

SKRIPSI
STUDI KOMPARASI PENDEKATAN DESAIN PENAMPANG
JEMBATAN *BOX GIRDER* ARAH TRANSVERSAL DENGAN METODE
STRUT & TIE* DAN METODE *SOLID ELEMENT



William Bernardus

NPM : 6101801133

PEMBIMBING : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

KO-PEMBIMBING : Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X2021)

BANDUNG

JANUARI

2022

SKRIPSI
STUDI KOMPARASI PENDEKATAN DESAIN PENAMPANG
JEMBATAN *BOX GIRDER* ARAH TRANSVERSAL DENGAN METODE
STRUT & TIE* DAN METODE *SOLID ELEMENT



William Bernardus

NPM : 6101801133

PEMBIMBING : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

KO-PEMBIMBING : Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

PENGUJI 1 : Dr. Paulus Karta Wijaya

PENGUJI 2 : Ir. Lidya Fransisca Tjong, M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X2021)

BANDUNG

JANUARI

2022

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut :

Nama : William Bernardus

NPM : 6101801133

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis~~ / ~~disertasi~~^{*)} dengan judul :

STUDI KOMPARASI PENDEKATAN DESAIN PENAMPANG JEMBATAN *BOX GIRDER* ARAH TRANSVERSAL DENGAN METODE *STRUT & TIE* DAN METODE *SOLID ELEMENT*

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan : di Jakarta

Tanggal : 14 Februari 2022

A 5000 Rupiah Indonesian postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'SEPLUH RIBU RUPIAH' and 'METERAN'.

William Bernardus

6101801133

*) coret yang tidak perlu

STUDI KOMPARASI PENDEKATAN DESAIN PENAMPANG JEMBATAN *BOX GIRDER* ARAH TRANSVERSAL DENGAN METODE *STRUT & TIE* DAN METODE *SOLID ELEMENT*

William Bernardus

NPM : 6101801133

PEMBIMBING : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

KO-PEMBIMBING : Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X2021)

BANDUNG
JANUARI 2022

ABSTRAK

Jembatan merupakan infrastruktur penghubung dua daerah atau lebih yang melintasi daerah dengan tingkat kesulitan medan yang beragam sehingga dalam mendesain struktur jembatan terdapat beberapa hal pokok yang menjadi pertimbangan desain yaitu seperti panjang bentangan, tipe struktur jembatan, peruntukan jembatan, kemudahan pelaksanaan & pemeliharaan, serta biaya yang ekonomis. Dalam penelitian ini desain perancangan jembatan dilakukan dalam arah transversal menggunakan metode *strut & tie* dan metode *solid element*. Metode *strut & tie* merupakan metode yang mengaplikasikan rangka batang pada D-region/ daerah perletakan karena memiliki gaya geser yang dominan sementara metode *solid element* merupakan pemodelan elemen 3 dimensi dengan memperhitungkan DoF/ derajat kebebasan pada elemen struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkomparasi gaya dalam elemen batang pada model *strut & tie* dengan pola kontur tegangan *solid element* sehingga daerah tarik dan tekan pada box girder dapat didesain dengan optimum. Pada daerah tarik dapat diaplikasikan tulangan sebagai perkuatan elemen *tie* dalam menahan gaya tarik. Secara umum pola kontur tegangan yang dihasilkan cukup cocok dengan *layout* gaya tarik dan tekan yaitu daerah disekitar bawah lubang *box girder* mengalami konsentrasi tarik dan pada daerah yang tidak terganggu/ jauh dari lokasi pembebanan maupun perubahan geometri secara tiba-tiba cenderung mendekati nol, tidak mengalami tarik maupun tekan yang terkonsentrasi.

Kata Kunci : jembatan, *box girder*, *detailing* arah transversal, *strut & tie*, *solid element*, rangka batang, derajat kebebasan, gaya dalam elemen batang, pola kontur tegangan.

COMPARATIVE APPROACH STUDY OF BOX GIRDER BRIDGE CROSS SECTION DESIGN IN TRANSVERSAL DIRECTION WITH STRUT & TIE METHOD AND SOLID ELEMENT METHOD

William Bernardus

NPM : 6101801133

ADVISOR : Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

CO-ADVISOR : Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

(Accredited by SK BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X2021)

BANDUNG

JANUARY 2022

ABSTRACT

The bridge is an infrastructure that can connect two or more regions that cross areas with varying levels of terrain difficulty so that in designing the bridge structure there are many several main considerations such as span length, bridge structure type, bridge allocation, ease of implementation & maintenance, and economical costs. In this study, the bridge design was carried out in the transverse direction using the strut & tie method and the solid element method. The strut & tie method is a method that applies the truss to the D-region/ restraint area because it's has a dominant shear force while the solid element method is a 3-dimensional element modeling taking into account the degree of freedom of the structural elements. The purpose of this study was to compare the results of truss force in rod bar element on the strut & tie modelling with the stress contour pattern on the solid element model so that the tension and compression area on the box girder can be well optimum designed. At the tension area, reinforcement can be applied to strengthen the tie elements in resisting tensile force. In general, the stress contour pattern is quite compatible with the layout of the tensile and compressive forces, i.e. the area around the bottom of the box girder manhole which experiences a tensile concentration and in areas that are not disturbed/ located far from the loading location or geometry changes tend to approach zero, not experiencing tension as well as concentrated pressure.

Key Word : bridge, box girder, transversal detailing, strut & tie, solid element, truss, degree of freedom, rod bar truss force, stress contour pattern.

KATA PENGANTAR

Namo Buddhaya,

Terpujilah Sanghyang Adi Buddha Tuhan Yang Maha ESA, Sang Tri Ratna, dan Boddhisatva-Mahasatva karena berkat cinta kasih yang tanpa batas dan dukungan karma baik akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini berjudul “STUDI KOMPARASI PENDEKATAN DESAIN PENAMPANG JEMBATAN *BOX GIRDER* ARAH TRANSVERSAL DENGAN METODE *STRUT & TIE* DAN METODE *SOLID ELEMENT*” Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang ditempuh guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan Bandung.

Penulisan skripsi ini disamping sebagai salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, juga untuk menambah ilmu pengetahuan di bidang Teknik Struktur terutama *detailing* arah transversal jembatan *box girder*.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Dukungan tersebut membuat penulis menjadi termotivasi dan dapat melalui berbagai macam hambatan dan kesulitan dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, dengan rasa hormat pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberi banyak pengetahuan, meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran, serta membimbing penulis dari awal hingga akhir proses penyusunan skripsi ini agar dapat terselesaikan dengan baik;
2. Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T., selaku dosen ko-pembimbing yang telah sabar membimbing disetiap waktu, memberikan saran yang membangun, bertukar pikiran, arahan, dukungan, motivasi kepada penulis dari awal hingga akhir proses penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro, Ibu Ir. Lidya Fransisca Tjong, M.T., Bapak Liyanto Eddy, Ph.D., Bapak Dr. Paulus Karta Wijaya, selaku dosen penguji pada saat Seminar Judul & Seminar Isi yang telah memberikan banyak masukan dan kritik yang membangun bagi penulis;

4. Orangtua dan Keluarga penulis yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi setiap saat;
5. Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2018 yang telah menjadi lingkungan perkuliahan selama penulis menempuh masa studi;
6. Teman-teman Bhakti Ganva 2021 yang telah memberikan kesempatan, pengalaman, dukungan dan semangat selama penyusunan skripsi ini;
7. PT. Pertamina Power Indonesia sebagai tempat magang penulis yang telah memberikan kesempatan, pengalaman, dukungan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini;
8. Alm. dr. Hilman Winarta (Phitong) yang telah memberikan pelajaran arti kehidupan, pengalaman, bertukar pandangan, dukungan dan motivasi yang luar biasa kepada penulis disetiap saat kesulitan dan titik kritis penulis.

Penulis menyadari bahwa pada skripsi yang telah dibuat ini masih sangat jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat terbuka menerima kritik dan saran yang berguna dalam penyempurnaan topik serupa. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna untuk pembaca dan penelitian di masa yang akan datang.

Jakarta, 21 Desember 2021



William Bernardus

6101801133

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xi
BAB 1 – PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah	1-4
1.5 Metode Penelitian.....	1-5
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-5
BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA	2-1
2.1 Material	2-1
2.2 Tipe Struktur Jembatan	2-1
2.3 Desain Arah Transversal	2-3
2.4 Pembebanan & Kombinasi Pembebanan	2-10
2.5 Metode Desain.....	2-11
2.5.1 <i>Strut & Tie</i>	2-12
2.5.1.1 Strut	2-12
2.5.1.2 Tie.....	2-19
2.5.1.3 <i>Nodes</i> dan Daerah Nodal.....	2-20
2.5.2 Solid Element	2-28
2.5.2.1 Derajat Kebebasan (Dof).....	2-29
2.5.2.2 Tegangan	2-29
BAB 3 – PEMODELAN STRUKTUR.....	3-1
3.1 Metode Strut & Tie	3-1
3.1.1 Kestabilan Struktur	3-1

3.1.2	Alur Pembebanan.....	3-3
3.1.3	Komponen Strut & Tie.....	3-9
3.1.3.1	Lebar Kapasitas Bearing	3-11
3.1.3.2	<i>Strut</i>	3-14
3.1.3.3	<i>Tie</i>	3-16
3.1.3.4	Penulangan <i>Box Girder</i>	3-18
3.2	<i>Solid Element</i>	3-19
3.2.1	Pemodelan.....	3-20
3.2.2	Alur Pembebanan.....	3-23
BAB 4 – ANALISIS & PEMBAHASAN		4-1
4.1	Proses Iterasi Pemodelan <i>Strut & Tie</i>	4-1
4.2	Kebutuhan Penulangan.....	4-2
4.3	Gaya Dalam & Kontur Tegangan <i>Solid Element</i>	4-7
BAB 5 – KESIMPULAN & SARAN.....		5-1
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran.....	5-2
DAFTAR PUSTAKA.....		xiii



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 B-region & D-region (Wight, J. K., 2016)	1-2
Gambar 1.2 Tampak Isometri Jembatan.....	1-4
Gambar 2.1 Tipe Struktur Jembatan Sederhana & Menerus.....	2-2
Gambar 2.2 Tipe Struktur Jembatan Integral (Krizek, J., 2009)	2-2
Gambar 2.3 Penampang Melintang Box Girder Beton dan Beban (FHWA HIF-15-016, 2016)	2-3
Gambar 2.4 Bentangan Box Girder Cell Tunggal Tipikal dengan Penampang Melintang pada Tengah Bentang (FHWA HIF-15-016, 2016).....	2-5
Gambar 2.5 Penampang Melintang Tipikal (FHWA HIF-15-016, 2016).....	2-5
Gambar 2.6 Pengembangan Model Transversal 2 Dimensi (FHWA HIF-15-016, 2016) ...	2-6
Gambar 2.7 Lokasi Truk untuk Momen Lentur Transversal Maksimum pada Sayap Cantilever (FHWA HIF-15-016, 2016)	2-7
Gambar 2.8 Pengaruh Beban terhadap Permukaan pada Sayap Cantilever (FHWA HIF-15-016, 2016)	2-7
Gambar 2.9 Lokasi Truk untuk Momen Lentur Transversal Maksimum pada Tengah Pelat Atas (FHWA HIF-15-016, 2016).....	2-8
Gambar 2.10 Pengaruh Permukaan Momen Lentur Negatif Maksimum pada Ujung Kiri Pelat Atas (FHWA HIF-15-016, 2016).....	2-8
Gambar 2.11 Pengaruh Permukaan Momen Lentur Negatif Maksimum pada Ujung Kanan Pelat Atas (FHWA HIF-15-016, 2016).....	2-9
Gambar 2.12 Strut Prismatis Ideal (Wight, J. K., 2016)	2-12
Gambar 2.13 Elemen Strut Berbentuk Botol (Wight, J. K., 2016)	2-13
Gambar 2.14 Pendekatan Model Strut & Tie pada Strut Berbentuk Botol (Wight, J. K., 2016)	2-13
Gambar 2.15 Daerah Bentuk Botol (Wight, J. K., 2016)	2-14
Gambar 2.16 Model Strut & Tie (Wight, J. K., 2016)	2-14
Gambar 2.17 Tegangan Blok Tekan (Wight, J. K., 2016)	2-17
Gambar 2.18 Tulangan Kontrol Retak Melintasi Elemen Strut pada Web yang Retak (Wight, J. K., 2016).....	2-19
Gambar 2.19 Gaya yang Bekerja pada Nodes (Wight, J. K., 2016).....	2-21
Gambar 2.20 Daerah Nodal Hidrostatik pada Struktur Planar (Wight, J. K., 2016)	2-22
Gambar 2.21 Daerah Perluasan Nodal (Wight, J. K., 2016)	2-22
Gambar 2.22 Lebar Elemen Strut Miring pada Daerah Nodal C-C-T (Wight, J. K., 2016) ..	2-24
Gambar 2.23 Model Strut & Tie pada Balok Tinggi dengan Beban Mati dan Stirrups (Wight, J. K., 2016).....	2-25
Gambar 2.24 Elemen strut saling bertemu pada satu titik (Wight, J. K., 2016).....	2-26
Gambar 2.25 C-T-T Node Diangkur oleh Batang Bengkok (Wight, J. K., 2016)	2-27
Gambar 2.26 Elemen Strut Diangkur oleh Stirrups dan Tulangan Longitudinal (Wight, J. K., 2016)	2-28
Gambar 2.27 Tipe Solid Element 3 Dimensi dan Urutan Penomoran Titik.....	2-28
Gambar 2.28 Derajat Kebebasan Solid Element	2-29
Gambar 2.29 Komponen Tegangan Normal dan Geser	2-30
Gambar 2.30 Komponen Tegangan Principal	2-30

Gambar 3.1 Strut & Tie Box Girder Pier Tunggal	3-1
Gambar 3.2 Strut & Tie Box Girder Pier Ganda	3-2
Gambar 3.3 Skema Alur Pembebanan Gaya Aksial.....	3-3
Gambar 3.4 Pengkopelan Momen	3-4
Gambar 3.5 Input Beban Case 1A.....	3-5
Gambar 3.6 Input Beban Case 2A.....	3-6
Gambar 3.7 Input Beban Case 3A.....	3-6
Gambar 3.8 Input Beban Case 1B	3-7
Gambar 3.9 Input Beban Case 2B	3-8
Gambar 3.10 Input Beban Case 3B	3-8
Gambar 3.11 Input Beban Case 4B	3-9
Gambar 3.12 Posisi Bearing Pad.....	3-12
Gambar 3.13 Offset Strut pada Layout Box Girder Pier Tunggal.....	3-16
Gambar 3.14 Offset Strut pada Layout Box Girder Pier Ganda	3-16
Gambar 3.15 Lokasi Tipikal Pemodelan Solid Element	3-19
Gambar 3.16 Sisi Depan dan Belakang Box Girder Terjepit dalam Arah Z.....	3-20
Gambar 3.17 Perletakan dan Elastic Link Tipe Rigid.....	3-21
Gambar 3.18 Penampang Box Girder Pier Tunggal yang Telah di Mesh.....	3-21
Gambar 3.19 Tampak 3D Keping Box Girder Pier Tunggal	3-22
Gambar 3.20 Penampang Box Girder Pier Ganda yang Telah di Mesh.....	3-22
Gambar 3.21 Tampak 3D Keping Box Girder Pier Ganda	3-23
Gambar 3.22 Pengkopelan M_z Menjadi Sejumlah Titik Pembebanan	3-24
Gambar 3.23 Beban Aksial	3-25
Gambar 3.24 Beban Shear-Y.....	3-26
Gambar 3.25 Beban Momen-Z.....	3-26
Gambar 4.1 Penulangan Box Girder Pier Tunggal.....	4-4
Gambar 4.2 Penulangan Box Girder Pier Ganda	4-6
Gambar 4.3 Penomoran Rangka Batang Box girder Pier Tunggal	4-7
Gambar 4.4 Penomoran Rangka Batang Box girder Pier Ganda	4-8
Gambar 4.5 Gaya Dalam Strut & Tie Case 1A	4-9
Gambar 4.6 Kontur Tegangan Principal 1 Case 1A.....	4-10
Gambar 4.7 Kontur Tegangan Principal 2 Case 1A.....	4-11
Gambar 4.8 Kontur Tegangan Principal 3 Case 1A.....	4-12
Gambar 4.9 Gaya Dalam Strut & Tie Case 2A	4-13
Gambar 4.10 Kontur Tegangan Principal 1 Case 2A.....	4-14
Gambar 4.11 Kontur Tegangan Principal 2 Case 2A.....	4-15
Gambar 4.12 Kontur Tegangan Principal 3 Case 2A.....	4-16
Gambar 4.13 Gaya Dalam Strut & Tie Case 3A	4-17
Gambar 4.14 Kontur Tegangan Principal 1 Case 3A.....	4-18
Gambar 4.15 Kontur Tegangan Principal 2 Case 3A.....	4-19
Gambar 4.16 Kontur Tegangan Principal 3 Case 3A.....	4-20
Gambar 4.17 Gaya Dalam Strut & Tie Case 1B	4-21
Gambar 4.18 Kontur Tegangan Principal 1 Case 1B	4-22
Gambar 4.19 Kontur Tegangan Principal 2 Case 1B	4-23
Gambar 4.20 Kontur Tegangan Principal 3 Case 1B	4-24
Gambar 4.21 Gaya Dalam Strut & Tie Case 2B	4-25

Gambar 4.22 Kontur Tegangan Principal 1 Case 2B	4-26
Gambar 4.23 Kontur Tegangan Principal 2 Case 2B	4-27
Gambar 4.24 Kontur Tegangan Principal 3 Case 2B	4-28
Gambar 4.25 Gaya Dalam Strut & Tie Case 3B	4-29
Gambar 4.26 Kontur Tegangan Principal 1 Case 3B	4-30
Gambar 4.27 Kontur Tegangan Principal 2 Case 3B	4-31
Gambar 4.28 Kontur Tegangan Principal 3 Case 3B	4-32
Gambar 4.29 Gaya Dalam Strut & Tie Case 4B	4-33
Gambar 4.30 Kontur Tegangan Principal 1 Case 4B	4-34
Gambar 4.31 Kontur Tegangan Principal 2 Case 4B	4-35
Gambar 4.32 Kontur Tegangan Principal 3 Case 4B	4-36



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Spesifikasi Dimensi Jembatan.....	1-4
Tabel 2.1 Kombinasi Pembebanan Servis (ACI 343.1R-12, 2012)	2-11
Tabel 2.2 Kombinasi Pembebanan Desain dan Beban (ACI 343.1R-12, 2012)	2-11
Tabel 2.3 Nilai β_s untuk Strut (Wight, J. K., 2016).....	2-16
Tabel 2.4 Nilai β_n untuk Strut (Wight, J. K., 2016)	2-25
Tabel 3.1 Gaya Dalam Ultimit pada Pier Tunggal.....	3-5
Tabel 3.2 Pengkopelan Momen dan Input Pembebanan pada Box Girder Pier Tunggal.....	3-5
Tabel 3.3 Gaya Dalam Ultimit pada Pier Ganda.....	3-7
Tabel 3.4 Pengkopelan Momen dan Input Pembebanan pada Box Girder Pier Ganda	3-7
Tabel 3.5 Gaya Dalam Batang Setiap Case pada Box Girder Pier Tunggal	3-10
Tabel 3.6 Gaya Dalam Batang Setiap Case pada Box Girder Pier Ganda	3-11
Tabel 3.7 Koefisien Zona Nodal β_n (SNI 2847:2019).....	3-12
Tabel 3.8 Lebar Pakai Kapasitas Bearing untuk Case A.....	3-13
Tabel 3.9 Lebar Pakai Kapasitas Bearing untuk Case B.....	3-13
Tabel 3.10 Koefisien Strut β_s (SNI 2847:2019)	3-14
Tabel 3.11 Lebar Strut Pakai Box Girder Pier Tunggal	3-15
Tabel 3.12 Lebar Strut Pakai Box Girder Pier Ganda	3-15
Tabel 3.13 Lebar Tie Pakai Box Girder Pier Tunggal	3-17
Tabel 3.14 Lebar Tie Pakai Box Girder Pier Ganda	3-18
Tabel 3.15 Axial dan Shear-y Box Girder Pier Tunggal.....	3-24
Tabel 3.16 Moment-z Box Girder Pier Tunggal	3-24
Tabel 3.17 Axial dan Shear-y Box Girder Pier Ganda.....	3-24
Tabel 3.18 Moment-z Box Girder Pier Ganda	3-25
Tabel 4.1 Komponen Vertikal dan Horizontal A_s perlu dan A_s pakai Box Girder Pier Tunggal	4-2
Tabel 4.2 Demand Capacity Ratio Gaya Dalam Lokasi Box Girder Pier Tunggal	4-3
Tabel 4.3 Komponen Vertikal dan Horizontal A_s perlu dan A_s pakai Box Girder Pier Ganda ..	4-5
Tabel 4.4 Demand Capacity Ratio Gaya Dalam Lokasi Box Girder Pier Ganda	4-5
Tabel 4.5 Kelebihan dan Kekurangan Masing-masing Metode.....	4-8

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation</i>
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
LRFD	= <i>Load and Resistance Factor Design</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
RSNI	= Rancangan Standar Nasional Indonesia
A	= Luas penampang
$A_{s \text{ min}}$	= Luas tulangan minimum
$A_{s \text{ perlu}}$	= Luas tulangan perlu
$A_{s \text{ pakai}}$	= Luas tulangan pakai
DoF	= <i>Degree of Freedom</i> / Derajat kebebasan
C	= <i>Compression</i> / Gaya Tekan
E	= Modulus elastisitas
T	= <i>Tension</i> / Gaya tarik
f_c'	= Mutu material beton
f_y	= Mutu material baja
γ	= Berat jenis
σ	= Tegangan normal/ aksial
τ	= Tegangan geser
ϕ	= Faktor reduksi
b_{ef}	= Lebar efektif
b	= Jumlah batang
r	= Jumlah reaksi
j	= Jumlah titik/ joint
s	= <i>strut</i>
n	= Jumlah tulangan
F_n	= Kekuatan nominal
F_x	= Gaya dalam arah sumbu x
F_y	= Gaya dalam arah sumbu y
M	= Momen



DC, DW	= Beban berkelanjutan – Beban mati
EH	= Beban berkelanjutan – Tekanan bumi
ER	= Beban berkelanjutan – Gaya perletakan luar
SE	= Beban berkelanjutan – Efek perbedaan penurunan
PS	= Beban berkelanjutan – Gaya prategang
B	= Beban berkelanjutan – Gaya apung
LL, LS, PL	= Beban sementara – Beban hidup dan turunannya
IM	= Beban sementara – Faktor dampak
WS, WL	= Beban sementara – Beban angin dan turunannya
IC	= Beban sementara – Beban es
WA	= Beban sementara – Beban arus
TU, TG	= Beban akibat perubahan volumetrik – Temperatur
RS	= Beban akibat perubahan volumetrik – Interaksi rel struktur
SH	= Beban akibat perubahan volumetrik – Penyusutan
CR	= Beban akibat perubahan volumetrik – <i>Creep</i>
EQ	= Beban luar biasa – Gempa
DR	= Beban luar biasa – Tergelincir/Tabrakan
BR	= Beban luar biasa – Rel rusak
IL _{ST}	= Beban luar biasa – Beban benturan di permukaan jalan
DC, DW, EL	= Beban konstruksi – Beban mati
LL, LS, PL	= Beban konstruksi – Beban hidup

BAB 1

PENDAHULUAN

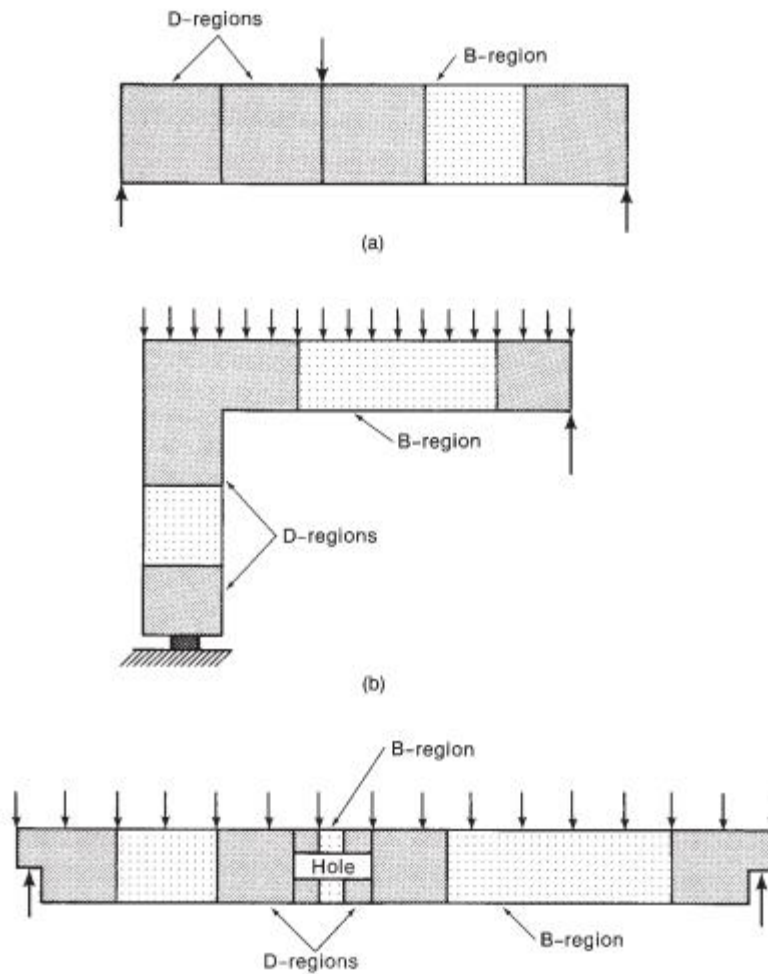
1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan infrastruktur vital yang mempunyai tujuan untuk menghubungkan kedua tempat yang berbeda menjadi saling terkoneksi. Keterhubungan koneksi jalan pada jembatan diperuntukan untuk melintasi berbagai kondisi medan yang akan dilintasi oleh jembatan misalnya seperti lembah, jurang, sungai, danau, laut dan jalan. Karena kondisi medan yang mempunyai tingkat kesulitan yang beraneka ragam sehingga spesifikasi jembatan yang dibutuhkan akan berbeda sesuai dengan kemampuannya. Hal ini dapat mempengaruhi perancangan dalam mendesain struktur jembatan. Dalam mendesain jembatan terdapat beberapa hal pokok yang menentukan spesifikasi jembatan tersebut antara lain seperti; panjang bentangan, tipe struktur jembatan, peruntukan jembatan, kemudahan pelaksanaan & pemeliharaan, serta biaya yang ekonomis. Secara global analisis terhadap perilaku struktur jembatan dilakukan pengecekan terhadap *mode shape*, gaya dalam, lendutan dan tegangan.

Selain melakukan analisis perilaku struktur jembatan secara global dalam arah longitudinal, *detailing* dalam arah transversal pada setiap *box girder* juga perlu didesain dan direncanakan dengan baik. Walaupun analisis perilaku struktur jembatan dalam arah longitudinal seperti *mode shape*, gaya dalam, lendutan dan tegangan telah didesain dengan baik, apabila *detailing* dalam arah transversal pada *box girder* belum memadai maka tetap dapat terjadi keruntuhan secara global sehingga analisis yang dilakukan dalam arah longitudinal juga mengalami kegagalan.

Dalam mendesain arah transversal pada penampang jembatan terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi seperti; diafragma, geometri penampang, dan kondisi perletakan. Pendekatan desain pada arah transversal untuk penampang jembatan *box girder* dapat menggunakan metode *strut & tie* dan *solid element*. Pada kedua metode tersebut terdapat kelebihan ataupun kekurangan sehingga dilakukan analisis terhadap 2 metode ini untuk saling melengkapi kekurangan metode yang lainnya. Pada komponen *box girder* jembatan secara garis besar terbagi kedalam beberapa daerah yaitu *B-region* dan *D-region*. Terdapat bagian yang disebut *B-region* dimana berlaku teori balok termasuk regangan linier. Selain itu terdapat bagian lain yang disebut daerah diskontinuitas atau *D-region* yang berdekatan dengan diskontinuitas atau daerah yang terganggu dimana teori balok tidak berlaku. *D-region* dapat

menjadi diskontinuitas geometri, berdekatan dengan lubang atau perubahan tiba-tiba di dalam penampang atau diskontinuitas statis yang daerahnya berdekatan dengan konsentrasi pembebanan dan reaksi perletakan. *Corbels*, *dapped ends* dan sambungan dapat dipengaruhi oleh diskontinuitas geometri dan statis.



Gambar 1.1 *B-region & D-region* (Wight, J. K., 2016)

Pada *D-region* konsep metode *strut & tie* lebih tepat untuk diaplikasikan karena pada daerah perletakan gaya yang lebih dominan adalah gaya geser. Konsep metode *strut & tie* adalah beban yang berada di atas *box girder* harus dengan cepat didistribusikan menuju perletakan melalui rangka batang. Akan tetapi pada metode *strut & tie* terdapat beberapa kelemahan yang dapat mempengaruhi pemodelan. Kelemahan tersebut antara lain seperti; harus memenuhi persamaan keseimbangan, elemen *strut* tidak dapat bersilangan dan saling tumpang tindih, elemen *ties* harus dikondisikan untuk memberikan ruang untuk penulangan, terdapat pola retak yang mempengaruhi variasi model *strut & tie*, arah *strut & tie* yang dipilih

dalam mendesain berkisar $\pm 15^\circ$ dari arah tegangan elastis, pembebanan mengikuti gaya dan deformasi yang paling kecil, sudut antara elemen *strut & tie* berada pada rentang $25^\circ \leq \theta \leq \pm 45^\circ$, dapat dilakukan perkuatan penambahan tulangan *web* di samping sengkang apabila terjadi pengurangan sudut antara elemen *strut & tie*, model *strut & tie* mempunyai banyak variasi agar diperoleh model yang paling optimal untuk menahan beban secara keseluruhan.

Selain metode *strut & tie* terdapat juga konsep metode *solid element*. Konsep metode *solid element* merupakan analisis pemodelan yang paling mendekati dengan geometri asli di lapangan karena pemodelan didesain dalam arah memanjang, melintang dan ketebalan (3 dimensi). Metode *solid element* dapat dianalisis dengan bantuan *software* MIDAS Civil selain itu metode ini juga digunakan untuk menjustifikasi metode *strut & tie*.

1.2 Inti Permasalahan

Dalam mendesain transversal jembatan terdapat 2 metode yang mempunyai landasan berbeda sehingga akan dicari metode pendekatan desain yang paling tepat. Kedua metode tersebut adalah *strut & tie* dan *solid element*. Secara umum pada proses mendesain jembatan dalam arah longitudinal dapat mendesain *flexural strength*. Namun dalam mendesain arah transversal jembatan tidak dapat diaplikasikan karena pada daerah perletakan gaya geser lebih dominan. Sehingga disarankan pada daerah D menggunakan metode *strut & tie*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mendesain *box girder* arah transversal dengan metode *strut & tie* dan *solid element*.
2. Mengevaluasi dan mengkomparasi gaya dalam rangka batang pada model *strut & tie* dengan pola kontur tegangan pada model *solid element*.

1.4 Pembatasan Masalah

Berikut merupakan ruang lingkup pembatasan masalah dari penelitian yang dilakukan :

1. Peraturan referensi yang digunakan adalah :
 - a. SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan
 - b. SNI 2833:2016 Perencanaan jembatan terhadap beban gempa
 - c. SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan
 - d. RSNI T-12-2004 Perencanaan struktur beton untuk jembatan
2. Mutu material beton yang digunakan untuk *girder* adalah $f_c' 50 \text{ MPa}$ ($E = 33234 \text{ MPa}$, $\gamma = 2549,29 \text{ Kg/m}^3$) dan untuk *pier* adalah $f_c' 40 \text{ MPa}$ ($E = 29725 \text{ MPa}$, $\gamma = 2549,29 \text{ Kg/m}^3$).
3. Mutu material baja yang digunakan untuk *tendon* adalah $f_y 1860 \text{ MPa}$ ($E = 19700 \text{ MPa}$, $\gamma = 8004,77 \text{ Kg/m}^3$).
4. Rincian spesifikasi dimensi jembatan adalah sebagai berikut :

Lebar Jembatan : 9,142 m (2 lajur 2 arah dengan median jalan)

Panjang Jembatan : 178 m

Jumlah Segmen : 3

Jumlah *Pier* : 4

Tinggi *Pier* Utama : 10,2 m

Tinggi *Pier* Ujung : 13,2 m

Tabel 1.1 Spesifikasi Dimensi Jembatan

	Segmen 1	Segmen 2		Segmen 3
Panjang Bentangan	49 m	80 m		49 m
Penampang <i>Pier</i>	1,85 x 2,3 m	3,5 x 1,5 m	3,5 x 1,5 m	1,85 x 2,3 m



Gambar 1.2 Tampak Isometri Jembatan

5. Tipe struktur *pier* utama jembatan adalah integral sehingga antara *pier* utama dengan *box girder* tidak terdapat *bearing pad* dan dianggap monolit untuk keseluruhan struktur jembatan. *Pier* utama dibuat ganda dalam arah longitudinal. Sedangkan pada *pier* ujung merupakan perletakan sederhana sehingga terdapat *bearing pad*.
6. Material diasumsikan bersifat elastis linier untuk pemodelan dengan metode *solid element*.
7. Pondasi, *pier* dan desain dalam arah longitudinal tidak dilakukan/didesain.

1.5 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Studi literatur diterapkan pada penelitian ini sebagai sumber acuan informasi yang diperlukan dalam penyusunan penelitian. Sumber literatur berasal dari buku, jurnal dan artikel yang dilampirkan pada daftar pustaka penelitian.
2. Studi Analisis
Studi analisis diterapkan pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* MIDAS Civil 2021 untuk melakukan pemodelan struktur jembatan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan karya tulis ilmiah ini disusun dengan susunan sebagai berikut :

BAB 1 - PENDAHULUAN

Bab ini berisi mengenai latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 - TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai teori dan metode-metode yang digunakan dalam pemodelan untuk dianalisis. Di dalam bab ini terdapat sejumlah literatur yang membahas topik seputar jembatan, desain jembatan secara umum, analisis transversal jembatan, *B-region*, *D-region*, metode *strut & tie* dan metode *solid element*.

BAB 3 - PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini berisi sejumlah data dan variasi model transversal jembatan yang telah direduksi oleh pembatasan masalah sehingga isi dari bab ini dapat dianalisis dan diolah lebih lanjut pada bab berikutnya untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB 4 - ANALISIS & PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai langkah-langkah proses pemodelan analisis data yang telah dikumpulkan sebelumnya. *Output* dari bab ini digunakan untuk memberikan kesimpulan analisis dan saran berdasarkan pengalaman analisis yang telah dilakukan.

BAB 5 - KESIMPULAN & SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang diambil dari hasil analisis penelitian yang telah dilakukan serta memberikan saran dengan tujuan agar saran tersebut dapat menjadi masukan apabila dikemudian hari terdapat penelitian yang serupa.

