

**TUGAS AKHIR**

**PENGGUNAAN PROFIL CASTELLA  
SEBAGAI ALTERNATIF DESAIN GIRDER  
PADA JEMBATAN PAMIJAAN  
KECAMATAN LAHEI KABUPATEN BARITO UTARA**

**oleh**

**AKHMAD MAULANA RIFANI  
NIM. DAB 115 035**



**JURUSAN / PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA  
PALANGKA RAYA  
2020**



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA  
FAKULTAS TEKNIK

Alamat : Kampus UPR Tanjung Nyaho Jalan Yos Sudarso Kotak Pos 2PLKUP Palangka Raya 73111 A Kalimantan Tengah - INDONESIA  
Telepon/Fax : +62 536-3228467. Email : www.upr.ac.id e-mail : dekan@eng.upr.ac.id

**BERITA ACARA UJIAN AKHIR**

Nomor: 901 /UN24.6.2/EP/2019

Pada hari ini Selasa Tanggal Tujuh Belas Bulan Desember Tahun Dua Ribu Sembilan Belas, sudah dilaksanakan Ujian Akhir Program Sarjana Teknik ( S.T. ), terhadap mahasiswa :

Nama : **AKHMAD MAULANA RIFANI**  
N.I.M : DAB 115 035  
Jenjang / Prog. Studi : S-1 / Teknik Sipil  
Judul Tugas Akhir : Penggunaan Profil Castella Sebagai Alternatif Desain Girder Pada Jembatan Pamijaan Kecamatan Lahei Kabupaten Barito Utara.

dengan hasil Nilai Akhir : 81,1 ( A )

IP kumulatif : 3,52 ( memuaskan; sangat memuaskan; cum laude \*)

mahasiswa yang bersangkutan dinyatakan : LULUS / TIDAK LULUS \*)

Tim Penguji:

1. FRANCISCO H.R.H. BARU, S.T., M.Si  
NIP 197404201999031002
2. OKTA MEILAWATY, S.T., M.T.  
NIP 197705052005012022
3. Ir. MARYANTO, M.T.  
NIP 196603081993021001
4. LILIANA, S.T., M.T.  
NIP 197002211994032001
5. Ir. LILIK HERMAWAN, M.T.  
NIP 195712211992031001



Mengetahui / Membenarkan  
Jurusan/Program Studi Teknik Sipil  
Ketua

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.  
NIP. 197806082005011003

Keterangan:  
\*) coret yang tidak perlu

IPK: 2,76-3,00 (memuaskan); 3,01-3,50 (sangat memuaskan); > 3,50 (cum laude)

Konversi nilai:  
80-100 (A); 75-79,99 (B+); 70-74,99 (B); 65-69,99 (C+); 60-64,99 (C); 40-59,99 (D); < 40 (E)

## RINGKASAN

**PENGGUNAAN PROFIL CASTELLA SEBAGAI ALTERNATIF DESAIN GIRDER PADA JEMBATAN PAMIJAAN KECAMATAN LAHEI KABUPATEN BARITO UTARA**, Akhmad Maulana Rifani, 2019, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Profil castella adalah salah satu hasil rekayasa struktur penampang baja, dimana profil castella merupakan hasil pemotongan dan penyambungan kembali profil IWF standar pabrikasi sehingga menghasilkan bukaan berbentuk segi enam yang mengakibatkan tinggi profil akan bertambah seiring besarnya lubang bukaan yang direncanakan. Namun bagaimana jika profil castella dijadikan sebagai girder untuk sebuah jembatan girder komposit dengan bentang pendek dan lebar efektif yang relatif sempit seperti perencanaan jembatan Pamijaan, Desa Lahei I, Kecamatan Lahei, Kabupaten Barito utara dengan harapan girder castella ini mampu menahan tegangan yang lebih besar, lendutan yang lebih kecil dan berat profil yang lebih ringan daripada girder eksisting Jembatan Pamijaan.

Tugas akhir ini bertujuan mendesain ulang sebuah girder berjenis castella dengan mengetahui *section properties* dari girder, menghitung pembebanan sesuai dengan SNI 1725-2016 yang menghasilkan tegangan dan lendutan pada tiap tiap desain girder sampai memperoleh desain girder castella terbaik. Mutu baja, mutu beton, beban rencana, lalu lintas, serta data-data perencanaan lainnya tidak mengalami perubahan.

Berdasarkan proses perhitungan diperoleh desain girder castella terbaik yaitu CB 521.199.7.11 yang mampu memperbesar momen inersia 67,54% , mereduksi berat profil sebesar 1,60%, meningkatkan modulus penampang 42,45% , mereduksi tegangan pada penampang beton sebanyak 45,79% , mereduksi tegangan pada atas girder sebesar 85,88%, mereduksi tegangan bawah girder sebesar 21,28% dan memperkecil lendutan sebanyak 52,03% dari girder IWF 294.200.8.12 eksisting.

**Kata Kunci** : Castella, Girder, *Section Properties*, Tegangan, Lendutan.

## SUMMARY

**CASTELLATED PROFILE AS AN ALTERNATIVE DESIGN FOR GIRDER IN PAMIJAAN COMPOSITE GIRDER BRIDGE, SUB- DISCTRIC OF LAHEI, BARITO UTARA REGENCY**, Akhmad Maulana Rifani, 2019, Civil Engineering Study prorgam, University of Palangka Raya.

Castellated profile was a latest technology of fabricated structural steel design, result of cutting and re-welding from standard IWF beam, made hexagon web opening along web span, and increase the height of profile. But, what if castellated profile used as a girder for composite girder bridge with short span and narrow effective width such as Pamijaan composite girder bridge on sub-district of lahei, Barito Utara Regency and made the castellated girder design withstand bigger stress, smaller deflection and lighter of weight profile than IWF existing girder.

This final project purposed redesign existing IWF girder into castellated girder by knowing the section properties, re-calculated the load combination on bridge by referring to SNI 1725-2016 regulations, wich produces tension and deflection scale in each castellated beam design. In this case, the quality of structural steel, quality of concrete and the others bridge planing data have not changed from the existing.

Based on the calculation process, the best castellated girder design was CB.521.199.7.11., and could increased moment of inertia until 67,54%, reduced the weight until 1,60%, increased modulus section until 42,45%, reduce of concrete compressed 45,79%, reduce of top girder section compressed 85,88%, reduce of bottom girder section until 21,28% and reduce of deflection until 52,03% than existing IWF girder.

**Keyword** : Castellated, Girder, Section Properties, Compressed, Deflection.

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan penyusunan Proposal Tugas Akhir ini sehingga dapat diseminarkan dan ditinjau kembali untuk diperbaiki.

Tugas Akhir dengan judul “PENGUNAAN PROFIL CASTELLA SEBAGAI ALTERNATIF DESAIN GIRDER PADA JEMBATAN PAMIJAAN KECAMATAN LAHEI KABUPATEN BARITO UTARA” disusun sebagai salah satu syarat yang dilaksanakan untuk menyelesaikan studi Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Pada Kesempatan ini diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan P. Silitonga, S.T.P, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Tatau Wijaya Garib, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Ibu Veronika Happy P., ST., M.T., selaku Sekretaris Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.

7. Ibu Murniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Bapak Fransisco H.R.H. Baru, S.T., M.Si. selaku Dosen Penguji I dan Pembimbing I Tugas Akhir.
9. Ibu Okta Meilawaty, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II dan Pembimbing II Tugas Akhir.
10. Bapak Ir. Maryanto, M.T. selaku Dosen Penguji III Tugas Akhir.
11. Ibu Liliana Sahay, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji IV Tugas Akhir.
12. Bapak Ir. Lilik Hermawan, M.T. selaku Dosen Penguji V Tugas Akhir.
13. Seluruh Tim Pelaksana Bidang Bina Marga Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Barito Utara.
14. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta seluruh Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
15. Orang Tua, Keluarga, dan Teman-teman Teknik Sipil Universitas Palangka Raya Angkatan 2015

Akhir kata dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan adanya segala kekurangan dalam penyajian Tugas Akhir ini diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan di masa akan datang. Terima kasih.

Palangka Raya, Desember 2019

**AKHMAD MAULANA RIFANI**  
DAB 115 035

## DAFTAR ISI

<b>RINGKASAN</b> .....	i
<b>SUMMARY</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Definisi Jembatan .....	6
2.2 Klasifikasi Jembatan.....	6
2.2.1 Klasifikasi Jembatan Menurut Bina Marga .....	6
2.2.2 Klasifikasi Jembatan Menurut Material Penyusun.....	7
2.3 Bagian-Bagian Struktur Jembatan Girder Komposit.....	8
2.4 Pembebanan Pada Jembatan Menurut SNI 1725 Tahun 2016 ....	10
2.4.1 Beban Mati ( <i>Dead Load</i> ) .....	10
2.4.2 Berat Sendiri (MS) .....	11
2.4.3 Beban Mati Tambahan .....	12
2.4.4 Beban Lajur “D” (TD) .....	12
2.4.5 Gaya Rem (TB).....	15
2.4.6 Beban Angin .....	16
2.4.7 Pengaruh Gempa .....	19

2.5	Kombinasi Pembebanan Pada Jembatan Girder Komposit .....	22
2.6	Girder Castella.....	23
2.6.1	<i>Section Properties</i> Girder Castella .....	25
2.5.2	Kekuatan dan Perilaku Girder Castella .....	28
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>		
3.1	Lokasi Jembatan .....	31
3.2	Data Fisik dan Data Teknis Jembatan .....	32
3.3	Metode Pengumpulan Data .....	33
3.4	Alternatif Desain Girder Menggunakan Girder Castella.....	34
3.5	Studi Literatur.....	35
3.6	Keaslian Penelitian .....	35
3.7	Bagan Alir Penelitian .....	37
<b>BAB IV ANALISIS DATA</b>		
4.1	Desain Girder Castella.....	39
4.1.1	Desain Girder Castella.....	40
4.1.2	Rekapitulasi dan Pembahasan <i>Section Properties</i> Desain Girder Castella.....	42
4.2	Perhitungan Jembatan Girder Komposit .....	47
4.3	Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Serta Lendutan Pada Girder Eksisitng dan Girder Castella Hasil Desain.....	66
<b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan.....	80
5.2	Saran .....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR TABEL

2.1	Berat Isi untuk Beban Mati .....	11
2.2	Faktor Beban untuk Berat Sendiri.....	11
2.3	Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan .....	12
2.4	Faktor Beban untuk Beban Lajur “D” .....	12
2.5	Tekanan Angin Dasar .....	16
2.6	Tekanan Angin Dasar untuk Berbagai Sudut Serang .....	17
2.7	Komponen Beban Angin yang Bekerja Pada Kendaraan .....	19
2.8	Faktor Modifikasi Respon (Rd) untuk Elemen Struktur.....	21
2.9	Kombinasi Pembebanan yang Digunakan Pada Jembatan Girder Komposit .....	22
3.1	Data Fisik dan Data Teknis Jembatan Girder Komposit Pamijaan.....	32
3.2	Data Profil Girder dan Diafragma .....	33
3.3	Keaslian Penelitian.....	35
4.1	Data Fisik Profil IWF 294.200.8.12 (Eksisting) .....	39
4.2	Data Profil CB 446.199.7.11.....	41
4.3	Perbandingan Profil Girder Eksisting dan Profil Bahan Pembuat Girder Castella .....	42
4.4	Hasil Perhitungan <i>Section Properties</i> Desain Girder Castella.....	42
4.5	Rekapitulasi Hasil Perbandingan <i>Section Properties</i> Girder Eksisting Terhadap Girder Castella dengan Variasi Tinggi Bukaannya .....	48
4.6	Data Perencanaan Jembatan Pamijaan.....	48
4.7	Data Girder Eksisting dan Diafragma Jembatan Pamijaan.....	49
4.8	Perhitungan Beban Mati Sebelum Komposit Eksisting .....	52
4.9	Perhitungan Berat Sendiri (MS) Eksisting.....	54
4.10	Perhitungan Beban Mati Tambahan Eksisting.....	54
4.11	Faktor Modifikasi Respon (Rd) untuk Hubungan Antar Elemen Struktur	59
4.12	Tegangan yang Terjadi Pada Girder Komposit Eksisting.....	61

4.13	Tegangan Komposit Pada Kombinasi Kuat I Eksisting.....	61
4.14	Tegangan Komposit Pada Kombinasi Kuat II Eksisting .....	61
4.15	Tegangan Komposit Pada Kombinasi Kuat III Eksisting .....	62
4.16	Tegangan Komposit Pada Kombinasi Kuat V Eksisting .....	62
4.17	Tegangan Komposit Pada Kombinasi Ekstrem I Eksisting .....	62
4.18	Tegangan Komposit Pada Kombinasi Ekstrem II Eksisting.....	63
4.19	Tegangan Komposit Pada Kombinasi Daya Layan I Eksisting .....	63
4.20	Tegangan Komposit Pada Kombinasi Daya Layan II Eksisting.....	63
4.21	Lendutan Maksimal Pada Girder Komposit Eksisting.....	64
4.22	Lendutan yang Terjadi Pada Girder Akibat Kombinasi Pembebanan Eksisting.....	64
4.23	Gaya Geser Maksimal Pada Girder Akibat Kombinasi Pembebanan.....	65
4.24	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Pada Girder Sebelum Komposit.....	66
4.25	Rekapitulasi Tegangan yang Terjadi Setelah Komposit Pada Atas Beton .....	68
4.26	Rekapitulasi Tegangan yang Terjadi Setelah Komposit Pada Atas Girder .....	70
4.27	Rekapitulasi Tegangan yang Terjadi Setelah Komposit Pada Bawah Girder .....	73
4.28	Rekapitulasi Lendutan yang Terjadi Pada Girder Akibat Kombinasi Pembebanan .....	76

## DAFTAR GAMBAR

1.1	Potongan Melintang Jembatan Pamijaan Kecamatan Lahei Kabupaten Barito Utara.....	1
1.2	Profil Castella.....	3
2.1	Potongan Melintang Jembatan Girder Komposit.....	9
2.2	Beban Lajur “D” .....	13
2.3	Momen Lentur Positif Pada Bentang 1,3,5 .....	14
2.4	Momen Lentur Positif Pada Bentang 2,4 .....	14
2.5	Momen Lentur Negatif Pada Pilar .....	15
2.6	Peta Percepatan Puncak Batuan Dasa (PGA) untuk Probabilitas Terlampai 7% dalam 75 Tahun .....	21
2.7	Bagian-bagian dari Profil Castella .....	23
2.8	Proses Pemotongan dan Penyambungan Profil Castella.....	24
2.9	Dimensi Castella .....	25
2.10	Struktur Castella Komposit.....	26
2.11	Potongan Penampang Profil Castella.....	28
2.12	Momen maksimum akibat pembebanan terpusat pada tengah bentang dan akibat beban merata.....	28
2.13	Potongan Penampang girder setelah komposit .....	29
2.14	Lendutan akibat pembebanan terpusat pada tengah bentang dan akibat beban merata.....	30
3.1	Lokasi Kegiatan Pembangunan Jembatan Penyebrangan Muara Teweh- Jingah .....	31
3.2	Bagan Alir Penelitian.....	37
4.1	Desain Girder Castella Lebar Bukaannya 100 mm .....	40
4.2	Penampang Komposit .....	50
4.3	Momen Inersia Penampang Komposit.....	51
4.4	Tegangan Baja Sebelum Komposit.....	53

4.5	Beban Garis Terpusat Pada Jembatan.....	55
4.6	Distribusi Beban Garis Terpusat Pada Girder.....	56
4.7	Distribusi Beban Rem Pada Girder.....	57
4.8	Peta Percepatan Batuan Dasar Indonesia Siklus 75 Tahun.....	59
4.9	<i>Section Properties</i> Penampang Komposit .....	60
4.10	Grafik Tegangan yang Terjadi dan Tegangan Ijin Pada Girder Sebelum Komposit.....	66
4.11	Grafik Tegangan Komposit Pada Atas Girder .....	68
4.12	Grafik Tegangan Komposit Pada Atas Girder .....	71
4.13	Grafik Tegangan Komposit Pada Bawah Girder .....	73
4.14	Grafik Lendutan Pada Girder Akibat Kombinasi Pembebanan.....	76

## DAFTAR NOTASI

$A_{gross}$	= Luas penampang penuh (daerah tanpa lubang)
$A_{net}$	= Luas penampang bersih
$A_{tee}$	= Luas penampang tee
$C_{sm}$	= koefisien respon gempa elastis
$D$	= Tinggi awal profil
$D_c$	= Tinggi keseluruhan penampang <i>castella</i>
$D_{effect}$	= Jarak antara dua penampang tee
$d_{effect}$	= Jarak antar dua sumbu atas dan bawah <i>tee</i>
$D_o$	= Tinggi bukaan
$dt_{net}$	= Tinggi penampang tee
$e$	= jarak antara <i>solid-web</i> menuju titik berat
$EQ$	= Gaya gempa horizontal statis (KN)
$EW_1$	= Gaya angin pada kendaraan
$EW_s$	= Gaya angin pada struktur
$f$	= Faktor kombinasi beban
$g$	= Percepatan gravitasi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )
$I_{x_{gross}}$	= Inersia penampang penuh (tanpa bukaan)
$I_{x_{net}}$	= Inersia penampang di daerah lubang
$I_{x_{tee}}$	= Inersia penampang tee
$L$	= Panjang bentang
$P_B$	= Tekanan angin dasar
$P_D$	= Tekanan angin rencana
$q$	= Beban merata
$R_d$	= Faktor modifikasi respon
$S$	= Panjang
$S_{x_{gross}}$	= <i>Section modulus</i> plastis penampang penuh (tanpa bukaan)
$S_{x_{net}}$	= <i>Section modulus</i> plastis penampang di daerah lubang
$TB$	= Gaya rem

$t_c$	= tebal beton
TD	= Beban lajur “D”
$V_0$	= Kecepatan gesekan angin
$V_{10}$	= Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm diatas permukaan tanah / kecepatan angin diatas permukaan air rencana (km/jam)
$V_B$	= Kecepatan angin rencana (km/jam)
$V_{DZ}$	= Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam)
$V_r$	= Gaya geser
$W_t$	= Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (KN)
$Y_{tee}$	= Titik berat penampang tee
Z	= Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air
$Z_0$	= Panjang gesekan di hulu jembatan
$\alpha$	= Koefisien muai tempertatur
$\Delta$	= Besarnya lendutan
$\Delta_{ijin}$	= Batas lendutan yang diijinkan
$\sigma$	= Tegangan yang terjadi pada struktur
$\sigma_{ijin}$	= Tegangan izin
$\phi$	= Sudut potong <i>castellated beam</i>

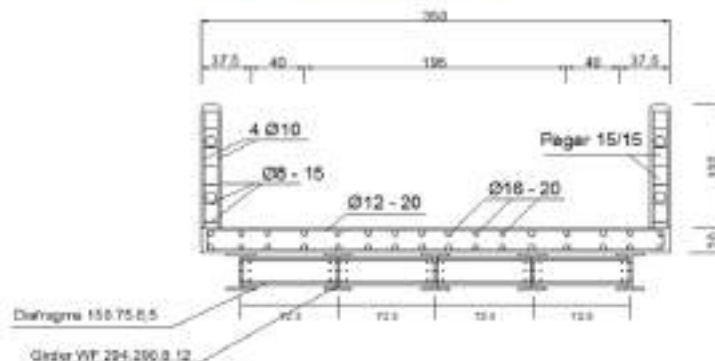
## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Karakteristik sungai di daerah hulu terdiri dari banyak aliran anak sungai yang sempit dan bercabang- cabang serta memiliki kedalaman tidak sampai 2 meter pada keadaan normal sehingga tidak memungkinkan menggunakan jalur transportasi air, oleh karena itu pembangunan jembatan sangat diperlukan untuk menghubungkan jalur transportasi darat yang menghubungkan antar desa.

Seperti Jembatan Pamijaan merupakan jembatan baja komposit yang terletak pada Desa Lahei I, Kecamatan Lahei Kabupaten Barito Utara, Kalimantan Tengah. Jembatan ini memiliki lebar total 3,5 m dengan bentang total 48 m, terbagi menjadi 8 segmen dengan panjang masing –masing segmen sepanjang 6 meter. Ditopang oleh 5 buah girder IWF 294.200.8.12 dengan jarak antar girder sebesar 725 mm, diberi batang pengaku (diafragma) setiap 2000 mm dengan dimensi diafragma UNP 150.75.6,5.



**Gambar 1.1 Potongan Melintang Jembatan Pamijaan  
Kecamatan Lahei , Kabupaten Barito Utara**

*Sumber : Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Barito Utara, 2018.*

Seiring dengan perkembangan ilmu rekayasa struktur, diciptakanlah sebuah desain profil baru sebagai pengganti penggunaan profil baja solid yang disebut dengan profil castella yaitu sebuah hasil pengembangan dari profil solid yang dipotong dengan sudut tertentu pada bagian *web* kemudian disambungkan kembali membentuk sebuah lubang bukaan pada *web* tersebut. Dibandingkan dengan profil baja solid, profil castella bisa menjadi solusi praktis dalam pengerjaan konstruksi, karena karakteristiknya yang cukup menguntungkan (Sangga, Parung, dan Akkas, 2013).



**Gambar 1.2 Profil Castella**

*Sumber : AISC Steel Design Guide 31 : Castellated And Cellular Beam Design, 2016*

Hayati dan Suprpto (2013), melakukan penelitian dengan profil baja solid menjadikan profil castella dengan sudut potongan  $60^\circ$  dan melakukan variasi terhadap tinggi bukaan. Dikatakan bahwa jika tinggi pemotongan profil ( $e$ ) melebihi  $\frac{1}{2} h$ , maka ada indikasi terjadi nilai *buckling* yang besar pada balok castella.

Saputro (2014) mengatakan bahwa profil tersebut dilubangi untuk memperkecil berat sendiri profil dan agar sambungan lasnya dapat lebih efektif dan efisien. Spesifikasi profil yang ditingkatkan kekuatan komponennya dengan memperpanjang kearah satu sama lain dan di las sepanjang pola. *Castellated beam* ini mempunyai sudut potong sebesar  $60^\circ$  dengan penambahan tinggi hampir 50% lebih tinggi dari profil awal sehingga meningkatkan nilai lentur axial, momen inersia dan *section modulus*.

Napitupulu dan Surbakti (2016) mengatakan kelebihan dari penggunaan profil castella ialah dapat memperbesar tinggi *web* dari profil semula sebelum dilakukan pemotongan, sehingga berat dengan dimensi yang sama akan lebih ringan daripada profil IWF150 menjadi Profil Castella dengan bukaan dengan bukaan 75 mm . Kelebihan lainnya ialah lebih tahan terhadap tekan aksial sentris dan mampu menahan beban kritis lebih besar daripada profil IWF.

Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian di atas, maka didalam penelitian ini akan dilakukan desain profil baja solid IWF menjadi profil castella dengan sudut potongan  $60^\circ$  dan melakukan variasi tinggi bukaan mulai dari 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm. Penelitian ini dilakukan meninjau pengaruh tinggi bukaan terhadap karakteristik penampang profil castella, tegangan, dan lendutan.

Desain jembatan komposit dengan girder menggunakan profil castella diharapkan menjadi solusi praktis dan ekonomis dan dapat dijadikan acuan untuk perencanaan jembatan yang memiliki desain yang hampir sama dengan jembatan girder komposit Desa Pamijaan, Kecamatan Lahei tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Menurut Latar belakang yang telah dituliskan, dapat ditarik rumusan masalah berupa :

1. Bagaimana pengaruh tinggi bukaan terhadap karakteristik penampang ?
2. Bagaimana pengaruh tinggi bukaan terhadap tegangan yang terjadi pada Jembatan Pamijaan secara teoritis?

3. Bagaimana pengaruh tinggi bukaan profil castella terhadap lendutan yang terjadi pada Jembatan Pamijaan ?
4. Bagaimana perbandingan girder castella dengan variasi tinggi bukaan dengan profil baja solid eksisting ?

### **1.3 Batasan Masalah**

1. Sudut potongan yang diambil dalam perencanaan profil castella ialah  $60^\circ$ .
2. Profil castella yang di desain sebanyak empat buah dengan tinggi bukaan 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm, dengan bahan dasar berupa profil solid IWF 396.199.7.11 yang memiliki luasan penampang hampir mendekati luasan girder eksisting namun memiliki momen inersia yang lebih besar.
3. Perhitungan yang dilakukan pada penelitian mencakup tegangan (tegangan sebelum komposit dan sesudah komposit) dan lendutan.
4. Perhitungan yang dilakukan hanyalah perhitungan teoritis tanpa melakukan permodelan di laboratorium.
5. Seluruh pembebanan akan dihitung berdasarkan SNI 1725 tahun 2016 tentang pembebanan pada jembatan.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besaran perubahan karakteristik penampang.
2. Mengetahui bagaimana tegangan yang terjadi pada girder, baik IWF maupun girder castella hasil desain yang meliputi tegangan sebelum komposit dan tegangan yang terjadi setelah komposit.

3. Mendapatkan besaran lendutan pada girder IWF eksisting dan besaran lendutan yang diperoleh dari girder castella hasil desain.
4. Mengetahui perbandingan antara girder castella variasi tinggi bukaan dengan girder solid eksisting.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ialah :

1. Memberikan kontribusi tambahan bagi ilmu rekayasa struktur, terutama dalam hal proses mendesain penampang jenis baru berupa profil castella sebagai substitusi penggunaan profil IWF dalam konstruksi bangunan sipil.
2. Sebagai referensi dalam proses perhitungan data-data *section properties* jenis profil castella.
3. Memberikan pengetahuan tentang proses perhitungan jembatan girder komposit yang merupakan sebuah jenis jembatan bentang pendek paling banyak ditemui di wilayah Kalimantan Tengah dimana daerah ini memiliki ribuan anak sungai dengan lebar sungai kurang dari 30 m.
4. Menjadi acuan penelitian terhadap pembebanan pada jembatan dengan peraturan SNI 1725-2016 yang merupakan peraturan terbaru dalam pembebanan jembatan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Jembatan**

Berdasarkan UU 38 Tahun 2004 bahwa jalan dan jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah.

Jembatan adalah suatu jenis struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan akses lalu lintas yang terhalang oleh rintangan, baik alami atau buatan sehingga mempermudah arus lalu lintas dari segi waktu dan jarak.

Menurut Ir. Struyk dalam bukunya “Jembatan“, jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau lalu lintas biasa)

#### **2.2 Klasifikasi Jembatan**

Jembatan dapat dibagi menjadi beberapa klasifikasi berbeda, yaitu :

##### **2.2.1 Klasifikasi Jembatan Menurut Bina Marga**

- a) Jembatan kelas A, lebar lantai jembatan 7,00 meter dan  $2 \times 1,00$  meter sebagai trotoar dengan beban 100% dari loading Sistem Bina Marga.

- b) Jembatan kelas B, lebar lantai jembatan 6,00 meter dan  $2 \times 0,50$  meter sebagai trotoar dengan beban 70% dari loading Sistem Bina Marga.
- c) Jembatan kelas C, lebar lantai jembatan 4,50 meter dan  $2 \times 0,25$  meter sebagai trotoar dengan beban 50% dari loading Sistem Bina Marga.

### 2.2.2 Klasifikasi Jembatan Menurut Material Penyusun

- a) Jembatan Kayu (*Log Bridge*)

Jembatan kayu ialah jenis jembatan yang memiliki konsep sederhana dari segi konstruksi dan bisa dibangun sebagai jembatan darurat maupun jembatan permanen dengan beban gandar yang sangat terbatas dan panjang bentang yang terbatas.

- b) Jembatan Baja (*Steel Bridge*)

Jembatan baja adalah jembatan yang memiliki elemen struktur berupa *deck*, *girder*, rangka batang, pelengkung, pengaku, dan penggantung. Jembatan baja tersusun dari rangka-rangka batang baja yang disatukan satu sama lain membentuk struktur jembatan. jembatan ini memiliki kelebihan yaitu struktur yang ringan (dibandingkan jembatan beton).

- c) Jembatan Beton (*Concrete Bridge*)

Jembatan beton bertulang ialah jembatan dengan material penyusun utama berupa beton dan dilakukan perkuatan dengan tulangan baja di daerah yang mengalami tarik agar struktur jembatan tidak mengalami keruntuhan karena sifat beton yang kuat terhadap tekan namun sangat lemah terhadap tarik. Jembatan beton memiliki panjang bentang yang terbatas.

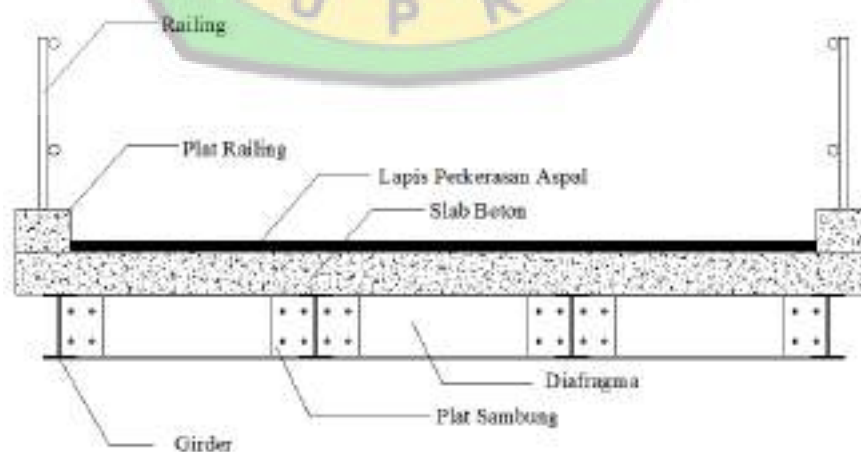
d) Jembatan Beton Prategang (*Prestressed Concrete Bridge*)

Jembatan beton prategang ialah jembatan dengan material utama berupa beton prategang yang dipasang secara segmental dengan metode kantilver yang dihubungkan dengan kawat baja kualitas tinggi yang menghubungkan satu segmen ke segmen lain. Jembatan beton prategang biasanya juga dibuat pra-cetak dengan mutu beton yang tinggi sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan pengecoran di tempat. Jembatan beton prategang biasanya digunakan pada konstruksi jembatan *cable stayed*.

e) Jembatan Komposit (*Composite Bridge*)

Jembatan komposit merupakan kombinasi antara baja dan beton dimana bagian beton berada di area *deck* dimana lalu lintas berjalan karena sifat dari beton yang kuat terhadap tekan sedangkan rangka utama dengan material baja menahan beban tarik dari gaya yang bekerja di pelat *deck*.

### 2.3 Bagian-Bagian Struktur Jembatan Girder Komposit



**Gambar 2.1 Potongan Melintang Jembatan Girder Komposit**

Sumber : Hasil Penggambaran, 2019

1) Girder

Girder adalah balok penyangga yang terletak diantara dua penyangga yang berupa *pier* maupun *abutment*. Pada struktur jembatan girder komposit, seluruh beban yang terjadi akibat lalu lintas akan ditopang oleh girder tersebut.

2) Diafragma

Diafragma merupakan elemen yang ditempatkan diantara girder atau pada sistem *superstructure* untuk mendistribusikan gaya-gaya serta untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan system. Diafragma juga disebut sebagai batang pengaku.

3) Pelat Sambung

Pelat sambung adalah pelat yang digunakan untuk menyambungkan antara diafragma dan girder. Pelat sambung juga digunakan pada girder dengan panjang lebih dari 6 meter. Untuk pelat sambung antara girder dan diafragma digunakan pelat sambung dengan bentuk siku-siku.

4) Slab

Slab atau plat lantai adalah sebuah elemen struktur horizontal yang berfungsi menyalurkan beban mati maupun beban hidup yang berasal dari lalu lintas menuju girder.

5) Lapis Perkerasan

Lapis perkerasan yang digunakan biasanya ialah lapisan aspal dengan ketebalan 5 cm yang berfungsi untuk meningkatkan kenyamanan pengendara pada saat melintasi jembatan. selain itu lapis perkerasan aspal juga berfungsi sebagai lapis kedap air bagi slab dan girder sehingga terhindar dari korosi.

6) Pelat *Railing* dan *Railing*

Pelat railing ialah pelat beton yang berfungsi sebagai tempat melekatnya railing pada pelat slab jembatan. railing sendiri ialah pagar pembatas agar kendaraan dan pejalan kaki tidak mudah terjatuh ke sungai dibawahnya.

## 2.4 Pembebanan Pada Jembatan Menurut SNI 1725 Tahun 2016

Acuan standar pembebanan pada jembatan terbaru berdasarkan SNI 1725 -2016 dimana ada beberapa perubahan dalam perhitungan pembebanan yang telah disesuaikan dengan kondisi terbaru untuk konstruksi jembatan di Indonesia. Dalam perencanaan jembatan girder, pembebanan yang digunakan tidak seluruhnya seperti yang tertera dalam SNI 1725-2016, pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan jembatan ini hanya meliputi pembebanan sebagai berikut :

### 2.4.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

**Tabel 2.1 Berat Isi untuk Beban Mati**

No.	Bahan	Berat Isi (KN/m <sup>3</sup> )	Kerapatan Massa (Kg/m <sup>3</sup> )
1	Lapis permukaan beraspal ( <i>Bituminous wearing surfaces</i> )	22,0	2245
2	Besi Tulang ( <i>cast iron</i> )	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan ( <i>compacted sand, silt or clay</i> )	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan ( <i>rolled gravel, macadam or ballast</i> )	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton aspal ( <i>asphalt concrete</i> )	22,0	2245
6	Beton ringan ( <i>low density</i> )	12,25 – 19,60	1250 – 2000
7	Beton $f'c < 35$ MPa	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8	Baja ( <i>Steel</i> )	78,5	7850
9	Kayu ( <i>light wood</i> )	7,8	800
10	Kayu keras ( <i>hard wood</i> )	11,0	1125

Sumber : SNI 1725 – 2016, Pembebanan Untuk Jembatan :13

#### 2.4.2 Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.

**Tabel 2.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri**

Tipe beban	Faktor Beban ( $\gamma_{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}^s$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MS}^u$ )	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton cor ditempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,75

Sumber : SNI 1725 – 2016, Pembebanan Untuk Jembatan :14

### 2.4.3 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang berupa elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati dalam tabel 2.3 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

**Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan**

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{MA}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MA}^s$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{MA}^u$ )	
Tetap	Umum	1,00 <sup>(1)</sup>	2,00	0,70
	Terawasi	1,00	1,40	0,80
Catatan <sup>(1)</sup> : Faktor beban layan sebesar 1.3 digunakan untuk beban utilitas				

Sumber : SNI 1725 – 2016, *Pembebanan Untuk Jembatan* : 14

### 2.4.4 Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” tertera pada tabel 2.4 berikut ini.

**Tabel 2.4 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”**

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma_{TD}$ )		
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TD}^s$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TD}^u$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder	1,00	2,00

Sumber : SNI 1725 – 2016, *Pembebanan Untuk Jembatan* : 39

a) Intensitas Beban “D”

Beban terbagi rata mempunyai intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung dengan panjang total yang dibebani  $L$  yaitu sebagai berikut :

- Jika  $L \leq 30$  m :  $q = 9.0$  kPa (2-1)

- Jika  $L > 30$  m :  $q = 9.0 \left[ 0.5 + \frac{15}{L} \right]$  kPa (2-2)

Keterangan :

$q$  adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

$L$  adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



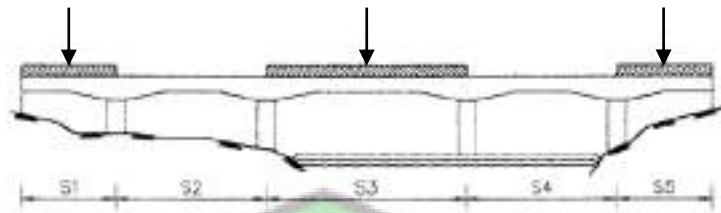
**Gambar 2.2** Beban Lajur “D”

*Sumber : SNI 1725 Pembebanan Pada Jembatan, 2016*

Beban garis terpusat dengan intensitas  $P$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $p$  adalah 49.0 kN/m. untuk mendapatkan momen lentur negative maksimum pada jembatan menerus, beban garis terpusat kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

b) Distribusi Beban “D”

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.3 Momen Lentur Positif Pada Bentang 1,3,5**

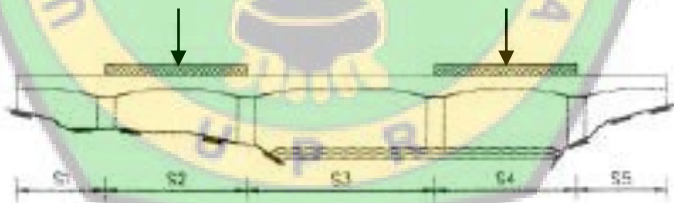
Sumber : (SNI 1725 Pembebanan Pada Jembatan, 2016)

Untuk momen lentur maksimum dibentang 1 : tempatkan BGT di bentang 1

Ambil L = pengaruh terburuk dari  $S_1$  ;  $S_1 + S_3$  atau  $S_1 + S_3 + S_5$

Untuk momen lentur maksimum dibentang 3; tempatkan BGT dibentang 3.

Ambil L = pengaruh terburuk dari  $S_3$  ;  $S_1 + S_3$  atau  $S_3 + S_5$



**Gambar 2.4 Momen Lentur Positif Bentang 2,4**

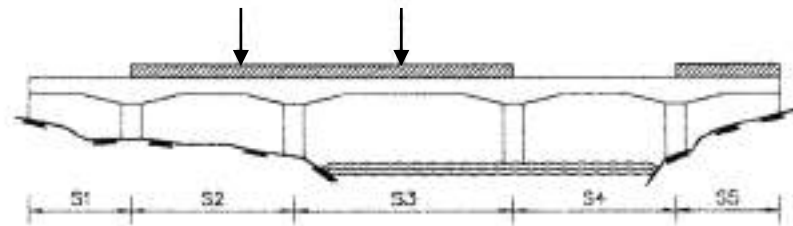
Sumber : SNI 1725 Pembebanan Pada Jembatan, 2016

Untuk momen lentur maksimum dibentang 2 : Tempatkan BGT di bentang 2.

Ambil L = pengaruh terburuk dari  $S_2$  ; atau  $S_2 + S_4$ .

Untuk momen lentur maksimum dibentang 4 : tempatkan BGT di bentang 4.

Ambil L = pengaruh terburuk dari  $S_4$  atau  $S_2 + S_4$



**Gambar 2.5 Momen Lentur Negatif Pada Pilar**  
 Sumber : SNI 1725 Pembebanan Pada Jembatan, 2016

Untuk momen lentur maksimum di pilar 2 ; tempatkan BGT di bentang 2 dan 3.

Ambil  $L =$  pengaruh terburuk dari  $S_2 + S_3$  atau  $S_2 + S_3 + S_5$

c) Respon Terhadap Beban Lajur “D”

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

#### 2.4.5 Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% berat gandar truk desain, atau 5 % dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata . Gaya rem diasumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

### 2.4.6 Beban Angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin.

a) Beban angin pada struktur ( $E_{W_s}$ )

Perencanaan beban angin pada struktur dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisibeban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (2-3)$$

Keterangan

$P_B$  adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam tabel 2.5

**Tabel 2.5 Tekanan Angin Dasar**

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, Kolom, dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

Sumber : SNI 1725 – 2016, Pembebanan Untuk Jembatan : 56

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/m pada bidang tekan dan 2,2 kN/m pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/m pada balok atau gelagar.

1) Beban Dari Struktur Atas

Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar  $P_B$  untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 30 dan harus dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Arah angin untuk perencanaan harus yang menghasilkan pengaruh yang terburuk pada komponen jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

**Tabel 2.6 Tekanan Angin Dasar ( $P_B$ ) untuk Berbagai Sudut Serang**

Sudut Serang	Rangka, Kolom, dan Pelengkung		Gelagar	
	Beban Lateral	Beban Longitudinal	Beban Lateral	Beban Longitudinal
Derajat	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003
30	0,0031	0,0013	0,0020	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

Sumber : SNI 1725 – 2016, Pembebanan Untuk Jembatan : 57

## 2) Gaya Angin yang Langsung Bekerja Pada Struktur Bawah

Gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan tekanan angin dasar sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bangunan bawah, gaya ini harus diuraikan menjadi komponen yang bekerja tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Komponen-komponen ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersenut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

### b) Gaya Angin pada Kendaraan ( $EW_1$ )

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.13 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

**Tabel 2.7 Komponen Beban Angin yang Bekerja Pada Kendaraan**

Sudut	Komponen Tegak Lurus	Komponen Sejajar
Derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber : SNI 1725 – 2016, Pembebanan Untuk Jembatan : 57

c) Tekanan Angin Vertikal

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar  $9.6 \times 10^{-4}$  MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal.

#### 2.4.7 Pengaruh Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons ( $R_d$ ) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (2-4)$$

Keterangan :

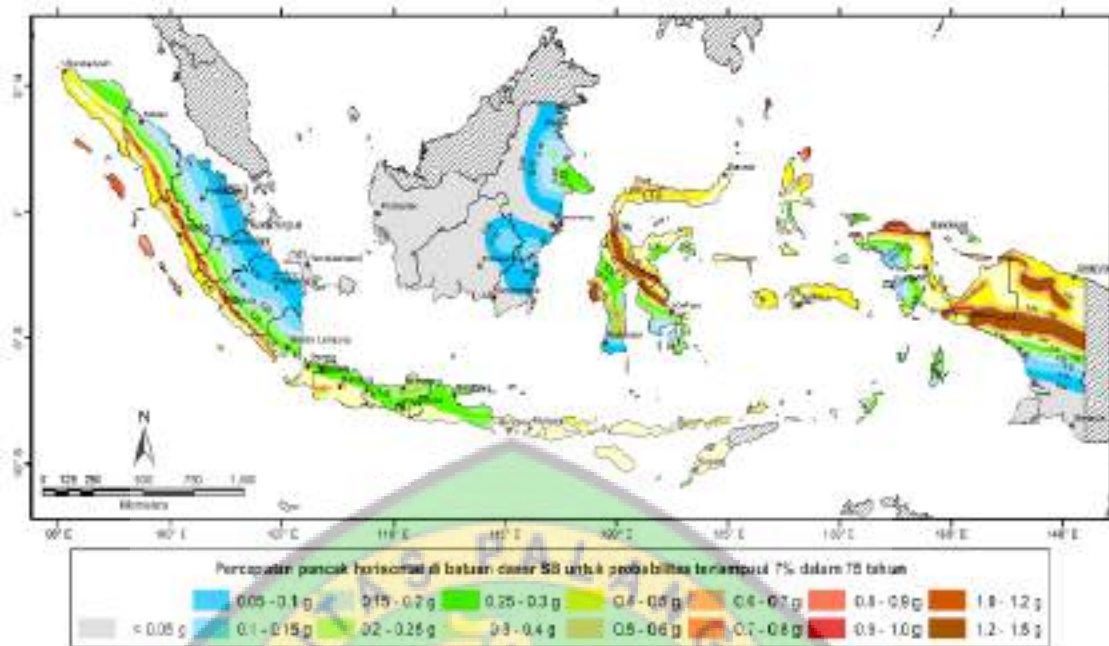
$E_Q$  adalah gaya gempa statis (KN)

$C_{sm}$  adalah koefisien respon gempa elastis

$R_d$  adalah faktor modifikasi respons

$W_t$  adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (KN)

Koefisien respons elastik  $C_{sm}$  diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spectra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Untuk data  $C_{sm}$  dan  $R_d$  tertera dalam SNI 2833-2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa.



**Gambar 2.6 Peta Percepatan Puncak Batuan Dasa (PGA) untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun**

*Sumber : SNI 2833-2016, Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*

**Tabel 2.8 Faktor Modifikasi Respon ( $R_d$ ) untuk Elemen Struktur**

Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,80
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,80
Kolom, pilam atau tiang dengan bangunan atas	1,00
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,00

*Sumber : SNI 2833-2016, Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*

## 2.5 Kombinasi Pembebanan Pada Jembatan Girder Komposit

Dalam Perencanaan jembatan, terdapat kombinasi pembebanan dimana hasil dari pembebanan akan dikalikan dengan koefisien pada tiap – tiap kombinasi pembebanan, dan tegangan serta lendutan yang terjadi akibat kombinasi pembebanan tersebut harus memenuhi batas tegangan ijin dan batas lendutan ijin.

Dalam SNI 1725-2016 terdapat beberapa jenis kombinasi pembebanan, namun dalam perencanaan jembatan girder komposit, kombinasi pembebanan yang digunakan hanya kombinasi yang berhubungan dengan girder baja dan jembatan komposit. Dalam tabel 2.9 dibawah ini akan diuraikan kombinasi pembebanan yang digunakan dalam sebuah jembatan komposit.

**Tabel 2.9 Kombinasi Pembebanan yang Digunakan Pada Jembatan Girder Komposit**

Kombinasi Pembebanan	MA	TD	EW <sub>S</sub>	EW <sub>L</sub>	EQ
	MS	TB			
Kuat I	1,00	1,8	-	-	-
Kuat II	1,00	1,4	-	-	-
Kuat III	1,00	-	1,40	-	-
Kuat V	1,00	-	0,40	1,00	-
Ekstrem I	1,00	0,30	-	-	1,00
Ekstrem II	1,00	0,50	-	-	-
Daya Layan I	1,00	1,00	0,30	1,00	-
Daya Layan II	1,00	1,30	-	-	-

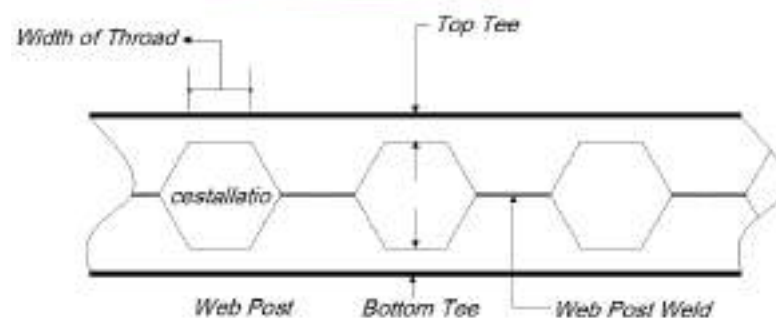
Sumber : SNI 1725-2016, Pembebanan Untuk Jembatan

## 2.6 Girder Castella

*Castellation* atau castella adalah proses memotong badan profil dengan pola zig-zag yang dicetak menggunakan hot-rolled (cetakan panas) berbentuk H, I, atau U. Setengah bagian profil baja yang telah dipotong disambung dengan cara digeser atau dibalik (ujung kanan di las dengan ujung kiri, dan sebaliknya) sehingga membentuk lubang berbentuk polygonal. Hal ini mengakibatkan bertambahnya tinggi dan tinggi daerah pemotongan (Knowles,1991).

Balok baja castella adalah profil baja yang dikembangkan dari profil solid yang dipotong bagian badan dan disambung lagi sedemikian rupa sehingga membentuk lubang pada bagian badan. Bentuk lubang profil balok baja kastela pada umumnya adalah persegi enam atau hexagon (Partono, dkk. 2018). Di bawah ini merupakan bagian-bagian dari balok baja castella :

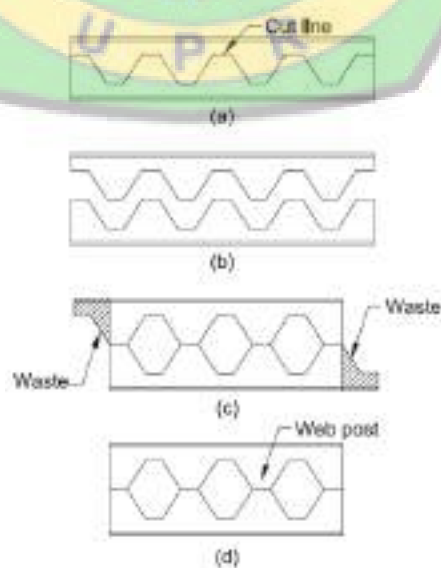
- a) *Web-Post* : Luas solid dari castella
- b) *Castellation* : Luas yang sudah mengalami pelubangan (*hole*)
- c) *Throat Width* : Panjang horisontal potongan “gigi” bawah profil
- d) *Throat Depth* : Tinggi daerah potongan “gigi” bawah sampai sayap



**Gambar 2.7 Bagian Bagian dari Profil Castella**

*Sumber : AISC Steel Design Guide 31 : Castellated And Cellular Beam Design, 2016*

Castella merupakan suatu profil baja yang mempunyai bukaan berbentuk segi enam. Profil baja mengalami proses pemotongan pada bagian badan profil dengan pola zig-zag salah satu bagian yang telah dipotong lalu diangkat dan disatukan bagian badannya dan terakhir dilakukan pengelasan pada bagian badan yang menempel. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan tinggi dari profil awal ( $h$ ) dengan tinggi potongan yang ada ( $d$ ) sehingga menghasilkan momen inersia yang lebih besar dari profil semula. Profil tersebut dilubangi untuk memperkecil berat sendiri profil dan agar sambungan lasnya dapat lebih efektif dan efisien. Spesifikasi profil yang ditingkatkan kekuatan komponen strukturnya dengan memperpanjang kearah satu sama lain dan di las sepanjang pola. *Castellated beam* ini mempunyai sudut potong sebesar  $60^\circ$  dengan pertambahan tinggi hampir 50% lebih tinggi dari profil awal sehingga meningkatkan nilai lentur axial, momen inersia dan section modulus (Andys Wicaksono Saputro, 2014).



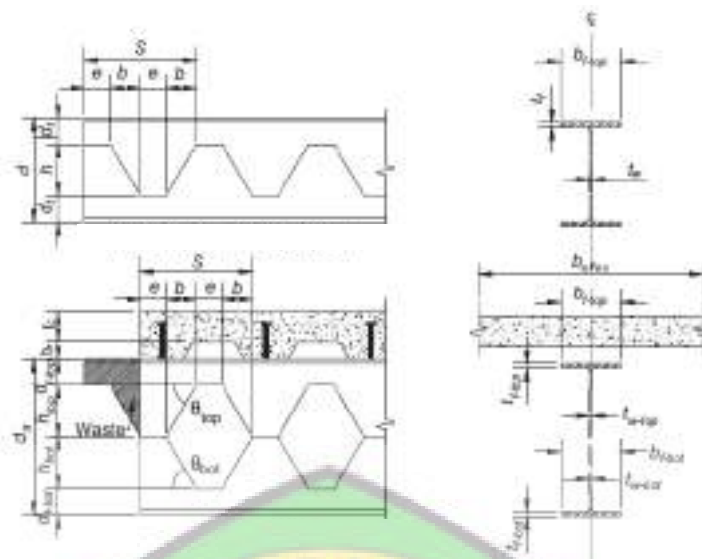
**Gambar 2.8 Proses Pemotongan dan Penyambungan Profil Castella**

Sumber : AISC Steel Design Guide 31 : Castellated And Cellular Beam Design, 2016

Hayati dan Suprpto (2016) mengatakan tinggi profil castella yang dihasilkan bisa bertambah hingga setengah dari tinggi profil aslinya, sehingga momen inersia profil castella akan menjadi lebih besar daripada inersia profil IWF konvensional. Partono, dkk (2018) mengatakan jarak lubang optimum pada profil balok baja kastela menunjukkan bahwa untuk model balok kastela dengan sudut bukaan antara  $45^\circ$  sampai  $70^\circ$  maka jarak lubang optimum adalah antara 0,1 sampai 0,4 dari tinggi profil asli atau antara 0,1 sampai 0,25 dari tinggi profil balok kastela, profil dengan sudut bukaan makin kecil menghasilkan kemampuan menahan beban lebih besar, dan pola distribusi lubang terbaik adalah antara 5 sampai 7 lubang setiap meter.



Pada gambar 2.9 menunjukkan standar pabrikasi untuk girder castella dengan besar potongan membentuk sudut  $60^\circ$  dengan jarak antar lubang sebesar  $0,25 Do$  dengan bahan dasar profil IWF 396.199.7.11. Dalam penelitian ini, akan dilakukan desain tinggi bukaan sebanyak empat buah dimulai dari tinggi bukaan 100 mm, 150 mm, 200 mm dan 250 mm untuk memperoleh dimensi girder castella terbaik sebagai substitusi girder IWF eksisting dengan harapan mampu memenuhi tegangan dan lendutan yang terjadi akibat pembebanan sesuai dengan SNI 1725-2016.



**Gambar 2.10 Struktur Castella Komposit**

Sumber : AISC Steel Design Guide 31 : Castellated And Cellular Beam Design, 2016

### 2.6.1 Section Properties Girder Castella

Dalam proses perencanaan girder castella, harus melakukan perhitungan lebih lanjut guna mendapatkan data-data fisik dari girder castella yang digunakan untuk proses perhitungan dalam penggunaannya sebagai girder pada jembatan girder komposit. Berikut ini ialah tahapan-tahapan serta perhitungan yang dibutuhkan dalam memperoleh data fisik (*section properties*) dari sebuah girder castella. Untuk memperoleh tinggi girder castella digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$dt_{\text{net}} = \frac{d - D_o}{2} \quad (2-5)$$

$$D = D_o + 2 \cdot dt_{\text{net}} \quad (2-6)$$

Keterangan :

- $dt_{net}$  adalah tinggi penampang tee
- $d$  adalah tinggi profil awal
- $Do$  adalah tinggi lubang
- $D$  adalah tinggi total castella

Langkah selanjutnya ialah menentukan titik berat dari gabungan kedua profil tee tersebut dengan menggunakan rumus :

$$d_{effect} = D - 2.(dt - y_{tee}) \quad (2-7)$$

Keterangan :

- $d_{effect}$  adalah jarak antara titik berat dua penampang tee
- $y_{tee}$  adalah titik berat penampang tee

Untuk mencari inersia penampang yang berada didaerah bukaan dengan rumus :

$$I_{x_{net}} = [I_{x_{tee-top}} + A_{tee-top} \left(\frac{d_{effect}}{2}\right)^2] + [I_{x_{tee-bot}} + A_{tee-bot} \left(\frac{d_{effect}}{2}\right)^2] \quad (2-8)$$

$$S_{x_{net}} = \frac{I_{x_{net}}}{\left(\frac{D}{2}\right)} \quad (2-9)$$

Keterangan :

- $I_{x_{net}}$  adalah inersia penampang di daerah lubang
- $I_{x_{tee-top}}$  adalah inersia penampang tee bagian atas
- $I_{x_{tee-bot}}$  adalah inersia penampang tee bagian bawah
- $A_{tee-top}$  adalah luas penampang tee bagian atas
- $A_{tee-bot}$  adalah luas penampang tee bagian bawah
- $S_{x_{net}}$  adalah modulus penampang pada bagian bukaan

Setelah didapat inersia di daerah bukaan, kemudian dilakukan perhitungan inersia di daerah yang tidak berada di daerah bukaan menggunakan rumus berikut :

$$A_{\text{gross}} = 2 \cdot A_{\text{tee}} + D_o \cdot t_w \quad (2-10)$$

$$I_{x_{\text{gross}}} = I_{x_{\text{net}}} + \frac{t_w \cdot D_o^3}{12} \quad (2-11)$$

$$S_{x_{\text{gross}}} = \frac{I_{x_{\text{gross}}}}{\left(\frac{D}{2}\right)} \quad (2-12)$$

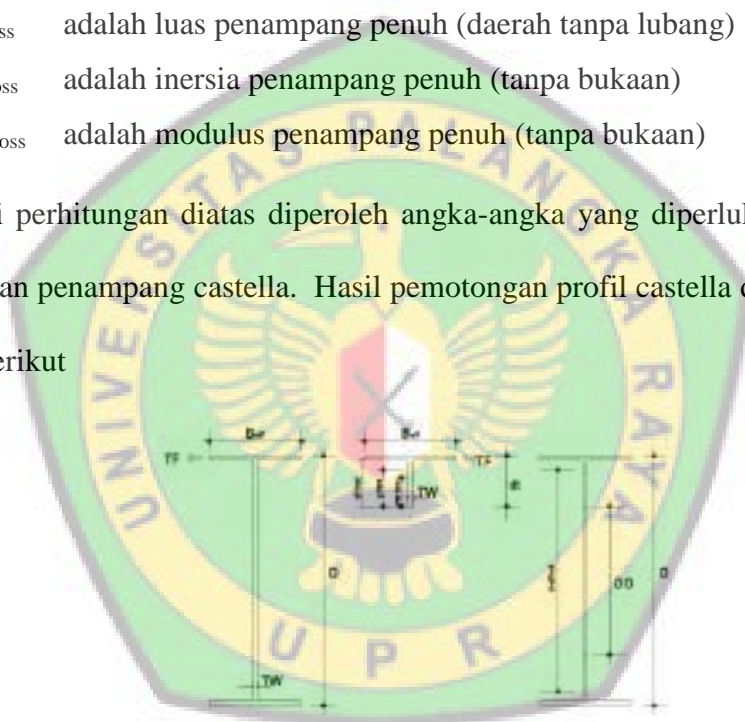
Keterangan :

$A_{\text{gross}}$  adalah luas penampang penuh (daerah tanpa lubang)

$I_{x_{\text{gross}}}$  adalah inersia penampang penuh (tanpa bukaan)

$S_{x_{\text{gross}}}$  adalah modulus penampang penuh (tanpa bukaan)

Dari perhitungan diatas diperoleh angka-angka yang diperlukan untuk proses pemotongan penampang castella. Hasil pemotongan profil castella dapat dilihat pada gambar berikut

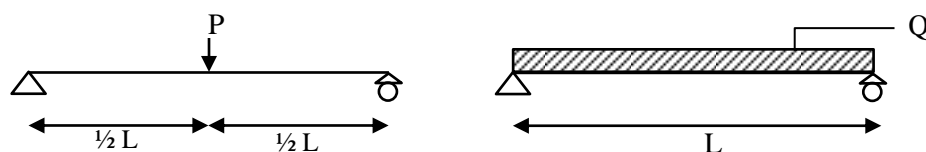


**Gambar 2.11 Potongan Penampang Profil Castella**

Sumber : AISC Steel Design Guide 31 : Castellated and Cellular Beam Design, 2016

### 2.6.2 Kekuatan dan Perilaku Girder Castella

Penyelidikan terhadap kekuatan dan perilaku girder castella meliputi perhitungan momen.



**Gambar 2.12 momen maksimum akibat beban terpusat dan beban merata**

Sumber : Hasil Penggambaran, 2019

Untuk perhitungan momen maksimum beban terpusat (tepat ditengah bentang) dapat menggunakan persamaan :

$$M = \frac{1}{4} P \cdot L \quad (2-13)$$

Perhitungan momen maksimum beban merata digunakan persamaan :

$$M = \frac{1}{8} Q L^2 \quad (2-14)$$

Keterangan :

- M adalah momen yang bekerja pada suatu batang
- P adalah besaran beban terpusat
- Q adalah besaran beban merata
- L adalah panjang bentang



**Gambar 2.13. Potongan Penampang Girder Setelah Komposit**

*Sumber : Hasil Penggambaran, 2019*

Tegangan yang terjadi pada girder castella setelah komposit terbagi dua, yaitu tegangan pada atas dan bawah girder yang dijabarkan sebagai berikut :

$$\sigma_{ts} = \frac{M}{w_{ts} \cdot n} \quad (2-15)$$

$$\sigma_{bs} = \frac{M}{w_{bs} \cdot n} \quad (2-16)$$

$$w_{ts} = \frac{I_{komposit}}{y_{ts}} \quad (2-17)$$

$$w_{bs} = \frac{I_{komposit}}{y_{bs}} \quad (2-18)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2-19)$$

$$y_{ts} = \bar{y} - h \quad (2-20)$$

$$y_{bs} = h + d - \bar{y} \quad (2-21)$$

Keterangan :

- $\sigma_{ts}$  adalah besarnya tegangan yang terjadi pada atas penampang girder
- $\sigma_{bs}$  adalah besarnya tegangan yang terjadi pada bawah penampang girder
- $d$  adalah tinggi penampang girder castella
- $E_c$  adalah angka elastisitas beton
- $E_s$  adalah angka elastisitas baja
- $M$  adalah momen yang bekerja pada garis berat
- $I$  adalah besarnya inersia penampang
- $h$  adalah tebal slab beton
- $w_{ts}$  adalah tahanan momen pada atas penampang girder castella
- $w_{bs}$  adalah tahanan momen pada bawah penampang girder castella
- $\bar{y}$  adalah garis netral komposit
- $y_{ts}$  adalah jarak atas penampang girder castella terhadap garis netral komposit
- $y_{bs}$  adalah jarak bawah penampang girder castella terhadap garis netral



**Gambar 2.14** momen maksimum akibat beban terpusat dan beban merata

*Sumber : Hasil Penggambaran, 2019*

Untuk lendutan akibat beban terpusat tepat ditengah bentang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta = \frac{PL^3}{48 EI} \quad (2-22)$$

Besaran lendutan akibat beban merata dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\Delta = \frac{5Q^4}{384 EI} \quad (2-23)$$

Keterangan :

- $\Delta$  adalah besarnya lendutan yang terjadi
- $P$  adalah beban terpusat
- $Q$  adalah besaran beban merata



### 3.2 Data Fisik dan Data Teknis Jembatan

Data perencanaan jembatan girder Pamijaan, Kecamatan Lahei, Kabupaten Barito Utara ini akan disajikan dalam tabel 3.1 dan 3.2 berikut :

**Tabel 3.1 Data Fisik dan Data Teknis Jembatan Girder Komposit Pamijaan**

Keterangan	Simbol	Nilai	Satuan
Tebal Slab Lantai	h	20	cm
Tebal Lapisan Aspal	t <sub>a</sub>	5	cm
Tebal Genangan Air	t <sub>h</sub>	5	cm
Jarak Antar Girder Baja	s	725	mm
Lebar Lalu Lintas	b <sub>l</sub>	3,50	m
Lebar Total Jembatan	b	4,00	m
Panjang Bentang Jembatan	L	6	m
Panjang Total	L <sub>tot</sub>	48	m
Mutu Baja	BJ	37	
Tegangan Leleh Baja	f <sub>y</sub>	240	MPa
Tegangan Ultimit Baja	f <sub>u</sub>	370	MPa
Tegangan Dasar	f <sub>s</sub> = f <sub>y</sub> /1.5	160	MPa
Modulus Elastisitas Baja	E <sub>s</sub>	210000	MPa
Mutu Baja Tulangan	b <sub>j</sub>	24	MPa
Mutu Beton	K	250	
Kuat Tekan Beton	f <sub>c</sub> '	20,75	MPa
Modulus Elastisitas Beton	E <sub>c</sub> = 4700√f <sub>c</sub> '	21409,52	MPa
Angka Poisson	u	0,2	
Modulus Geser	G = E <sub>c</sub> /[2*(1+u)]	8920,63	MPa
Koefisien Muai Panjang Beton	α	0,00001	MPa
<i>Spesific Grafity</i>			
Berat Baja	W <sub>s</sub>	77	kN/m <sup>3</sup>
Berat Beton Bertulang	W <sub>c</sub>	25	kN/m <sup>3</sup>
Berat Lapisan Aspal	W <sub>a</sub>	22	kN/m <sup>3</sup>
Berat Air	W <sub>w</sub>	9,8	kN/m <sup>3</sup>

Sumber : DPUPR Kabupaten Barito Utara, 2018

Tabel 3.2 Data Profil Girder dan Diafragma

Profil Baja yang Digunakan			
Girder	WF 294.200.8.12		
Data Profil	$T_w$	8	mm
	$T_f$	12	mm
	A	72,38	cm <sup>2</sup>
	$I_x$	11300	cm <sup>4</sup>
	$I_y$	1600	cm <sup>4</sup>
	$i_x$	12,4	cm
	$i_y$	4,70	cm
	w	56,82	kg/m
Diafragma	UNP 150 x 75 x 6.5		
Data Profil	$T_1$	6,5	mm
	$T_2$	10	mm
	A	30,59	cm <sup>2</sup>
	$I_x$	864	cm <sup>4</sup>
	$I_y$	122	cm <sup>4</sup>
	$i_x$	6,04	cm
	$i_y$	2,27	cm
	w	18,6	kg/m

Sumber : DPUPR Kabupaten Barito Utara, 2018

### 3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data dan informasi terkait dilakukan pada Kantor Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Barito Utara. Data-data yang terkumpul ialah data-data yang berhubungan dengan pekerjaan pembangunan jembatan girder komposit Pamijaan, Kecamatan Lahei, Kabupaten Barito Utara.

Data-data yang dikumpulkan terdiri dari data umum dan data teknis proyek. Data umum diantaranya data fisik lokasi jembatan, penyedia pekerjaan dan pelaksana pekerjaan. Sedangkan data teknis meliputi spesifikasi jembatan.

### 3.4 Alternatif Desain Girder Menggunakan Girder Castella

Dalam penelitian ini, struktur girder eksisting yang sudah digunakan ialah tipe girder IWF, tetapi akan diteliti untuk penggunaan girder castella dengan tipe hexagon sebagai substitusi girder IWF. Penelitian ini meliputi :

- a) Proses desain profil castella dengan bahan dasar IWF 396.199.7.11 dengan kombinasi tinggi bukaan ( $D_0$ ) yang berbeda sehingga diperoleh dimensi girder castella yang mampu menahan tegangan akibat kombinasi pembebanan di bawah batas tegangan ijin.
- b) Perhitungan momen inersia, radius girarsi, dan modulus elastis dari tiap-tiap girder castella hasil desain.
- c) Perhitungan pembebanan pada jembatan menurut SNI 1725 - 2016 dengan kombinasi pembebanan yang dianggap mencukupi untuk sebuah jembatan girder komposit.
- d) Perhitungan tegangan yang terjadi pada tiap - girder, baik itu IWF eksisting maupun girder castella hasil desain meliputi tegangan sebelum komposit dan tegangan setelah komposit sampai diperoleh dimensi girder yang mampu menahan kombinasi pembebanan dibawah tegangan ijin.
- e) Perhitungan lendutan teoritis yang terjadi pada tiap-tiap profil.
- f) Penarikan kesimpulan.

### 3.5 Studi Literatur

Studi literatur dimulai dari pengumpulan data / penyusunan data-data (teori) tentang jembatan. Data-data teori ini terdiri dari data pembebanan jembatan (SNI 1725-2016), struktur baja dan beton (komposit) dan *Metode Load and Resistance Factor Distribution* (LRFD) yang diatur lebih lanjut untuk perencanaan profil castellated beam menurut AISC guide design nomor 31 yang khusus untuk membahas perencanaan balok castella.

### 3.6 Keaslian Penelitian

Penelitian ini terkait dengan beberapa penelitian terdahulu mengenai Profil Castella, dan dijadikan sebagai acuan dalam penelitian. Berikut ialah beberapa penelitian terdahulu, terlampir pada tabel sebagai berikut.

**Tabel 3.3 Keaslian Penelitian**

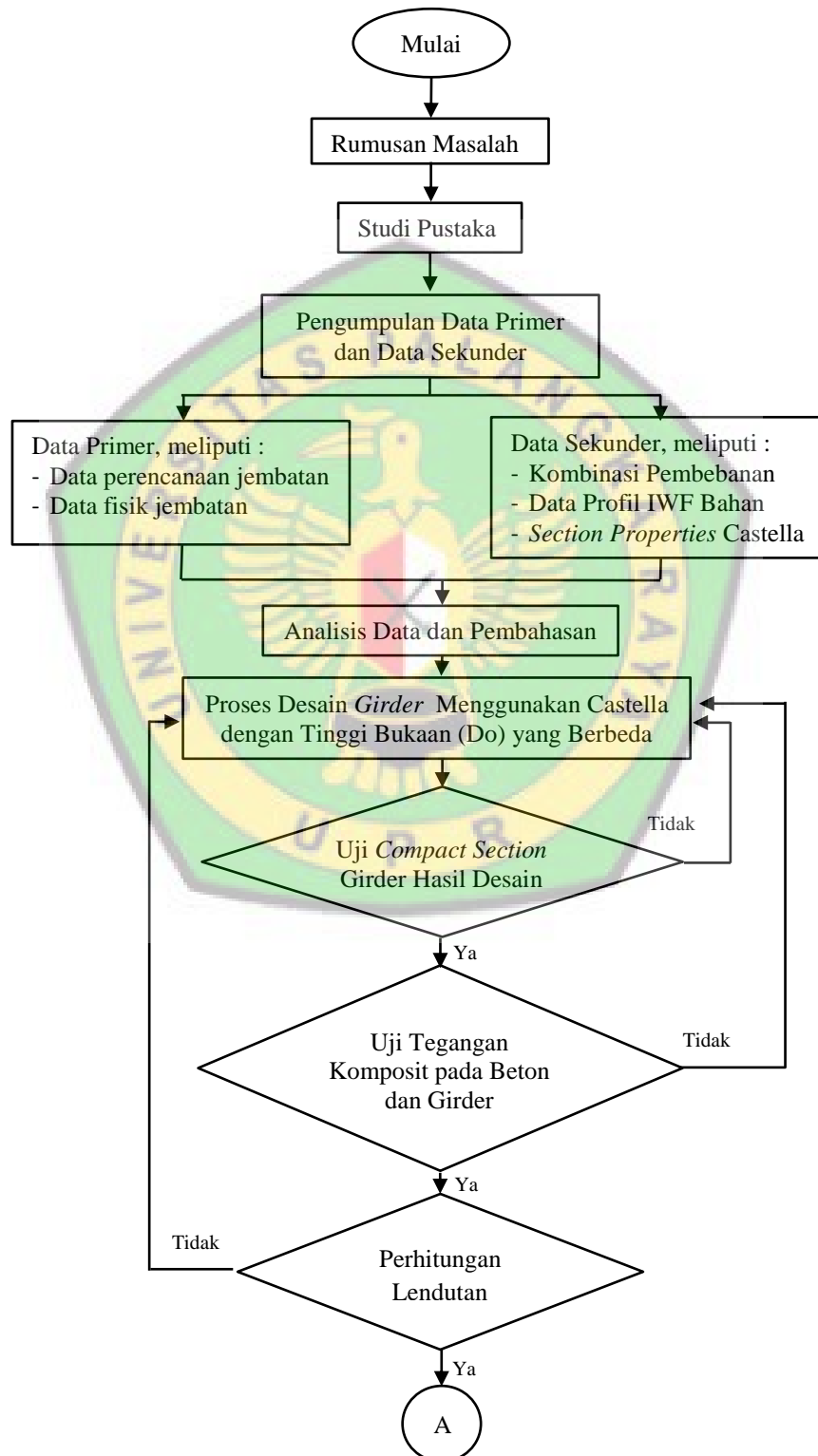
No.	Peneliti	Judul	Hasil yang diperoleh
1.	Hayati dan Suprpto (2013)	Pengaruh Lebar Potongan Profil (E) Terhadap Perilaku Lentur Pada Balok Baja Kastela ( <i>Castellated Beam</i> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Semakin besar tinggi penampang maka akan semakin kecil besar lendutan yang terjadi pada batang tersebut.</li> <li>2. Berdasarkan data hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi runtuh lebar pemotongan profil (e) tidak terlalu mempengaruhi kekuatan untuk menahan momennya .</li> <li>3. Ditinjau dari lendutan maka hasil penelitian menunjukkan bahwa jika lebar pemotongan profil (e) melebihi <math>2 \frac{1}{2} h</math> (<math>&gt;125\text{mm}</math>), maka ada indikasi terjadi nilai lendutan yang besar pada balok kastela.</li> </ol>

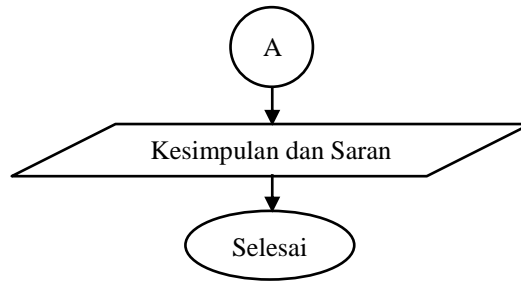
Tabel 3.3 Keaslian Penelitian (Lanjutan)

			4. Ditinjau dari <i>buckling</i> dan lendutan maka hasil penelitian menunjukkan bahwa jika lebar pemotongan profil (e) melebihi $2 \frac{1}{2} h$ ( $>125\text{mm}$ ), maka ada indikasi terjadi nilai <i>buckling</i> yang besar pada balok kastela.
2.	Wicaksono (2014)	Pengaruh Tinggi Pemotongan Profil (h), Terhadap Perilaku Lentur pada Balok Baja Kastela (Castellated Beam)	<p>1. pada kondisi momen leleh dan momen runtuh dengan adanya penambahan tinggi pemotongan profil (h) maka didapatkan momen inersia yang besar. Dengan besarnya nilai momen inersia maka akan menambah tingkat kekakuan dari baja castella tersebut.</p> <p>2. Dalam hasil penelitian menunjukkan bahwa pada beban yang sama, semakin besar tinggi pemotongan profil (h) menunjukkan adanya kecenderungan lendutan eksperimen yang terjadi semakin kecil namun belum menyeluruh yakni ada titik optimal pada kondisi tertentu.</p> <p>3. Dalam hasil penelitian menunjukkan bahwa pada beban yang sama, semakin besar tinggi pemotongan profil (h) menunjukkan adanya kecenderungan <i>buckling</i> yang terjadi semakin besar secara signifikan.</p> <p>4. Pada semua benda uji tegangan leleh dan tegangan runtuh eksperimen yang terjadi melebihi tegangan mutu baja, sehingga benda uji mengalami runtuh lentur.</p>
3.	Napitupulu dan Surbakti (2016)	Tekuk Baja Profil Iwf Dan Honeycomb (Teori Dan Eksperimental)	1. Profil baja Honeycomb lebih kuat menahan beban tekan aksial sentris dibandingkan dengan profil baja IWF.

### 3.6 Bagan Alir Penelitian

Untuk mempermudah pemahaman mengenai alur proses penelitian, dapat dilihat pada bagan alir berikut ini untuk tahapan-tahapan penelitian dan perancangan.





**Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian**



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan karakteristik penampang dengan variasi tinggi bukaan (IWF 294.200.8.12 eksisting dan IWF 396.199.7.11 bahan dasar profil castella) Sebagai perbandingan, *section properties* profil solid IWF 294.200.8.12 eksisting memiliki tinggi profil (d) sebesar 294 mm, luas penampang (A) sebesar 72,38 cm<sup>2</sup>, Ix sebesar 11300 cm<sup>4</sup>, modulus penampang (Sx) sebesar 769000 mm<sup>3</sup> dan berat (w) sebesar 56,82 kg/m. Sedangkan girder castella CB 521.199.7.11 dengan tinggi bukaan profil sebesar 250 mm memiliki *section properties* berupa tinggi profil (d) sebesar 521 mm (bertambah 43,47% dari profil eksisting), luas penampang (Anetto) sebesar 61,21 cm<sup>2</sup> (berkurang) , Ix sebesar 34808,91 cm<sup>4</sup>, modulus plastis (Sx) sebesar 1336234,37 mm<sup>3</sup> dan berat (w) sebesar 55,91 kg/m. Perbandingan yang diperoleh antara profil eksisting IWF 294.200.8.12 jika dibandingkan dengan profil castella CB 521.199.7.11 dengan tinggi bukaan 250 mm, memiliki *section properties* yang meliputi tinggi penampang (d) bertambah sebesar 43,57%. Ix profil sebesar 67,54 %, modulus penampang (Sx) bertambah sebesar 42,45% dan berat (w) berkurang sebesar 1,60% dari profil solid girder eksisting (IWF 294.200.8.12).

2. Besaran tegangan dalam penelitian ini terbagi menjadi tegangan sebelum komposit, tegangan yang terjadi pada atas beton setelah komposit, tegangan yang terjadi pada atas girder setelah komposit dan tegangan yang terjadi pada bawah girder setelah komposit.

a. Tegangan yang terjadi pada girder sebelum komposit :

- 1) Girder eksisting 294.200.8.12 mengalami tegangan sebesar 52,294 MPa dengan tegangan ijin sebesar 160,416 MPa.
- 2) Girder CB 521.199.7.11 mengalami tegangan sebesar 30,089 MPa dengan tegangan ijin sebesar 141,194 MPa.

b. Tegangan setelah komposit pada atas beton yang terbesar terjadi pada kombinasi pembebanan unttuk Kuat I, untuk besarnya ialah :

- 1) Tegangan pada atas beton komposit girder 294.200.8.12 eksisting sebesar 9,290 MPa dengan batas tegangan ijin beton sebesar 8,300 MPa.
- 2) Tegangan pada atas beton komposit girder CB 521.199.7.11 sebesar 5,036 MPa dengan batas tegangan ijin beton sebesar 8,300 MPa.

c. Tegangan setelah komposit pada atas girder yang terbesar terjadi pada kombinasi pembebanan unttuk Kuat I. untuk besaran masing masing komposit girder ialah sebagai berikut :

- 1) Tegangan pada atas komposit girder IWF 294.200.8.12 eksisting sebesar -9,462 MPa (tarik) dengan tegangan ijin sebesar 128 MPa.
- 2) Tegangan pada atas komposit girder CB 521.199.7.11 sebesar 1,336 MPa dengan tegangan ijin sebesar 128 MPa.

- d. Tegangan setelah komposit pada bawah girder yang terbesar terjadi pada kombinasi pembebanan unttuk Kuat I. untuk besaran masing masing komposit girder ialah sebagai berikut :
- 1) Tegangan pada bawah komposit girder IWF 294.200.8.12 eksisting sebesar 157,323 MPa dengan tegangan ijin sebesar 128 MPa (tidak memenuhi).
  - 2) Tegangan pada bawah komposit girder CB 521.199.7.11 sebesar 123,856 MPa dengan tegangan ijin sebesar 128 MPa (memenuhi).
3. Besaran lendutan yang terjadi pada girder eksisting dan girder castella hasil desain terbesar terjadi pada kombinasi pembebanan Kuat I dengan besar lendutan sebagai berikut :
- a. Komposit girder IWF 294.200.8.12 eksisting mengalami lendutan sebesar 5,226 mm dengan batas lendutan maksimal sebesar 25 mm.
  - b. Komposit girder CB 521.199.7.11 mengalami lendutan sebesar 2,507 mm dengan batas lendutan maksimal sebesar 25 mm.
4. Pengaruh bukaan terhadap karakteristik antara girder eksisting dan girder castella berupa :
- a. Perbandingan momen inersia sumbu x ( $I_x$ ) antara profil eksisting dan profil castella yang diperoleh ialah Girder CB 521.199.7.11 mengalami pembesaran momen inersia sebesar 67,54% dari girder eksisting.
  - b. Perbandingan berat ( $w$ ) antara girder eksisting dan girder castella CB 521.199.7.11 berkurang sebesar 1,60% dari girder eksisting.

- c. Perbandingan modulus penampang ( $S_x$ ) girder eksisting dan girder castella CB 521.199.7.11 mengalami peningkatan modulus penampang sebesar 42,45% dari girder eksisting.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya, saat proses desain girder jenis castella, hal yang diperhatikan ialah besaran luasan dari profil solid bahan pembuat castella, profil ini diusahakan memiliki luas penampang yang hampir sama dengan profil girder eksisting.
2. Perencanaan tinggi lubang bukaan (Do) harus dipertimbangkan, semakin besar lubang bukaan maka akan semakin tinggi girder castella hasil desain, tetapi akan memiliki luas penampang netto yang semakin kecil.
3. Semakin tinggi profil girder castella akan berdampak pada semakin tinggi angka kelangsingan girder, sehingga pada proses desain harus memperhitungkan batas maksimal rasio tinggi girder dengan lebar efektif yang dapat digunakan dalam sebuah perencanaan jembatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Structural Construction. 2016. *AISC Guide 31, Castellated and Cellular Beam Design*. Illinois.
- Anonim. 2005. *RSNI T 03-2005 Tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*.
- Anonim. 2016 . *SNI 1725-2016 Tentang Pembebanan Pada Jembatan*.
- Anonim. 2016. *SNI 2388-2016 Tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Pedoman No:04/BM/2005. *Gambar standar pekerjaan jalan dan jembatan*, volume dua.
- Dinas PUPR Kabupaten Barito Utara. 2018. *Surat Perjanjian Kontrak Atas Pembangunan Jembatan Pamijaan, Kecamatan Lahei*.
- Knowles, P.R. and BS 5950. 1991. Castellated Beams. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 90(3), pp.521-536.
- Lam, D., Ang, T.C. and Chiew, S.P. 2018. *Structural steelwork: design to limit state theory fourth edition*. Oxford. Penerbit : Crc Press.
- Napitupulu, P.L. 2016. Tekuk Baja Profil Iwf Dan Honeycomb (Castella) (Teori dan Eksperimental). *Jurnal Teknik Sipil USU*, 5(1).
- Nur Hayati dan Suprpto. 2014. Pengaruh Lebar Potongan Profil (e) Terhadap Perilaku Lentur Pada Balok Baja Kastela (Castellated Beam). *Rekayasa Teknik Sipil 1.1/Rekat/14*.
- Partono. W, dkk. 2018. Optimasi Distribusi Lubang Pada Balok Baja Kastela. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, 39(1).
- Salmon. C. dan Johnson. 1990. *Struktur Baja Disain dan Perilaku* (terjemahan). Jakarta. Penerbit : Erlangga.
- Setiawan. A. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Struyk. H. J, dkk . 1984 . *Jembatan* (terjemahan). Jakarta. Penerbit : Pradnya Paramitha.
- Wicaksono, A.K. 2013. Pengaruh Tinggi Pemotongan Profil (h), Terhadap Perilaku Lentur pada Balok Baja Kastela (Castellated Beam). *Jurnal Kajian Pendidikan Teknik Bangunan*, 1(1/JKPTB/14).