	51
3.3. Jenis & Sumber Data.....	54
3.4. Teknik Pengumpulan Data.....	59
3.5. Metode Analisis.....	59
3.6. Validasi Pemodelan Dengan Hasil Penelitian Sebelumnya.....	65
BAB IV HASIL & PEMBAHASAN	73
4.1. Hasil Penelitian.....	73
4.1.1. Step 1 : Menentukan Daerah B & D.....	74
4.1.2. Step 2 : Pembebanan Struktur.....	75
4.1.3. Step 3 : Material Struktur.....	77
4.1.4. Step 4 : Ukuran Struktur Yang Akan Dianalisa.....	79
4.1.5. Step 5 : Penentuan & Analisa Rangka Batang STM.....	80
4.1.6. Step 6 : Kekuatan <i>Ties, Strut</i> dan <i>Node</i>	94
4.1.7. Resume Desain <i>Ties, Strut & Node</i>	162
4.1.8. Kontrol Retak – Tulangan Min. & Ketersediaan Pengangkuran.....	190
4.1.9. Sketsa Desain STM.....	192
4.1.10. Cek Kondisi Ultimit Dengan MEH.....	196
4.1.11. <i>Undeformed Structure</i>	198
4.1.12. <i>Deformed Structure</i>	205
4.1.13. Analisa Balik (<i>Back Analysis</i>) Kondisi Ultimit.....	231
4.2. Pembahasan Penelitian.....	237
4.2.1. Mekanisme Penyebaran Beban, Kekuatan & Kemampuan.....	237
4.2.2. Mekanisme Kegagalan Struktur Antara STM & MEH.....	244
4.2.3. Perbandingan Penggunaan Material Desain SNI Dengan AASHTO.....	255
BAB V KESIMPULAN & SARAN.....	257
5.1. Kesimpulan Penelitian.....	257
5.5. Saran Penelitian.....	260
DAFTAR PUSTAKA	262
LAMPIRAN	265
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	266

DAFTAR ISTILAH

AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
BESO2D	= <i>Bi DIRECTIONAL Structural Optimization 2 Dimension</i>
MEH	= Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Analysis, FEM</i>)
SNI	= Standarisasi Nasional Indonesia
STM	= <i>Strut-and-tie Method</i>



DAFTAR NOTASI

a	= tinggi sisi belakang nodal, mm
b_s	= lebar dari <i>struts</i> , mm
A_{cn}	= Potongan melintang efektif dari permukaan <i>node</i> , in ² atau mm ²
A_{cs}	= Luas penampang ujung <i>strut</i> , mm ²
A_h	= Luasan tulangan horizontal pengontrol retak, s_h in ² atau mm ²
A_{ps}	= Luasan baja prategang, in ² atau mm ²
A_s	= Luas tulangan tarik, mm ²
A_s'	= Luasan tul. tekan sepanjang <i>strut</i> , mm ²
A_{st}	= Luasan tulangan nonprategang, in ² atau mm ²
A_{si}	= Luasan tulangan total tulangan yang terdistribusi dengan spasi s_i pada arah i dari tulangan yang melewati <i>struts</i> pada sudut α_i terhadap sumbu <i>struts</i> , mm ²
A_{ts}	= Luas tulangan nonprategang dalam suatu ikatan, mm ²
A_{tp}	= Luas baja prategang dalam suatu ikatan, mm ²
A_{tr}	= Luas penampang total semua tulangan transversal dalam spasi s yang melintasi bidang potensial pembelahan melalui tulangan yang disalurkan, mm ²
A_v	= Luas tulangan vertikal pengontrol retak, s_v in ² atau mm ²
b_w	= Lebar balok, mm
β_s	= Koefisien <i>strut</i>
b_w	= Lebar elemen struktur, in atau mm
c_b	= Nilai terkecil dari (a) jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat dan (b) setengah spasi pusat ke pusat batangan atau kawat yang disalurkan, mm
d_b	= Diameter tulangan, mm
f_c'	= Kuat tekan beton, N/mm ²
f_{ce}	= Kuat tekan efektif beton dalam <i>strut</i> , N/mm ²
f_{cu}	= Batas kuat tekan pada permukaan <i>node</i> , ksi atau N/mm ²
F_{ns}	= Kuat tekan nominal <i>strut</i> , N
F_{nt}	= Kuat tarik nominal <i>tie</i> , N
f_s	= Kuat tarik tulangan tarik, N/mm ²

f_s'	= tegangan tul. tekan pada kekuatan nominal <i>strut</i> ($f_s' = f_y$ untuk mutu 240 dan 420 Mpa)
f_{se}	= Tegangan efektif dalam baja prategang (setelah semua kehilangan prategang terjadi), N/mm ²
F_{us}	= Gaya tekan terfaktor didaerah <i>strut</i> , N
F_{ut}	= Gaya tarik terfaktor didaerah <i>tie</i> , N
f_{pe}	= Tegangan efektif baja prategang setelah kehilangan prategang, ksi atau N/mm ²
f_{py}	= Kekuatan leleh baja prategang yang disyaratkan, N/mm ²
f_y	= Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, N/mm ²
λ	= Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis
l_b	= lebar pelat tumpuan, mm
l_{dc}	= Panjang penyaluran kondisi tekan (tulangan tekan), mm
l_{dt}	= Panjang penyaluran kondisi tarik (tulangan tarik), mm
l_{dh}	= Panjang penyaluran kait standar dalam kondisi tarik, mm
m	= faktor modifikasi kekangan
n	= Jumlah tulangan yang disalurkan atau disambungkan
P_n	= Kuat tarik nominal <i>tie</i> , kip atau N
P_{nn}	= Kekuatan nominal pada permukaan <i>node</i> , kip atau N
P_u	= Gaya tarik terfaktor didaerah <i>tie</i> , kip atau N
$\psi_r, \psi_t, \psi_e, \psi_s$	= Berturut – turut faktor modifikasi berdasarkan tulangan pengekang, lokasi tulangan, pelapis tulangan, ukuran tulangan.
ψ_e, ψ_c, ψ_r	= Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berturut – turut berdasarkan pelapis tulangan, berdasarkan selimut, dan berdasarkan tulangan pengekang.
s	= Spasi tulangan transversal (sejangkang) dari as ke as tulangan sepanjang l_d , mm
θ	= Sudut strut diukur dari aksis horizontal, °
ϕ_s	= Faktor reduksi tekan 0.75 (SNI 2847: 2019 tabel 21.2.1)
ϕ_t	= Faktor reduksi 0.75 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.1)

DAFTAR TABEL

2.1.	Kekuatan <i>strut</i> menurut SNI dan AASHTO.....	21
2.2.	Koefisien <i>strut</i> , β_s (SNI 2847-2019).....	21
2.3.	Kekuatan <i>Tie</i> SNI dan AASHTO	23
2.4.	Proporsi dan kekuatan <i>nodal</i>	27
2.5.	Tulangan minimum STM	30
2.6.	Panjang penyaluran batang ulir dalam kondisi tarik penyederhanaan	32
2.7.	Geometri kait standar	35
2.8.	Panjang sambungan lewatan batang ulir dalam kondisi tarik	36
2.9.	<i>Research</i> GAP	48
3.1.	Parameter pengukuran penelitian	54
3.2.	Berat jenis material.....	55
3.3.	Beban mati tambahan <i>girder</i> tengah	55
3.4.	Beban mati tambahan <i>girder</i> tepi	55
3.5.	Karakteristik material	58
3.6.	Nomenklatur indek penamaan spesimen.....	59
3.7.	Kombinasi variabel.....	59
3.8.	Beban <i>girder</i> yang akan diterapkan pada <i>pierhead</i>	61
3.9.	Beban <i>girder</i> yang akan diterapkan pada <i>pierhead</i>	62
3.10.	Tahapan pembebanan	63
3.11.	Properties material S1	65
3.12.	Pembebanan ultimit saat spesimen runtuh	66
3.13.	Satuan yang digunakan pada pemodelan Abaqus	67
4.1.	Pembebanan pada <i>pierhead</i> 1 jalur	75
4.2.	Pembebanan pada <i>pierhead</i> 2 lajur	76
4.3.	Karakteristik material yang digunakan pada <i>pierhead</i> 1 lajur	77
4.4.	Pengecekan stabilitas rangka batang hasil BESO 2D	86
4.4a.	Komparasi rangka batang <i>dummy</i> berbentuk K dan X.....	87
4.5.	Pengecekan stabilitas rangka batang hasil BESO 2D setelah modifikasi	89
4.6.	Gaya dalam rangka batang spesimen S1-0.3-1	91
4.7.	Gaya dalam rangka batang spesimen S1-0.4-1.2	92
4.8.	Gaya dalam rangka batang spesimen S1-0.5-1.5	93
4.9.	Gaya dalam rangka batang spesimen S2	94
4.10.	Penggunaan tulangan <i>tie</i> spesimen S2.....	142

4.11. Penggunaan tulangan <i>tie</i> spesimen S2.....	141
4.12. Inventaris perhitungan STM Spesimen S1 - 0.3 - 1	162
4.13. Inventaris perhitungan STM Spesimen S1 - 0.4 - 1.2	169
4.14. Inventaris perhitungan STM Spesimen S1 - 0.5 - 1.5	176
4.15. Inventaris perhitungan STM Spesimen S2 (1/2)	183
4.16. Inventaris perhitungan STM Spesimen S2 (2/2)	184
4.17. Kekuatan, V_{STM} dari perhitungan STM	197
4.18. Beban utimit spesimen S1-0.3-1; S1-0.4-1.2; S1-0.5-1.5	231
4.19. Beban ultimit spesimen S2	232
4.20. <i>Breakdown</i> gaya dalam aksial pembebanan 120% spesimen S1-0.3-1.....	233
4.21. <i>Breakdown</i> gaya dalam aksial pembebanan 120% spesimen S1-0.4-1.2.....	234
4.22. <i>Breakdown</i> gaya dalam aksial pembebanan 140% spesimen S1-0.5-1.5.....	235
4.23. <i>Breakdown</i> gaya dalam aksial pembebanan 70% spesimen S2	236
4.24. Tabel perbandingan kekuatan rata – rata <i>tie</i> antara MEH dan STM.....	241
4.25. Perbandingan tulangan yang didesain dengan STM SNI dengan AASHTO	255



DAFTAR GAMBAR

1.1.	<i>Traffic index</i> Jakarta dengan kota besar di Asia.....	1
1.2.	Struktur jembatan layang (<i>double - decking</i>) JAPEK 2 dibuat dimedian jalan karena keterbatasan lahan.....	2
1.3.	Contoh <i>pierhead</i> kantilever ganda	3
1.4.	Potensi retak diagonal pada <i>pierhead</i> kantilever ganda akibat dikontinuitas geometri dan beban	3
1.5.	(a) Mekanisme <i>strut</i> langsung (b) Mekanisme <i>tie</i> vertikal dan horizontal.....	4
1.6.	P1, P2, P3, P4 titik pembebanan pada penelitian Geevar dan Menon	5
1.7.	Objek yang akan diteliti (a) jalan 1 jalur (b) jalan 2 jalur	5
2.1.	<i>Truss</i> dalam balok beton bertulang	10
2.2.	<i>Truss</i> idealisasi STM.....	10
2.3.	Ilustrasi <i>strut, tie & node</i>	11
2.4.	(a) Balok yang dikenakan momen, (b) Deformasi balok ketika terkena momen, asas Bernouli (c) Profil regangan linier.....	12
2.5.	Trajektori tegangan dengan daerah D dan B pada elemen lentur.....	13
2.6.	Diskontinuitas Geometri.....	13
2.7.	Diskontinuitas Geometri dan Beban.....	13
2.8.	Contoh umum daerah D pada struktur	14
2.9.	<i>Strut and Tie model</i> : balok tertumpu sederhana dengan beban terpusat	14
2.10.	Penyebaran tegangan akibat pembebanan pada sebuah elemen struktur menerima aksial tekan.....	15
2.11.	Tegangan yang di sederhanakan dengan rangka batang STM	15
2.12.	Beton gagal akibat efek poisson saat menerima tekan	16
2.13.	Beton dalam menahan tegangan geser murni.....	16
2.14.	Interaksi tegangan.....	17
2.15.	Detail interaksi tegangan yang menyebabkan kondisi tegangan tarik	17
2.16.	<i>Prismatic</i> dan <i>bottle-shape struts</i> pada STM	19
2.17.	Gambar pengaruh node pada luas penampang efektif strut	20
2.18.	Gambar pengaruh penjangkaran pada luas penampang efektif strut.....	20
2.19.	Tulangan dibutuhkan pada elemen tarik pada <i>tie</i>	22
2.20.	Ketentuan 25 dan 45 derajat untuk menentukan jumlah tulangan vertikal	24
2.21.	Penentuan jumlah tulangan vertikal ties.....	25
2.22.	Klasifikasi <i>node</i>	25
2.23.	Contoh letak <i>node</i> pada elemen STM	26

2.24.	Tegangan pada <i>hydrostatic node</i> dan <i>non-hydrostatic node</i>	26
2.25.	Klasifikasi <i>non-smearred node</i> dan <i>smearred node</i>	27
2.26.	Proporsional <i>node</i>	28
2.27.	<i>CCC, CCT, CTT node</i>	28
2.28.	Deskripsi efisiensi faktor	30
2.29.	Tulangan melintasi sebuah <i>strut</i>	31
2.30.	Distribusi tulangan pengontrol retak	31
2.31.	Konsep panjang penyaluran	32
2.32.	Konsep panjang penyaluran dengan kait standar	34
2.33.	Detail kait standar 90 derajat	35
2.34.	Dari atas berturut - turut : sambungan lewatan, sambungan mekanis, sambungan las	36
2.35.	(a) Pias MEH dari balok kantilever dengan beban terpusat di pinggir balok, (b) sesegera saat proses optimisasi 80% (c) Final proses optimisasi 35%	37
2.36.	Model balok yang dioptimalisasi dari sebuah balok utuh (<i>continuum</i>)	39
2.37.	Menggambar rangka batang dari hasil BESO2D	40
2.38.	Hasi rangka batang yang dihasilkan	40
2.39.	Kurva tegangan dan regangan <i>bilinear</i> tulangan	39
2.40.	Kurva tegangan regangan tekan dan tarik beton	41
2.41.	Kondisi awal kurva (<i>linier, Ec</i>)	42
2.42.	Kurva parabolik (<i>aschending brance</i>)	42
2.43.	Model kurva tegangan regangan Hognestad	43
2.44.	Kurva tegangan regangan tekan Todescini et. al (1964)	44
2.45.	Kurva tegangan regangan tekan Propovics (1970)	44
2.46.	Kurva tegangan regangan tarik beton	45
2.47.	<i>Inverted T Beam</i>	45
2.48.	<i>Piercap Bent Cap</i>	46
2.49.	Algoritma program GA	47
2.50.	Kantilever Ganda dengan 4 Beban Terpusat	47
3.1.	Tipikal <i>pierhead</i> kantilever ganda yang akan dianalisa (a) tampak samping (longitudinal jalan) (b) tampak depan (transversal jalan)	51
3.2.	(a) Jalan dengan 2 lajur dan (b) jalan dengan 4 lajur	52
3.3.	Tinggi <i>pierhead</i> a/d (a) Spesimen 1 = 0.3&1, (b) Spesimen 2 = 0.4&1.2, (c) Spesimen 3 = 0.5&1.5	53
3.4.	Penampang Longitudinal Jembatan	55

3.5.	Beban lajur "D"	56
3.6.	Beban <i>girder</i>	57
3.7.	Pierhead 1 jalur.....	58
3.8.	Pierhead 2 jalur.....	58
3.9a.	Pembebanan <i>pierhead</i> 1 jalur (a) Tampak samping, (b) Tampak depan.....	60
3.9b.	(a) Berat Sendiri (MS), (b) <i>Superimposed dead load</i> (MA), (c) <i>Traffic load</i> (UDL+KEL)	61
3.10.	Pembebanan <i>pierhead</i> 2 Jalur (a) Tampak samping (b) Tampak depan	61
3.11.	(a) Berat Sendiri (MS), (b) <i>Superimposed dead load</i> (MA), (c) <i>Traffic load</i> (UDL+KEL)	63
3.12.	Grafik tahapan Pembebanan.....	63
3.13.	Alur berpikir penelitian	64
3.14.	Detail geometri penampang S1	65
3.15.	Detail geometri penulangan S1	65
3.16.	Set up pengujian	66
3.17.	(a) Foto kerusakan benda uji (b) Sketsa kerusakan benda uji	66
3.18.	Pembebanan pada model	67
3.19.	Kurva tegangan (<i>stress</i>) dan regangan (<i>strain</i>) beton tekan.....	68
3.20.	Kurva tegangan (<i>stress</i>) dan regangan (<i>strain</i>) beton tarik	68
3.21.	Modeling beton (a) Sebelum <i>meshing</i> (b) sesudah dilakukan <i>meshing</i>	69
3.22.	Modeling tulangan baja	70
3.23.	Perletakan jepit digunakan pada model.....	70
3.24.	(a) Hasil modeling Abaqus (b) Hasil uji ekperimental.....	71
3.25.	Lokasi <i>strain gage</i>	72
3.26.	Kurva regangan tarik dengan beban spesimen 1	72
3.27.	Kurva regangan tarik dengan beban S1 <i>strain gage</i> h-m	72
4.1.	Alur detail perhitungan STM	73
4.2.	Daerah D pada <i>pierhead</i> spesimen S1-0.3-1	74
4.3.	Daerah D pada <i>pierhead</i> spesimen S1-0.4-1.2	74
4.4.	Daerah D pada <i>pierhead</i> spesimen S1-0.5-1.5	75
4.5.	Daerah D pada <i>pierhead</i> spesimen S2.....	75
4.6.	Posisi pembebanan <i>pierhead</i> 1 lajur.....	76
4.7.	Posisi pembebanan <i>pierhead</i> 2 lajur.....	76
4.8.	Kurva tegangan (<i>stress</i>) dan regangan (<i>strain</i>) tekan untuk beton 45 Mpa dengan model CDP material	78

4.9.	Kurva tegangan (<i>stress</i>) dan regangan (<i>strain</i>) tarik untuk beton 45 Mpa dengan model CDP material	78
4.10.	Kurva <i>compression damage</i> untuk beton 45 Mpa dengan model CDP material ..	78
4.11.	Kurva <i>tension damage</i> untuk beton 45 Mpa dengan model CDP material	79
4.12.	Kurva tegangan dan regangan baja tulangan 420 Mpa	79
4.13.	(a) Potongan memanjang (b) Potongan melintang spesimen 1	79
4.14.	(a) Potongan memanjang (b) Potongan melintang spesimen 2	80
4.15.	Tampak atas struktur <i>pierhead</i>	80
4.16.	Pembagian pias pada <i>pierhead</i> S1-0.3-01	80
4.17.	Pembagian pias pada <i>pierhead</i> S1-0.4-1.2	81
4.18.	Pembagian pias pada <i>pierhead</i> S1-0.5-1.5	81
4.19.	Pembagian pias pada <i>pierhead</i> S2	81
4.20.	(a) Struktur kontinum BESO2D (b) Hasil optimisasi BESO 2D pada spesimen S1-0.3-1	82
4.21.	Struktur kontinum BESO2D (b) Hasil optimisasi BESO 2D pada spesimen S1-0.4-1.2	82
4.22.	Struktur kontinum BESO2D (b) Hasil optimisasi BESO 2D pada spesimen S1-0.5-1.5	84
4.23.	Struktur kontinum BESO2D (b) Hasil optimisasi BESO 2D pada spesimen S2 ..	84
4.24.	Rangka batang hasil dari BESO2D spesimen S1-0.3-1	85
4.25.	Rangka batang hasil dari BESO2D spesimen S1-0.4-1.2	85
4.26.	Rangka batang hasil dari BESO2D spesimen S1-0.5-1.5	86
4.27.	Rangka batang hasil dari BESO2D spesimen S2	86
4.28.	Pemasangan rangka dummy pada STM usulan Harjasaputra 2016	88
4.29.	Penambahan batang dummy untuk syarat stabilitas rangka batang, spesimen S1-0.3-1	88
4.30.	Penambahan batang dummy untuk syarat stabilitas rangka batang, spesimen S1-0.4-1.2	88
4.31.	Penambahan batang dummy untuk syarat stabilitas rangka batang, spesimen S1-0.5-1.5	89
4.32.	Penambahan batang dummy untuk syarat stabilitas rangka batang, spesimen S2	89
4.33.	Usulan struktur rangka batang spesimen S1-0.3-1	90
4.34.	Gaya dalam rangka batang spesimen S1-0.3-1 (satuan : kN)	90
4.35.	Usulan struktur rangka batang spesimen S1-0.4-1.2	91
4.36.	Gaya dalam rangka batang spesimen S1-0.4-1.2 (satuan : kN)	91
4.36.	Usulan struktur rangka batang spesimen S1-0.5-1.5	91

4.37. Gaya dalam rangka batang spesimen S1-0.5-1.5 (satuan : kN).....	92
4.38. Usulan struktur rangka batang spesimen S2.....	92
4.39. Gaya dalam rangka batang spesimen S2 (satuan : kN)	93
4.40. Lokasi <i>strut, tie</i> dan <i>node</i> S1 - 0.3 - 1	93
4.41. Sketsa <i>node</i> A & D spesimen S1 - 0.3 - 1 (<i>CCC Node</i>).....	95
4.42. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> A & D S1 - 0.3 - 0.1	96
4.43. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> A & D S1 - 0.3 - 1	97
4.44. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> A & D S1 - 0.3 - 1	98
4.45. Sketsa <i>node</i> B & C Spesimen S1 - 0.3 - 1 (<i>CCT Node</i>)	98
4.46. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> B & C S1 - 0.3 - 1.....	99
4.47. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> B & C S1 - 0.3 - 1.....	100
4.48. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> B & C S1 - 0.3 - 1.....	100
4.49. Sketsa <i>node</i> E & F spesimen S1 - 0.3 - 1 (<i>CCT Node</i>).....	101
4.50. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> E & F S1 - 0.3 - 1	102
4.51. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> E & F S1 - 0.3 - 1	102
4.52. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> E & F S1 - 0.3 - 1	103
4.53. Sketsa tinjauan 4 <i>node</i> E & F S1 - 0.3 - 1	103
4.54. Lokasi <i>strut, tie</i> dan <i>node</i> S2.....	104
4.55. Vertikal <i>tie</i> pada <i>tie</i> B - J dan G – P.....	107
4.56. Vertikal <i>tie</i> pada <i>tie</i> C - K dan F – O.....	109
4.57. Sketsa <i>node</i> A & H Spesimen S2 (<i>CCC Node</i>).....	109
4.58. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> A & H S2.....	110
4.59. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> A & H S2.....	110
4.60. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> A & H S2.....	111
4.61. Sketsa <i>node</i> B & G spesimen S2 (<i>CTT Node</i>).....	111
4.62. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> B & G S2	112
4.63. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> B & G S2	113
4.64. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> B & G S2.....	113
4.65. Sketsa tinjauan 4 <i>node</i> B & G S2	114
4.66. Sketsa <i>node</i> C & F spesimen S2 (<i>CTT Node</i>)	114
4.67. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> C & F S2.....	115
4.68. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> C & F S2.....	116
4.69. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> C & F S2.....	116
4.70. Sketsa tinjauan 4 <i>node</i> C & F S2.....	117

4.71. Sketsa <i>node</i> D & E spesimen S2 (<i>CCT Node</i>)	117
4.72. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> D & E S2	118
4.73. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> D & E S2	119
4.74. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> D & E S2	119
4.75. Sketsa <i>node</i> J & P spesimen S2 (<i>CCT Node</i>)	120
4.76. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> J & P S2	120
4.77. Sketsa tinjauan 2 & 3 <i>node</i> J & P S2	121
4.78. Sketsa <i>node</i> K & O spesimen S2 (<i>CCT Node</i>)	121
4.79. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> K & O S2	122
4.80. Sketsa tinjauan 2, 3, 4 <i>node</i> K & O S2	123
4.81. Sketsa <i>node</i> M & N Spesimen S2 (<i>CCC Node</i>)	123
4.82. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> M & N S2	124
4.83. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> M & N S2	124
4.84. Lokasi <i>strut, tie</i> dan <i>node</i> S1 - 0.3 - 1	125
4.85. Pengambilan nilai A1 dan A2	129
4.86. Sketsa <i>node</i> A & D spesimen S1 - 0.3 - 1 (<i>CCC Node</i>)	131
4.87. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> A & D S1 - 0.3 - 0.1	131
4.88. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> A & D S1 - 0.3 - 1	132
4.89. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> A & D S1 - 0.3 - 1	133
4.90. Sketsa <i>node</i> B & C spesimen S1 - 0.3 - 1 (<i>CCT Node</i>)	133
4.91. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> B & C S1 - 0.3 - 1	134
4.92. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> B & C S1 - 0.3 - 1	135
4.93. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> B & C S1 - 0.3 - 1	135
4.94. Sketsa <i>node</i> E & F spesimen S1 - 0.3 - 1 (<i>CCT Node</i>)	136
4.95. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> E & F S1 - 0.3 - 1	137
4.96. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> E & F S1 - 0.3 - 1	137
4.97. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> E & F S1 - 0.3 - 1	138
4.98. Lokasi <i>strut, tie</i> dan <i>node</i> S2	139
4.99. Vertikal <i>tie</i> pada <i>tie</i> B - J dan G - P	141
4.100. Vertikal <i>tie</i> pada <i>tie</i> C - K dan F - O	143
4.101. Pengambilan nilai A1 dan A2	143
4.102. Sketsa <i>node</i> A & H spesimen S2 (<i>CCC Node</i>)	144
4.103. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> A & H S2	144
4.104. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> A & H S2	145

4.105. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> A & H S2.....	145
4.106. Sketsa <i>node</i> B & G Spesimen S2 (<i>CTT Node</i>).....	146
4.107. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> B & G S2.....	147
4.108. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> B & G S2.....	147
4.109. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> B & G S2.....	148
4.110. Sketsa tinjauan 4 <i>node</i> B & G S2.....	149
4.111. Sketsa <i>node</i> C & F Spesimen S2 (<i>CTT Node</i>).....	149
4.112. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> C & F S2.....	150
4.113. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> C & F S2.....	151
4.114. Sketsa tinjauan 3 & 4 <i>node</i> C & F S2.....	151
4.115. Sketsa <i>node</i> D & E spesimen S2 (<i>CCT Node</i>).....	152
4.116. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> D & E S2.....	153
4.117. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> D & E S2.....	153
4.118. Sketsa tinjauan 3 <i>node</i> D & E S2.....	154
4.119. Sketsa <i>node</i> J & P spesimen S2 (<i>CCT Node</i>).....	155
4.120. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> J & P S2.....	156
4.121. Sketsa tinjauan 2 & 3 <i>node</i> J & P S2.....	156
4.122. Sketsa <i>node</i> K & O spesimen S2 (<i>CCT Node</i>).....	157
4.123. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> K & O S2.....	158
4.124. Sketsa tinjauan 2, 3, 4 <i>node</i> K & O S2.....	158
4.125. Sketsa <i>node</i> M & N spesimen S2 (<i>CCC Node</i>).....	159
4.126. Sketsa tinjauan 1 <i>node</i> M & N S2.....	160
4.127. Sketsa tinjauan 2 <i>node</i> M & N S2.....	160
4.128. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut SNI 2847 : 2019 spesimen S1 – 0.3 - 1.....	161
4.129. Perbandingan kekuatan <i>tie</i> spesimen S1-0.3-1.....	164
4.130. Perbandingan kekuatan <i>node</i> spesimen S1-0.3-1.....	165
4.131. Perbandingan kekuatan <i>strut</i> spesimen S1-0.3-1.....	165
4.132. Kapasitas <i>node</i> menurut SNI 2847:2019 spesimen S1 – 0.3 - 1.....	166
4.133. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut AASHTO LRFD 2017 spesimen S1 – 0.3 - 1.....	167
4.134. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut SNI 2847 : 2019 spesimen S1 – 0.4 - 1.2.....	168
4.135. Grafik perbandingan <i>tie</i> spesimen S1-0.4-1.2.....	171
4.136. Grafik perbandingan <i>node</i> spesimen S1-0.4-1.2.....	171
4.137. Grafik perbandingan <i>strut</i> spesimen S1-0.4-1.2.....	172
4.138. Kapasitas <i>node</i> menurut SNI 2847:2019 spesimen S1 – 0.4 – 1.2.....	173

4.139. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut AASHTO LRFD 2017 spesimen S1 – 0.4 – 1.2.	174
4.140. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut SNI 2847 : 2019 spesimen S1 – 0.5 - 1.5.....	175
4.141. Grafik perbandingan <i>tie</i> spesimen S1-0.5-1.5	178
4.142. Grafik perbandingan <i>node</i> spesimen S1-0.5-1.5	178
4.143. Grafik perbandingan <i>strut</i> spesimen S1-0.5-1.5.....	179
4.144. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut AASHTO LRFD 2017 spesimen S1 – 0.5 – 1.5.	180
4.145. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut SNI 2847:2019 spesimen S2	181
4.146. Kapasitas <i>node</i> SNI 2847 : 2019 spesimen S2	182
4.147. Grafik perbandingan <i>tie</i> spesimen S2.....	185
4.148. Grafik perbandingan <i>node</i> spesimen S2	186
4.149. Grafik perbandingan <i>strut</i> spesimen S2	186
4.150. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut AASHTO LRFD 2017 spesimen S2	187
4.151. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut AASHTO LRFD 2017 spesimen S2	188
4.152. Kapasitas <i>strut & tie</i> menurut AASHTO LRFD 2017 spesimen S2	189
4.153. Ilustrasi pengangkuran <i>tie</i>	191
4.154. Gambar penulangan S1 – 0.3 - 1 STM SNI 2847:2019 dan AASHTO LRFD 2017 (tanpa faktor reduksi, \emptyset).....	192
4.155. Gambar penulangan S1 – 0.4 – 1.2 STM SNI 2847:2019 dan AASHTO LRFD 2017 (tanpa faktor reduksi, \emptyset).....	193
4.156. Gambar penulangan S1 – 0.5 – 1.5 STM SNI 2847:2019 dan AASHTO LRFD 2017 (tanpa faktor reduksi, \emptyset).....	194
4.157. Gambar penulangan S2 STM SNI 2847:2019 dan AASHTO LRFD 2017 (tanpa faktor reduksi)	195
4.158. Prediksi keruntuhan terlebih dahulu oleh STM pada spesimen S1 – 0.3 – 1	196
4.159. Prediksi keruntuhan terlebih dahulu oleh STM pada spesimen S1 - 0.4 - 1.2	196
4.160. Prediksi keruntuhan terlebih dahulu oleh STM pada spesimen S1 - 0.5 - 1.5	197
4.161. Prediksi keruntuhan terlebih dahulu oleh STM pada spesimen S2	197
4.162. Model beton <i>pierhead</i> spesimen S1 - 0.3 – 1	198
4.163. Model tulangan <i>pierhead</i> spesimen S1 - 0.3 – 1	199
4.164. Pembebanan yang diaplikasikan pada spesimen S1 - 0.3 – 1	199
4.165. Tumpuan jepit yang diaplikasikan pada spesimen S1 - 0.3 - 1	199
4.166. Meshing model spesimen S1 - 0.3 - 1	200
4.167. Model tulangan <i>pierhead</i> spesimen S1 - 0.4 – 1.2.....	200
4.168. Pembebanan yang diaplikasikan pada spesimen S1 - 0.4 – 1.2	200
4.169. Tumpuan jepit yang diaplikasikan pada spesimen S1 - 0.4 - 1.2	201

4.170. Meshing model spesimen S1 - 0.4 - 1.2	201
4.171. Model beton <i>pierhead</i> spesimen S1 - 0.5 – 1.5	201
4.172. Model tulangan pier head spesimen S1 - 0.5 – 1.5.....	202
4.173. Pembebanan yang diaplikasikan pada spesimen S1 - 0.5 – 1.5	202
4.174. Tumpuan jepit yang diaplikasikan pada spesimen S1 - 0.5 - 1.5	202
4.175. <i>Meshing</i> model spesimen S1 - 0.5 - 1.5	203
4.176. Model beton <i>pierhead</i> spesimen S2	203
4.177. Model tulangan <i>pierhead</i> spesimen S2	203
4.178. Pembebanan yang diaplikasikan pada spesimen S2.....	204
4.179. Tumpuan jepit yang diaplikasikan pada spesimen S2.....	204
4.180. Meshing model spesimen S2.....	204
4.181. Model tulangan <i>pierhead</i> spesimen S2	205
4.182. Grafik reaksi tumpuan (RFy) Spesimen S1-0.3-1	206
4.183. Retak yang terjadi pada penampang dan tegangan pada penampang	206
4.184. Retak yang terjadi pada setiap step pembebanan S1-0.3-1	207
4.185. Tegangan yang terjadi pada setiap step pembebanan S1-0.3-1	207
4.186. Tulangan leleh pada pembebanan 120% spesimen S1-0.3-1	208
4.187. Tegangan tarik yang terjadi pada tulangan spesimen S1-0.3-1	208
4.188. Tegangan yang terjadi pada tulangan setiap pembenanan spesimen S1-0.3-1....	209
4.189. Lokasi tinjauan pada tulangan spesimen S1-0.3-1	209
4.190. Grafik tegangan arah x vs reaksi tumpuan (RFy) spesimen S1-0.3-1.....	210
4.191. Kurva tegangan arah x dengan reaksi tumpuan (RFy) tie A-B,B-C,C-D spesimen S1-0.3-1	210
4.192. Deformasi arah Y, Uy pembebanan 100% spesimen S1-0.3-1	211
4.193. Deformasi arah Y, Uy pembebanan 120% spesimen S1-0.3-1	212
4.194. Defleksi (Uy) yang terjadi vs reaksi tumpuan (RFy) pada <i>piehead</i> spesimen S1- 0.3-1.....	212
4.195. Grafik reaksi tumpuan (RFy) dengan step pembebanan spesimen S1-0.4-1.2 ...	213
4.196. Retak yang terjadi pada <i>pierhead</i> spesimen S1-0.4-1.2	214
4.197. Tegangan tekan beton yang terjadi pada <i>pierhead</i> spesimen S1-0.4-1.2.....	214
4.198. Tegangan arah x-x yang terjadi pada tulangan <i>pierhead</i> spesimen S1-0.4-1.2 ...	215
4.199. Tinjauan tulangan tie B-C spesimen S1-0.4-1.2	216
4.200. Tegangan yang terjadi pada <i>tie</i> B-C spesimen S1-0.4-1.2.....	216
4.201. Tinjauan pada <i>tie</i> A-D spesimen S1-0.4-1.2.....	217

4.202. Kurva tegangan arah x dengan reaksi tumpuan (R _{Fy}) tie A-B, B-C, C-D spesimen S1-0.4-1.2	217
4.203. Deformasi arah Y, U _y pembebanan 100% spesimen S1-0.4-1.2	217
4.204. Deformasi arah Y, U _y pembebanan 120% spesimen S1-0.4-1.2	218
4.205. Defleksi (U _y) yang terjadi vs reaksi tumpuan (R _{Fy}) pada pier head spesimen S1-0.4-1.2	218
4.206. Aksi dan reaksi vertikal yang terjadi pada spesimen S1 – 0.5 -1	219
4.207. Grafik reaksi tumpuan terhadap step pembebanan S1 – 0.5 -1	219
4.208. Tegangan pada beton saat pembebanan 130% S1 – 0.5 – 1.5	220
4.209. Tegangan pada beton saat pembebanan 140% S1 – 0.5 -1.5	220
4.210. Kondisi retak pada <i>pierhead</i> S1 – 0.5 -1.5 pada pembebanan 130%	221
4.211. Kondisi retak pada <i>pierhead</i> S1 – 0.5 -1.5 pada pembebanan 140%	221
4.212. Tegangan pada baja tulangan pada pembebanan 140% S1-0.5-1.5	222
4.213. Potongan <i>pierhead</i> dengan tegangan pada tulangan S1-0.5-1.5	222
4.214. Tegangan yang terjadi pada tulangan pada masing – masing tinjauan pada S1—0.5-1.5	223
4.215. Aksi dan reaksi vertikal spesimen S2	224
4.216. Grafik reaksi tumpuan terhadap step pembebanan S2	224
4.217. Tegangan pada beton saat pembebanan 100% spesimen S2	225
4.218. Tegangan pada beton saat pembebanan 70% spesimen S2	225
4.219. Kondisi retak pada <i>pierhead</i> spesimen S2 pada pembebanan 70%	226
4.220. Tegangan tulangan pembebanan 70% pada spesimen S2	226
4.221. Potongan ½ <i>pierhead</i> tegangan tulangan pembebanan 70% S2	227
4.222. Tegangan pada tulangan pembebanan 120% S2	227
4.223. Potongan ½ <i>pierhead</i> tulangan pembebanan 120% S2	228
4.224. Tegangan arah x-x pada tinjauan 1-A s/d 1-F S2	228
4.225. Tegangan arah x-x tinjauan <i>ties</i> A-H spesimen S2	229
4.226. Defleksi arah Y spesimen S2	230
4.227. Defleksi yang terjadi pada spesimen S2 (a) pembebanan 70% (b) pembebanan 100% (c) pembebanan 120%	231
4.228. % Pembebanan saat kondisi ultimit (leleh material terlampaui)	231
4.229. Gaya – gaya dalam dengan pembebanan 120% S1 – 0.3 - 1	232
4.230. Perbandingan gaya aksial desain dengan ultimit S1 – 0.3 -1	233
4.231. Gaya – gaya dalam dengan pembebanan 120% S1 – 0.4 – 1.2	233
4.232. Perbandingan gaya aksial desain dengan ultimit S1 – 0.4 -1.2	232

4.233. Gaya – gaya dalam dengan pembebanan 140% S1 – 0.5 – 1.5	234
4.234. Perbandingan gaya aksial desain dengan ultimit S1 – 0.5 -1.5.....	235
4.235. Gaya – gaya dalam dengan pembebanan 700% S2	235
4.236. Perbandingan gaya aksial desain dengan ultimit S2.....	236
4.237. Klasifikasi pendistribusian beban pada spesimen diacukan pada penelitian (Gevan & Menon, 2019)	237
4.238. Ilustrasi pembagian zona yang tertarik dan tertekan.....	238
4.239. Spesimen S1MEH regangan tarik terjadi diatas permukaan <i>pierhead</i> yang menyebabkan retak pada <i>pierhead</i>	238
4.240. Spesimen S1 MEH tegangan tekan terjadi dibawah permukaan <i>pier</i>	238
4.241. Rangka batang STM yang diusulkan	239
4.242. <i>Superimpose</i> tegangan – tegangan yang terjadi pada beton dari MEH & rangka batang STM spesimen S2	239
4.243. <i>Superimpose</i> tegangan pada tulangan dari MEH & rangka batang STM spesimen S2.....	240
4.244. Perbandingan kekuatan rata – rata pada <i>tie</i> antara MEH dengan STM	240
4.245. V_{MEH}/V_{STM} dari spesimen yang telah diteliti dari penelitian terdahulu.....	242
4.246. <i>Superimpose</i> penelitian ini dengan penelitian terdahulu	243
4.247. Komparasi defleksi dengan pembebanan pada masing – masing spesimen.....	244
4.248. Defleksi pada masing – masing spesimen pada pembebanan 100%	248
4.249. Kapasitas $\frac{f_n}{f_u}$ masing – masing elemen STM S1 – 0.3 – 1	245
4.250. Visual lokasi <i>tie</i> B – C spesimen S1 – 0.3 – 1.....	246
4.251. Tegangan pada tulangan untuk mengetahui area tarik dan tekan spesimen S1 – 0.3 – 1	246
4.252. Kurva tegangan arah x dengan reaksi tumpuan (R_{Fy}) <i>ties</i> A – B, B – C, C – D spesimen S1 – 0.3 -1.....	247
4.253. Kapasitas $\frac{f_n}{f_u}$ masing – masing elemen STM S1 – 0.4 – 1.2.....	248
4.254. Visual lokasi <i>tie</i> B – C spesimen S1 – 0.4 – 1.2.....	249
4.255. Tegangan pada tulangan untuk mengetahui area tarik dan tekan spesimen S1 – 0.4 – 1.2	249
4.256. Kurva tegangan arah x dengan reaksi tumpuan (R_{Fy}) <i>tie</i> A – B, B – C, C – D spesimen S1 – 0.4 -1.2.....	249
4.257. Visual lokasi <i>tie</i> B – C spesimen S1 – 0.5 – 1.5	250
4.258. Tegangan pada tulangan untuk mengetahui area tarik dan tekan spesimen S1 – 0.5 – 1.5	250

4.259. Kapasitas $\frac{f_n}{f_u}$ masing – masing elemen STM S1 – 0.5 – 1.5	251
4.260. Kapasitas $\frac{f_n}{f_u}$ masing – masing elemen STM S2	252
4.261. Visual lokasi <i>tie</i> B – C spesimen S2	253
4.262. Tegangan pada tulangan untuk mengetahui area tarik dan tekan spesimen S2 ..	253
4.263. Tegangan arah x-x tinjauan <i>ties</i> A – H spesimen S2	254
4.264. Tegangan pada beton saat pembebanan 70% spesimen S2	254
4.265. Grafik perbandingan STM antara desain SNI 2847:2019 dengan AASHTO LRFD 2017	256



DAFTAR LAMPIRAN

L.1.	Perhitungan detail STM spesimen S1 – 0.3 -1	265
L.2.	Perhitungan detail STM spesimen S1 – 0.4 -1.2	265
L.3.	Perhitungan detail STM spesimen S1 – 0.5 -1.5	265
L.4.	Perhitungan detail STM spesimen S2	265



UNIVERSITAS
MERCU BUANA