

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM MENGUNAKAN BAJA CANAI DINGIN DENGAN VARIASI PANJANG *HAUNCHED GUSSET PLATE* TERHADAP BEBAN MONOTONIK



RYO AGUSTINUS MULIAWAN

03011382025115

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

TUGAS AKHIR

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM MENGUNAKAN BAJA CANAI DINGIN DENGAN VARIASI PANJANG *HAUNCHED GUSSET PLATE* TERHADAP BEBAN MONOTONIK

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



RYO AGUSTINUS MULIAWAN

03011382025115

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM
MENGGUNAKAN BAJA CANAI DINGIN DENGAN VARIASI
PANJANG *HAUNCHED GUSSET PLATE* TERHADAP BEBAN
MONOTONIK
TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik

Oleh:

RYO AGUSTINUS MULIAWAN
03011382025115

Palembang, Maret 2024

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat, karunia, dan kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Kinerja *Joint Balok-Kolom Menggunakan Baja Canai Dingin dengan Variasi Panjang *Haunched Gusset Plate Terhadap Beban Monotonik****”. Pada kesempatan ini, penulis juga hendak mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penyelesaian tugas akhir ini, diantaranya:

1. Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M. T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Ir. Saloma, S.T., M. T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya dan Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penulisan tugas akhir.
4. Ibu Dr. Mona Foralisa Toyfur, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penelitian.
6. Ibu Dr. Ir. Yulindasari, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN. Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak Dr. Ir. K. M. Aminuddin, S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng., Bapak Dr. M. Firdaus, S.T., M.T., dan kak R. M. Fadel Satria Albimanzura, S.T. yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam mengenai baja dan penggunaan aplikasi ANSYS *Workbench*.
8. Kepada orang tua, adik, keluarga, serta teman-teman yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir.
9. Kepada Kallista Junieta Jasmine, perempuan spesial yang selalu menyemangati penulis dalam pembuatan laporan tugas akhir ini.

Besar harapan penulis agar proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan berbagai pihak lain yang membutuhkannya, khususnya Civitas Akademika Program Studi Teknik Sipil.

Palembang, 2024

Ryo Agustinus Muliawan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
HALAMAN ABSTRAK.....	xvi
HALAMAN ABSTRACT	xvii
RINGKASAN	xviii
SUMMARY	xix
PERNYATAAN INTEGRITAS	xx
HALAMAN PERSETUJUAN.....	xxi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xxii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan Laporan.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.1.1 Perilaku Struktur Sambungan Pelat Buhul Baja Canai Dingin Profil Kanal Ganda	5
2.1.2 Pengujian Eksperimental Sambungan Pelat Buhul dengan <i>Flange Web Cleat</i> pada Baja Canai Dingin	6

2.1.3 Sambungan Balok Kolom Baja Canai Dingin Menggunakan Baut untuk Aplikasi Bangunan Tahan Gempa	8
2.2 <i>Cold-formed Steel</i>	10
2.2.1 Profil Baja Canai Dingin	12
2.2.2 Tegangan dan Regangan Baja	13
2.2.3 Perbandingan Baja Canai Dingin dan Baja Canai Panas.....	15
2.3 <i>Gusset Plate</i>	16
2.4 <i>Joint</i> Balok-Kolom	19
2.5 Baut.....	21
2.6 Kekakuan	22
2.7 Daktilitas.....	22
2.8 Energi Disipasi.....	23
2.9 Perpindahan	24
2.10 Beban Monotonik	25
2.11 <i>Finite Element Method</i>	25
2.11.1. Elemen Segitiga.....	27
2.11.2. Elemen Segi Empat.....	29
2.12 Program ANSYS	31
2.12.1 Elemen ANSYS	32
2.12.2 Tahapan Simulasi Program ANSYS.....	33
 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	 35
3.1 Umum	35
3.2 Studi Literatur	35
3.3 Alur Penelitian.....	35
3.4 Pengumpulan Data Sekunder.....	37
3.5 Model Struktur.....	39
3.6 Pemodelan Struktur dengan Program ANSYS <i>Workbench</i>	42
3.7 <i>Boundary Condition</i>	46
3.9 <i>Meshing</i>	48
3.10 <i>Solving</i>	48
3.11 Analisis dan Pembahasan	48
 BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	 49

4.1	Pemodelan Struktur <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin	49
4.2	Pemodelan Struktur <i>Joint</i> Balok Kolom Pada Program ANSYS <i>Workbench</i>	51
4.3	Input Data Properties	54
4.3.1	Data Material <i>Properties</i> Baja Canai Dingin	54
4.3.2	Data Material <i>Properties</i> Baja Canai Panas	54
4.3.3	Data Material <i>Properties</i> Baut.....	54
4.3.4	Pembebanan.....	55
4.4	<i>Meshing</i> Elemen Struktur	55
4.5	Analisis <i>Output</i> ANSYS.....	56
4.5.1	Analisis <i>Output Joint</i> Balok Kolom <i>Rectangular Gusset dan Haunched Gusset Plate</i> Verifikasi.....	56
4.5.2	Analisis <i>Output Joint</i> Balok Kolom <i>Haunched Gusset Plate</i> Variasi..	60
4.6	Kontur Tegangan	62
4.6.1	Kontur Tegangan <i>Joint</i> Balok Kolom <i>Rectangular Gusset dan Haunched Gusset Plate</i> Verifikasi.....	62
4.6.2	Kontur Tegangan <i>Joint</i> Balok Kolom <i>Haunched Gusset Plate</i> Variasi	65
4.7	Kontur Perpindahan.....	68
4.7.1	Kontur Perpindahan <i>Joint</i> Balok Kolom <i>Rectangular Gusset dan Haunched Gusset Plate</i> Verifikasi	68
4.7.2	Kontur Perpindahan <i>Joint</i> Balok Kolom <i>Haunched Gusset Plate</i> Variasi	70
4.8	Daktilitas.....	72
4.8.1	Daktilitas Struktur <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Eksperimental	72
4.8.2	Daktilitas <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin <i>Rectangular Gusset dan Haunched Gusset Plate</i> Verifikasi	74
4.8.3	Daktilitas <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin <i>Haunched Gusset Plate</i> Variasi.....	76
4.9	Kekakuan	78
4.9.1	Kekakuan Struktur <i>Joint</i> Balok Kolom Eksperimental	79

4.9.2 Kekakuan <i>Joint</i> Balok Kolom <i>Rectangular Gusset dan Haunched Gusset Plate</i> Verifikasi.....	81
4.9.3 Kekakuan <i>Joint</i> Balok Kolom <i>Haunched Gusset Plate</i> Variasi.....	83
4.10 Energi Disipasi.....	86
4.10.1 Energi Disipasi Struktur <i>Joint</i> Balok Kolom Eksperimental.....	86
4.10.2 Energi Disipasi <i>Joint</i> Balok Kolom <i>Rectangular Gusset dan Haunched Gusset Plate</i> Verifikasi.....	88
4.10.3 Energi Disipasi <i>Joint</i> Balok Kolom <i>Haunched Gusset Plate</i> Variasi..	89
4.11 Pengaruh Panjang <i>Gusset Plate</i> terhadap Beban dan Perpindahan	91
BAB 5 PENUTUP	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN.....	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
Gambar 2.1	Konfigurasi Sambungan Haunched Gusset Plate (Aminuddin, dkk., 2019).....	6
Gambar 2.2	Konfigurasi Sambungan Haunched Gusset Plate (Firdaus, dkk., 2020).....	7
Gambar 2.3	Ukuran Haunched Gusset Plate (Papargyriou, dkk., 2022).....	9
Gambar 2.4	Konfigurasi Sambungan (Papargyriou, dkk., 2022).....	10
Gambar 2.5	Baja Canai Dingin (Aminuddin dkk., 2021).	11
Gambar 2.6	Profil Baja Canai Dingin (Gherzi dkk., 2014).....	13
Gambar 2.7	Susunan Alat untuk Prosedur Uji Tarik (Budiman, 2016).	13
Gambar 2.8	Diagram Tegangan-Regangan (Lesmanah dkk., 2013).....	14
Gambar 2.9	Grafik Tegangan-Regangan Baja Canai Dingin (Aminuddin dkk., 2021).....	16
Gambar 2.10	Grafik Tegangan-Regangan Baja Canai Panas (Aminuddin dkk., 2021).....	16
Gambar 2.11	Rectangular Gusset Plate (Aminuddin dkk., 2017).....	17
Gambar 2.12	Flange Cleat (Pisarek, 2018).	18
Gambar 2.13	Kombinasi Rectangular Gusset Plate dan Flange Cleat (Aminuddin dkk., 2021).....	19
Gambar 2.14	Haunched Gusset Plate (Firdaus dkk., 2020).	19
Gambar 2.15	Joint Balok-Kolom Interior (Wang dkk., 2002).....	20
Gambar 2.16	Joint Balok-Kolom Eksterior (Wang dkk., 2002)	20
Gambar 2.17	Baut, Ring, dan Mur Standar (Dewobroto, 2009).	21
Gambar 2.18	Penggunaan Baut untuk Struktur Atas Konstruksi (Vermont, 2012).	22
Gambar 2.19	Grafik Hubungan Beban – Perpindahan Balok Beton Bertulang (Nawy, 1995).....	23
Gambar 2.20	Kurva Energi Disipasi Pembebanan Monotonik (Decanini, 2005)	24

Gambar 2.21	Perpindahan Balok; (a) Balok Sebelum Mengalami Perpindahan, (b) Balok Mengalami Perpindahan (Pala'biran dkk., 2019).....	24
Gambar 2.22	Elemen dimensi satu (Logan, 2015).....	26
Gambar 2.23	Elemen dimensi dua (Logan, 2015).....	27
Gambar 2.24	Elemen dimensi tiga (Logan, 2015)	27
Gambar 2.25	Elemen Segitiga (Logan, 2015).....	27
Gambar 2.26	Elemen Segi Empat (Logan, 2015)	29
Gambar 2.27	Ilustrasi Elemen SOLID45 (ANSYS Inc., 2013)	32
Gambar 2.28	Ilustrasi elemen LINK180 (ANSYS Inc., 2013)	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	37
Gambar 3.2	Kurva Load-Deflection Rectangular Gusset Plate (Aminuddin, dkk., 2021).....	38
Gambar 3.3	Kurva Load-Deflection Haunched Gusset Plate (Aminuddin, dkk., 2021).....	39
Gambar 3.4	Dimensi Penampang C30024 (Aminuddin, dkk., 2020)	40
Gambar 3.5	Konfigurasi Sambungan Rectangular Gusset Plate (Aminuddin, dkk., 2021).....	40
Gambar 3.6	Dimensi Rectangular Gusset Plate (Aminuddin, dkk., 2021)	40
Gambar 3.7	Konfigurasi Sambungan Haunched Gusset Plate (Aminuddin, dkk., 2021).....	41
Gambar 3.8	Dimensi Haunched Gusset Plate (Aminuddin, dkk., 2021).....	41
Gambar 3.9	Set-up Benda Uji (Aminuddin, dkk., 2019)	42
Gambar 3.10	Tampilan Menu ANSYS Workbench.....	42
Gambar 3.11	Tampilan Model pada SpaceClaim	43
Gambar 3.12	Tampilan Menu Engineering Data	43
Gambar 3.13	Pemodelan struktur joint balok-kolom pada ANSYS Workbench untuk model RP1	44
Gambar 3.14	Pemodelan struktur joint balok-kolom pada ANSYS Workbench untuk model HP1	45
Gambar 3.15	Pemodelan struktur joint balok-kolom pada ANSYS Workbench untuk model HP2.....	45

Gambar 3.16	Pemodelan struktur joint balok-kolom pada ANSYS Workbench untuk model HP3	46
Gambar 3.17	Pengaplikasian Contact Terhadap Struktur	46
Gambar 3.18	Ilustrasi setup pembebanan (Aminuddin, dkk., 2019).....	47
Gambar 3.19	Beban dan Boundary Conditions Model Uji	47
Gambar 4.1	Detail Permodelan Struktur Joint Balok Kolom.....	51
Gambar 4.2	Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Model RP1.....	52
Gambar 4.3	Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Model HP1	52
Gambar 4.4	Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Model HP2	53
Gambar 4.5	Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Model HP3	53
Gambar 4.6	Meshing Elemen Struktur Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin.	56
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Output Beban-Perpindahan Pengujian Eksperimental dan Pengujian Finite Element Method	58
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Output Beban-Perpindahan Model Variasi ..	61
Gambar 4.9	Kontur Tegangan Model RP1.....	63
Gambar 4.10	Kontur Tegangan Model HP2	64
Gambar 4.11	Kontur Tegangan Model HP1	66
Gambar 4.12	Kontur Tegangan Model HP3	67
Gambar 4.13	Kontur Perpindahan Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Verifikasi	69
Gambar 4.14	Kontur Perpindahan Joint Balok Kolom Haunched Gusset Plate Variasi.....	71
Gambar 4.15	Kurva Envelope Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Spesimen RP1 (Lg = 600 mm) Eksperimental.....	73
Gambar 4.16	Kurva Envelope Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Spesimen HP2 (Lg = 600 mm) Eksperimental	73
Gambar 4.17	Kurva Envelope Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Model RP1 (Lg = 600 mm) Verifikasi.....	75
Gambar 4.18	Kurva Envelope Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Model HP2 (Lg = 600 mm) Verifikasi.....	75
Gambar 4.19	Kurva Envelope Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Model HP1 (Lg = 550 mm) Variasi	77

Gambar 4.20	Kurva Envelope Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Model HP3 (Lg = 650 mm) Variasi	77
Gambar 4.21	Kurva Hubungan Kekakuan dan Time Load Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Eksperimental.....	79
Gambar 4.22	Kurva Hubungan Degradasi Kekakuan dan Time Load Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Eksperimental	80
Gambar 4.23	Kurva Hubungan Kekakuan dan Time Load Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Verifikasi.....	81
Gambar 4.24	Kurva Hubungan Degradasi Kekakuan dan Time Load Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Verifikasi	83
Gambar 4.25	Kurva Hubungan Kekakuan dan Time Load Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Variasi	84
Gambar 4.26	Kurva Hubungan Degradasi Kekakuan dan Time Load Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Variasi.....	85
Gambar 4.27	Energi Disipasi Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Eksperimental	87
Gambar 4.28	Energi Disipasi Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Verifikasi	88
Gambar 4.29	Energi Disipasi Joint Balok Kolom Baja Canai Dingin Variasi.....	90
Gambar 4.30	Grafik Pengaruh Variasi Panjang <i>Gusset Plate</i> terhadap Beban Maksimum.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Ukuran Benda Uji.....	5
Tabel 2.2 Ukuran Benda Uji.....	7
Tabel 2.3 Ultimate Rotation, Flexural Rigidity, Rotational Category, and Failure Modes of F-C Connections.	9
Tabel 3.1 Data Properties Benda Uji.....	38
Tabel 3.2 Hasil Tahanan Baut pada Baja Canai Dingin.....	39
Tabel 4.1 Selisih Nilai Perpindahan Maksimum Pengujian Eksperimental dan ANSYS.....	58
Tabel 4.2 Nilai Beban Dan Perpindahan Maksimum <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Dengan Variasi Panjang <i>Haunched Gusset Plate</i>	61
Tabel 4.3 Nilai Daktilitas <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Eksperimental.. ..	74
Tabel 4.4 Nilai Daktilitas <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Verifikasi ANSYS.....	76
Tabel 4.5 Nilai Daktilitas <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Variasi ANSYS	78
Tabel 4.6 Nilai Degradasi Kekakuan <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Eksperimental.....	80
Tabel 4.7 Nilai Degradasi Kekakuan <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Verifikasi	82
Tabel 4.8 Nilai Degradasi Kekakuan <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Variasi	85
Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Energi Disipasi <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Eksperimental.....	87
Tabel 4.10 Perbandingan Nilai Energi Disipasi <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Verifikasi.....	89
Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Energi Disipasi <i>Joint</i> Balok Kolom Baja Canai Dingin Variasi	90
Tabel 4.12 Rekapitulasi Nilai Beban dan Perpindahan Hasil Pengujian	91

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Lembar Asistensi Tugas Akhir	100
2. Hasil Seminar Sidang Sarjana/Ujian Tugas Akhir	102
3. Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir	103
4. Surat Keterangan Selesai Revisi Tugas Akhir	104

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM MENGGUNAKAN BAJA CANAI DINGIN DENGAN VARIASI PANJANG *HAUNCHED* *GUSSET PLATE* TERHADAP BEBAN MONOTONIK

Ryo Agustinus Muliawan¹⁾, Saloma²⁾, Siti Aisyah Nurjannah³⁾

- ¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: ryoagustinusmuliawan@gmail.com
- ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: salomaunsri@gmail.com
- ³⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: sitiaisvah@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Baja canai dingin merupakan material yang mulai banyak digunakan sebagai elemen struktur seperti balok dan juga kolom. Penggunaan baja canai dingin sebagai elemen struktur memerlukan suatu media penyambung, salah satunya adalah pelat buhul. Adapun, jenis pelat buhul yang dapat digunakan sebagai sambungan adalah pelat buhul jenis *haunched* dan juga *rectangular*. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian untuk membandingkan kinerja sambungan balok-kolom yang menggunakan pelat buhul jenis *rectangular* dengan panjang pelat 600 mm yang akan dibandingkan dengan kinerja sambungan yang menggunakan pelat buhul jenis *haunched* dengan panjang pelat 600 mm. Setelah membandingkan kinerja antar jenis pelat buhul yang berbeda, akan dilakukan pengujian untuk membandingkan kinerja sambungan pelat buhul jenis *haunched* terhadap variasi panjang yang berbeda, yaitu 550 mm dan 650 mm. Adanya perbedaan jenis dan ukuran pelat buhul yang digunakan sebagai sambungan balok-kolom berpengaruh terhadap nilai beban maksimum yang mampu dicapai oleh struktur, serta nilai perpindahan yang dicapai. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program ANSYS *Workbench* 2022. Berdasarkan analisis diperoleh bahwa kinerja sambungan balok-kolom dengan variasi panjang pelat buhul jika diurutkan dari yang terendah, yaitu sambungan pelat buhul *rectangular* dengan panjang pelat 600 mm, sambungan pelat buhul *haunched* dengan panjang 550 mm, sambungan pelat buhul *haunched* dengan panjang 600 mm, dan yang memiliki kinerja paling baik adalah sambungan pelat buhul *haunched* dengan panjang 650 mm.

Kata Kunci: Sambungan Balok-Kolom, Baja Canai Dingin, Pelat Buhul *Haunched*, Panjang Pelat Buhul.

Palembang, Maret 2024

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,

Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

THE ANALYSIS OF BEAM-COLUMN JOINTS PERFORMANCE USING COLD-FORMED STEEL WITH VARIATIONS OF HAUNCHED GUSSET PLATE LENGTH IN BEARING MONOTONIC LOADS

Ryo Agustinus Muliawan¹⁾, Saloma²⁾, Siti Aisyah Nurjannah³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: ryoagustinusmuliawan@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: salomaunsri@gmail.com

³⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
E-mail: sitiaisvahn@ft.unsri.ac.id

Abstract

Cold-formed steel is a material that is starting to be widely used as structural elements such as beams and columns. The use of cold-formed steel as a structural element requires a connecting medium, one of which is a gusset plate. Meanwhile, the types of gusset plates that can be used as connections are haunched and rectangular gusset plates. In this research, tests were carried out to compare the performance of beam-to-column connections using rectangular type gusset plates with a plate length of 600 mm which will be compared with the performance of connections using haunched type gusset plates with a plate length of 600 mm. After comparing the performance between different types of gusset plates, tests will be carried out to compare the performance of the gusset plate connection type with different length variations, namely 550 mm and 650 mm. The differences in type and size of gusset plates used as beam-to-column connections affect the maximum load value that the structure can achieve, as well as the displacement value achieved. The analysis was carried out using the finite element method with the help of the ANSYS Workbench 2022 program. Based on the analysis, it was found that the performance of beam-to-column connections with varying gusset plate lengths was sorted from the lowest, namely rectangular gusset plate connections with a plate length of 600 mm, the haunched gusset plate connection with a length of 550 mm, the haunched gusset plate connection with a length of 600 mm, and the one that has the best performance is the haunched gusset plate connection with a length of 650 mm.

Key Words: Beam-to-Column Joint, Cold-Formed Steel, Haunched Gusset Plate, Gusset Plate Length.

Palembang, Maret 2024

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

NIP. 197705172008012039

Mengetahui/Menyetujui

Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.

NIP. 197610312002122001

RINGKASAN

ANALISIS KINERJA *JOINT* BALOK-KOLOM MENGGUNAKAN BAJA CANAI DINGIN DENGAN VARIASI PANJANG *HAUNCHED GUSSET PLATE* TERHADAP BEBAN MONOTONIK

Karya tulis ilmiah berupa tugas akhir, 8 Maret 2024

Ryo Agustinus Muliawan; Dibimbing oleh Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. dan Dr. Ir.

Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

xxiii+ 99 halaman, 77 gambar, 17 tabel, dan 4 lampiran

Baja canai dingin merupakan material yang mulai banyak digunakan sebagai elemen struktur seperti balok dan juga kolom. Penggunaan baja canai dingin sebagai elemen struktur memerlukan suatu media penyambung, salah satunya adalah pelat buhul. Adapun, jenis pelat buhul yang dapat digunakan sebagai sambungan adalah pelat buhul jenis *haunched* dan juga *rectangular*. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian untuk membandingkan kinerja sambungan balok-kolom yang menggunakan pelat buhul jenis *rectangular* dengan panjang pelat 600 mm yang akan dibandingkan dengan kinerja sambungan yang menggunakan pelat buhul jenis *haunched* dengan panjang pelat 600 mm. Setelah membandingkan kinerja antar jenis pelat buhul yang berbeda, akan dilakukan pengujian untuk membandingkan kinerja sambungan pelat buhul jenis *haunched* terhadap variasi panjang yang berbeda, yaitu 550 mm dan 650 mm. Adanya perbedaan jenis dan ukuran pelat buhul yang digunakan sebagai sambungan balok-kolom berpengaruh terhadap nilai beban maksimum yang mampu dicapai oleh struktur, serta nilai perpindahan yang dicapai. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program ANSYS *Workbench* 2022. Berdasarkan analisis diperoleh bahwa kinerja sambungan balok-kolom dengan variasi panjang pelat buhul jika diurutkan dari yang terendah, yaitu sambungan pelat buhul *rectangular* dengan panjang pelat 600 mm, sambungan pelat buhul *haunched* dengan panjang 550 mm, sambungan pelat buhul *haunched* dengan panjang 600 mm, dan yang memiliki kinerja paling baik adalah sambungan pelat buhul *haunched* dengan panjang 650 mm.

Kata Kunci: Sambungan Balok-Kolom, Baja Canai Dingin, Pelat Buhul *Haunched*, Panjang Pelat Buhul.

SUMMARY

THE ANALYSIS OF BEAM-COLUMN JOINTS PERFORMANCE USING COLD-FORMED STEEL WITH VARIATIONS OF HAUNCHED GUSSET PLATE LENGTH IN BEARING MONOTONIC LOADS

Scientific papers in the form of Final Projects, 8th March 2024

Ryo Agustinus Muliawan; Guide by Advisor Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. and Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xxiii+ 99 pages, 77 pictures, 17 tables, and 4 attachments

Cold-formed steel is a material that is starting to be widely used as structural elements such as beams and columns. The use of cold-formed steel as a structural element requires a connecting medium, one of which is a gusset plate. Meanwhile, the types of gusset plates that can be used as connections are haunched and rectangular gusset plates. In this research, tests were carried out to compare the performance of beam-to-column connections using rectangular type gusset plates with a plate length of 600 mm which will be compared with the performance of connections using haunched type gusset plates with a plate length of 600 mm. After comparing the performance between different types of gusset plates, tests will be carried out to compare the performance of the gusset plate connection type with different length variations, namely 550 mm and 650 mm. The differences in type and size of gusset plates used as beam-to-column connections affect the maximum load value that the structure can achieve, as well as the displacement value achieved. The analysis was carried out using the finite element method with the help of the ANSYS Workbench 2022 program. Based on the analysis, it was found that the performance of beam-to-column connections with varying gusset plate lengths was sorted from the lowest, namely rectangular gusset plate connections with a plate length of 600 mm, the haunched gusset plate connection with a length of 550 mm, the haunched gusset plate connection with a length of 600 mm, and the one that has the best performance is the haunched gusset plate connection with a length of 650 mm.

Key Words: Beam-to-Column Joint, Cold-Formed Steel, Haunched Gusset Plate, Gusset Plate Length.

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ryo Agustinus Muliawan

Nim : 03011382025115

Judul : Analisis Kinerja *Joint* Balok-Kolom Menggunakan Baja Canai
Dingin dengan Variasi Panjang *Haunched Gusset Plate* terhadap
Beban Monotonik

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



RYO AGUSTINUS MULIAWAN

NIM. 03011382025115

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul "**Analisis Kinerja *Joint* Balok-Kolom menggunakan Baja Canai Dingin dengan Variasi Panjang *Haunched Gusset Plate* terhadap Beban Monotonik**" yang disusun oleh Ryo Agustinus Muliawan, NIM. 03011382025115 telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 8 Maret 2024.

Palembang, 8 Maret 2024

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir

Ketua:

1. Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001
2. Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T.
NIP. 197705172008012039

Anggota:

3. Dr. Ir. K. M. Aminuddin, S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng.
NIP. 197203141999031006

Palembang, 15 Maret 2024

Mengetahui,

Pih. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T
NIP. 197502112003121002



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah ini berupa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kinerja *Joint Balok Kolom* Menggunakan Baja Canai Dingin dengan Variasi Panjang *Haunched Gusset Plate* terhadap Beban Monotonik” yang disusun oleh Ryo Agustinus Muliawan, NIM. 03011382025115 telah dipertahankan di depan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 8 Maret 2024.


Palembang, 8 Maret 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing:

1. Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T. ()
NIP. 197610312002122001
2. Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T. ()
NIP. 197705172008012039

Dosen Penguji:

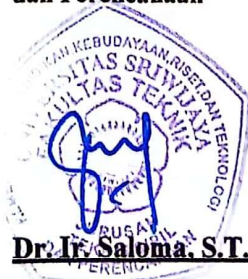
3. Dr. Ir. K. M. Aminuddin, S.T., M.T.,
IPM, ASEAN. Eng. ()
NIP. 197203141999031006

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

**Ketua Jurusan Teknik Sipil
dan Perencanaan**

Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002


Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ryo Agustinus Muliawan

NIM : 03011382025115

Judul : Analisis Kinerja *Joint* Balok-Kolom Menggunakan Baja Canai
Dingin dengan Variasi Panjang *Haunched Gusset Plate* terhadap
Beban Monotonik

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun tidak dipublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Maret 2024



Ryo Agustinus Muliawan

NIM. 03011382025115

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

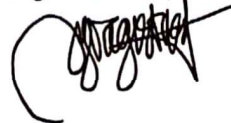
Nama Lengkap : Ryo Agustinus Muliawan
Tempat, Tanggal Lahir : Palembang, 21 Agustus 2003
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Agama : Buddha
Nomor HP : 0895631679081
E-mail : ryoagustinusmuliawan@gmail.com

Riwayat Pendidikan :

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Pendidikan	Masa
SD Indriasana Palembang	-	-	SD	2009-2015
SMP Xaverius Maria Palembang	-	-	SMP	2015-2017
SMA Xaverius 1 Palembang	-	IPA	SMA	2017-2020
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	S1	2020-2024

Demikian riwayat hidup penulis yang dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat,



Ryo Agustinus Muliawan
NIM. 03011382025115

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, sangat banyak proyek konstruksi bangunan yang sedang berjalan terutama di Indonesia. Mengingat kondisi Indonesia yang memiliki riwayat gempa yang cukup sering, tentunya perlu dilakukan perancangan yang baik untuk bangunan yang akan dibangun di Indonesia. Setiap struktur utama yang dimiliki oleh bangunan haruslah dirancang sedemikian rupa agar dapat memikul beban yang muncul pada saat bangunan digunakan, terkhususnya ketika terjadi bencana alam seperti gempa. Setiap struktur utama seperti pelat lantai, balok, kolom, dan juga pondasi haruslah mampu untuk memikul beban yang ada pada bangunan yang dirancang. Pada umumnya, struktur bangunan ini biasanya dibuat dengan material berupa beton, namun pada saat ini juga sudah cukup banyak struktur bangunan yang menggunakan material berupa rangka baja.

Rangka baja sendiri merupakan material konstruksi yang umum digunakan pada saat ini, karena sifat materialnya yang cukup ringan namun tetap memiliki kekuatan yang baik. Material baja yang umum digunakan pada proyek konstruksi sendiri dapat dibuat dengan dua metode yaitu metode *hot-rolled* (canai panas) dan juga *cold-formed* (canai dingin). Selain dari perbedaan metode produksi kedua jenis material baja ini, keduanya memiliki karakteristik dan fungsi yang juga berbeda satu sama lain. Material baja yang dibentuk dengan proses *cold-formed* cenderung lebih kuat dan dapat dibentuk dengan ukuran yang lebih akurat dibandingkan dengan baja yang dibentuk dengan metode *hot-rolled*. Material baja yang dibentuk dengan proses canai dingin ini juga cukup umum digunakan dalam proyek konstruksi baik berupa balok, kolom, rangka atap, dan juga gording karena memiliki ukuran profil baja yang dimensinya lebih presisi dan juga permukaan yang lebih halus.

Setiap komponen struktur akan meneruskan beban yang diterima menuju ke struktur lain yang ada di bawahnya. Proses distribusi beban akan dimulai dari struktur atas bangunan yang mendistribusikan beban menuju ke pelat lantai,

kemudian diteruskan ke balok, kolom, hingga sampai ke pondasi. Adapun dalam struktur balok dan kolom yang ada, diperlukan adanya suatu sambungan berupa *joint* balok-kolom untuk memberikan kekuatan tambahan bagi struktur balok dan kolom agar dapat memiliki kekuatan yang diperlukan untuk menahan beban yang ada pada bangunan, terutama ketika terjadinya gempa.

Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa salah satu komponen struktur yang cukup penting adalah *joint* balok-kolom. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai penggunaan material baja canai dingin sebagai material dari *joint* balok-kolom. Adapun *joint* balok-kolom ini divariasikan dengan variasi panjang *haunched gusset plate* berdasarkan referensi penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Aminuddin, 2021).

Penelitian ini akan melakukan pengujian menggunakan metode elemen hingga (FEM) menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench* untuk menguji kinerja *joint* balok-kolom dengan variasi panjang *haunched gusset plate*. Dimensi *gusset plate* yang digunakan mengacu pada penelitian (Aminuddin, 2021), dimana untuk variabel kontrol akan dipakai *rectangular gusset plate* dengan ukuran panjang 600 mm. Kemudian, variasi ini akan ditambahkan untuk menguji variasi panjang *haunched gusset plate* dengan variasi panjang 550 mm, 600 mm, dan 650 mm.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang mampu dirumuskan berdasarkan latar belakang tersebut sebagai berikut.

1. Bagaimana metode analisis kinerja *joint* balok-kolom menggunakan baja canai dingin dengan variasi panjang *haunched gusset plate* terhadap beban monotonik menggunakan program ANSYS *Workbench*?
2. Bagaimana hasil analisis kinerja *joint* balok-kolom menggunakan baja canai dingin dengan variasi panjang *haunched gusset plate* terhadap beban monotonik menggunakan program ANSYS *Workbench*?
3. Bagaimana perbandingan hasil pengujian eksperimental dan hasil analisa menggunakan program ANSYS *Workbench*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun, penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut.

1. Mengetahui dan menganalisis perilaku *joint* balok-kolom baja canai dingin dengan variasi panjang *haunched gusset plate*.
2. Mengetahui dan menerapkan metode pengujian beban monotonik menggunakan program ANSYS *Workbench* pada *joint* balok-kolom baja canai dingin dengan variasi panjang *haunched gusset plate*.
3. Mengetahui dan menganalisis perilaku *joint* balok-kolom baja canai dingin dengan variasi panjang *haunched gusset plate* sebagai akibat dari beban monotonik.
4. Mengetahui dan membandingkan hasil pengujian eksperimental dan analisa menggunakan program ANSYS *Workbench*.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun penelitian ini memiliki cakupan ruang lingkup sebagai berikut.

1. Pemodelan *joint* balok-kolom memiliki bentuk tiga dimensi yang didapat berdasarkan penelitian terdahulu oleh (Aminuddin, dkk., 2021).
2. Material yang dianalisis merupakan material baja canai dingin yang menggunakan data *properties* berupa data sekunder berdasarkan penelitian terdahulu oleh (Aminuddin, dkk., 2021).
3. Analisa yang dilakukan terbatas pada metode *finite element method* (FEM) yang dikerjakan dengan program *Ansys Workbench*.
4. Pemodelan *joint* balok-kolom pada program ANSYS menggunakan material pada *Engineering Data Ansys Workbench* yang diinput dengan *data properties* material baja canai panas dan baja canai dingin.
5. Pemodelan struktur yang digunakan pada penelitian terdiri dari empat buah model, berupa *joint* balok-kolom dengan tipe sambungan *rectangular gusset* dan *haunched gusset plate* dengan rincian model RP1 ($L_g = 600$ mm) untuk *rectangular gusset plate*, serta HP1 ($L_g = 550$ mm), HP2 ($L_g = 600$ mm), dan HP3 ($L_g = 650$ mm) untuk *haunched gusset plate*.
6. Pembebanan yang dikerjakan pada model berupa beban monotonik.

7. Parameter yang diuji berupa kontur tegangan, kontur perpindahan, daktilitas, kekakuan, degradasi kekakuan, dan energi disipasi.

1.5 Sistematika Penulisan Laporan

Adapun untuk sistematika penulisan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kinerja *Joint* Balok-Kolom Menggunakan Baja Canai Dingin dengan Variasi Panjang *Haunched Gusset Plate* Terhadap Beban Monotonik” mencakup beberapa hal sebagai berikut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan bagian latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan bagian literatur dan kajian berupa jurnal, buku-buku, atau kajian literatur lainnya yang digunakan sebagai sumber literatur untuk menjadi landasan dan pendukung dari penelitian yang dilakukan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan bagian sistematika pengerjaan penelitian meliputi studi literatur, alur penelitian, pemodelan struktur hingga analisis hasil.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dari penelitian yang dilakukan. Selanjutnya akan dilakukan analisis dan perbandingan mengenai hasil pengujian terhadap penelitian terdahulu sebagai verifikasi pemodelan. Analisis kinerja berbagai variasi *haunched gusset plate* yang mempengaruhi kinerja *joint* balok-kolom.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dan juga saran yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini terdapat daftar sumber-sumber literatur yang digunakan sebagai referensi atau acuan dari penelitian yang dilakukan, meliputi buku, jurnal, laporan terdahulu, ataupun sumber literatur lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminuddin, K. M., Saggaff, A., & Tahir, M. M. (2017, November). Experimental behaviour of beam-column connection using cold-formed steel sections with rectangular gusset-plate. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1903, No. 1). AIP Publishing.
- Aminuddin, K. M., Saggaff, A., & Tahir, M. M. (2019). Structural Behaviour Of Slip-In Gusset Plate Connection For Double Lipped Channel Cold Formed Steel Using Partial Strength Connection.
- Aminuddin, K. M., Saggaff, A., Tahir, M. M., Ngian, S. P., Sulaiman, A., Firdaus, M., & Salih, M. N. (2020, May). Behaviour of rectangular gusset plate with angle cleat connections for cold-formed steel section. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 849, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
- Aminuddin, K., Saggaff, A., Tahir, M. M., & Firdaus, M. (2021). *SAMBUNGAN BALOK KOLOM BAJA CANAI DINGIN*. Yogyakarta: Deepublish.
- Andika, D., & Tediando, L. S. (2021). ANALISIS PENGARUH BENTUK PROFIL TERSUSUN TERHADAP GAYA TEKAN PADA BAJA CANAI DINGIN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 491-502.
- ANSYS Inc. 2013. ANSYS Mechanical APDL Introductory Tutorials. *United States of America*.
- Araby, M. Z., Rizal, S., Afifuddin, M., & Abdullah, A. (2021). ANALISIS PERLAKUAN *JOINT* BALOK KOLOM TERHADAP BEBAN SIKLIK DENGAN PENAMBAHAN SENGGANG PADA *JOINT* SESUAI SK SNI T-15-1991-03. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan* 4(2), 49-59.
- Asih, T. S., Waluya, S. B., & Supriyono. (2018). PERBANDINGAN FINITE DIFFERENCE METHOD AND FINITE ELEMENT METHOD DALAM Mencari Solusi Persamaan Diferensial Parsial. *Prisma*, 886.
- Budiman, H. (2016). ANALISIS PENGUJIAN TARIK (TENSILE TEST) PADA BAJA ST37 DENGAN ALAT BANTU UKUR LOAD CELL. *Jurnal J-Ensitec: Vol 03, No.01*, 9-13.

- Decanini, L. 2005. Estimation of Near-Source Ground Motion and Seismic Behaviour of RC Framed Structures Damaged by The 1999 Athens Earthquake. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 9 No. 5 (609-635).
- Dewobroto, W., 2009, *Pengaruh Bentuk dan Ukuran Washer (Ring) pada Perilaku Sambungan Baut Mutu Tinggi dengan Pretensioning di Baja Cold-Rolled*, Bandung (*unpublished*): Disertasi pada Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.
- FEMA 356. 2000. Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington DC: Federal Emergency Management Agency.
- Firdaus, M., Saggaff, A., Tahir, M. M., Aminuddin, K. M., Ngian, S. P., & Siang, T. C. (2020). Behavior of partial strength of beam-to-column connection with gusset plate for cold-formed steel sections. *ASEAN Engineering Journal*, 10(2), 99-114.
- Firdaus, M., Saggaff, A., Tahir, M. M., & Poi, S. (2020). Experimental Study of Combined Gusset Plate with Flange Web Cleat Connection in Sustainable, Isolated and Sub-Assemblage of Cold-Formed Steel. *Journal of Green Engineering*, 10, 13132-13149.
- Gherzi, A., R. Londolfo and F.M.Mazzolani (2014). Design of metallic cold-formed thin-walled members, CRC Press.
- Lesmanah, U., Marsyahyo, E., & Vitasari, P. (2013). OPTIMASI SIFAT MEKANIS KEKUATAN TARIK BAJA ST 50 DENGAN PERLAKUAN GAS CARBURIZING VARIASI HOLDING TIME UNTUK PENINGKATAN MUTU BAJA STANDAR UJI ASTM A370. *Jurnal Mekanikal*, Vol.4, No.21, 366-375.
- Logan, D. L. (2015). A First Course in the Finite Element Method, Sixth Edition, Cengage Learning.
- Nawy, E. G. (1996). *Prestressed concrete. A fundamental approach* (No. Second Edition).
- Pala'biran, O. A., Windah, R. S., & Pandaleke, R. (2019). PERHITUNGAN LENDUTAN BALOK TAPER KANTILEVER DENGAN MENGGUNAKAN SAP2000. *Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.8*, 1039-1048.

- Papargyriou, I., Mojtabaei, S. M., Hajirasouliha, I., Becque, J., & Pilakoutas, K. (2022). Cold-formed steel beam-to-column bolted connections for seismic applications. *Thin-Walled Structures*, 172, 108876.
- Pisarek, Z. (2018). Approximated Method for Determining Moment Resistance and Stiffness of Bolted Beam to Column *Joints* Made with Angle Web and Flange Cleats. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*.
- Riadi, Y., & Tedianto, L. S. (2019). ANALISIS KEGAGALAN WHITMORE SECTION DAN BLOCK SHEAR PADA PELAT BUHUL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA. *Jurnal Mitra Teknik Sipil Vol.02, No.3*, 237-244.
- Setiawan, A. (2012). ANALISIS HUBUNGAN BALOK KOLOM BETON BERTULANG PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG DRPD-BALAI KOTA DKI JAKARTA. *ComTech : Computer, Mathematics and Engineering Applications* 3(1), 711-717.
- SNI 2847. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Editor.
- Vermont Timber Works, 2012, *Billing Farm Theater Project Drawing*, Vermont Timber Works, Inc.
- Wang et. al, Chu Kia, 1993, *Reinforcement Concreate Design Fourth Edition*, PT Glora Aksara Pratama, Jakarta