

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

***STUDI PERENCANAAN STRUKTUR PORTAL BAJA MENGGUNAKAN BAJA
CASTELLA DAN KOLOM KOMPOSIT PADA PEMBANGUNAN REHABILITASI
PASAR LUMAJANG***

Dipertahankan dihadapan dewan penguji ujian skripsi jenjang strata satu (S-1)

Pada hari kamis, 13 Agustus 2015

Dan diterima untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar

Sarjana Teknik Sipil

Disusun Oleh :

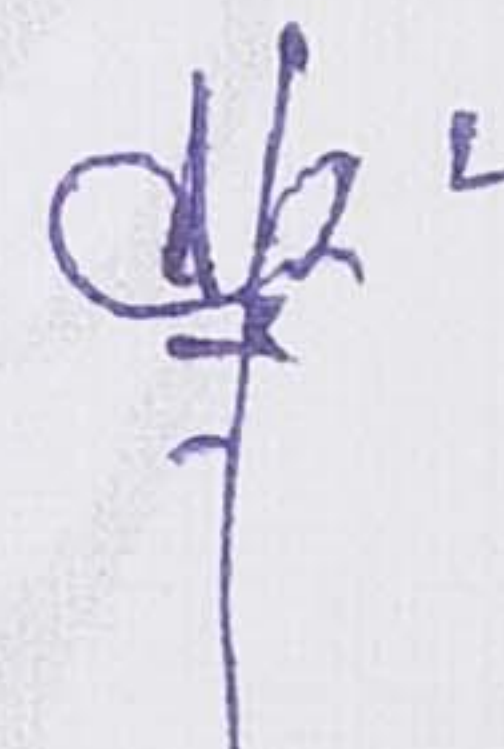
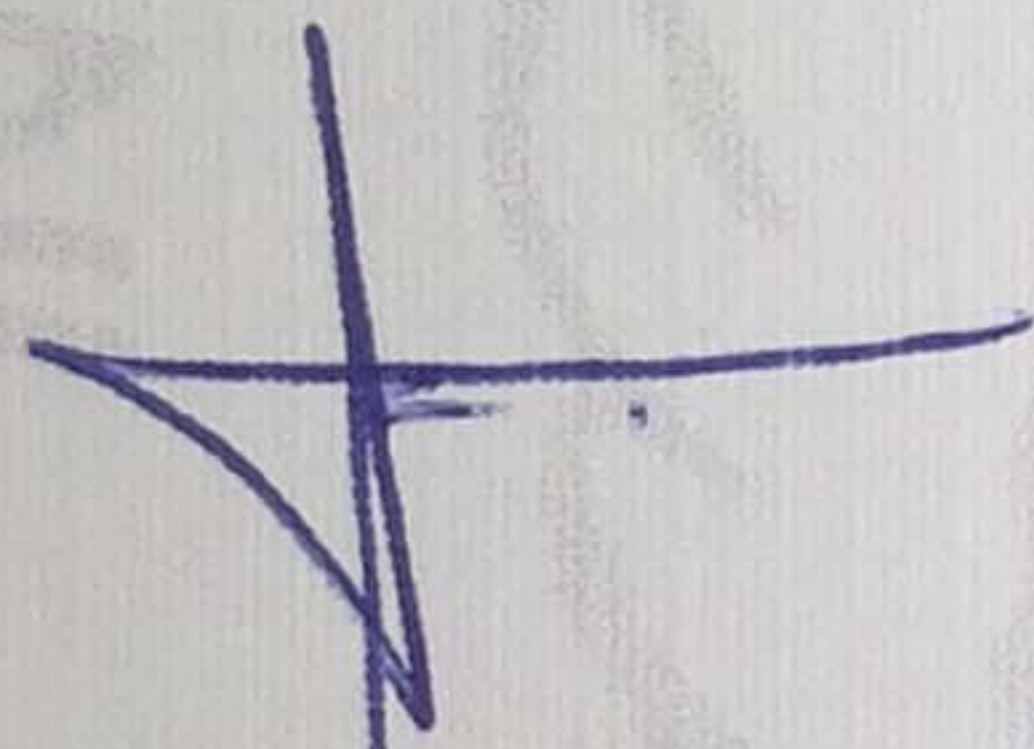
AKHBAR MUSTOFA

11.21.084

Disahkan Oleh :

Ketua

Sekretaris



Ir. A. Agus Santosa, M.T.

Lila Ayu Ratna Winanda, S.T. M.T.

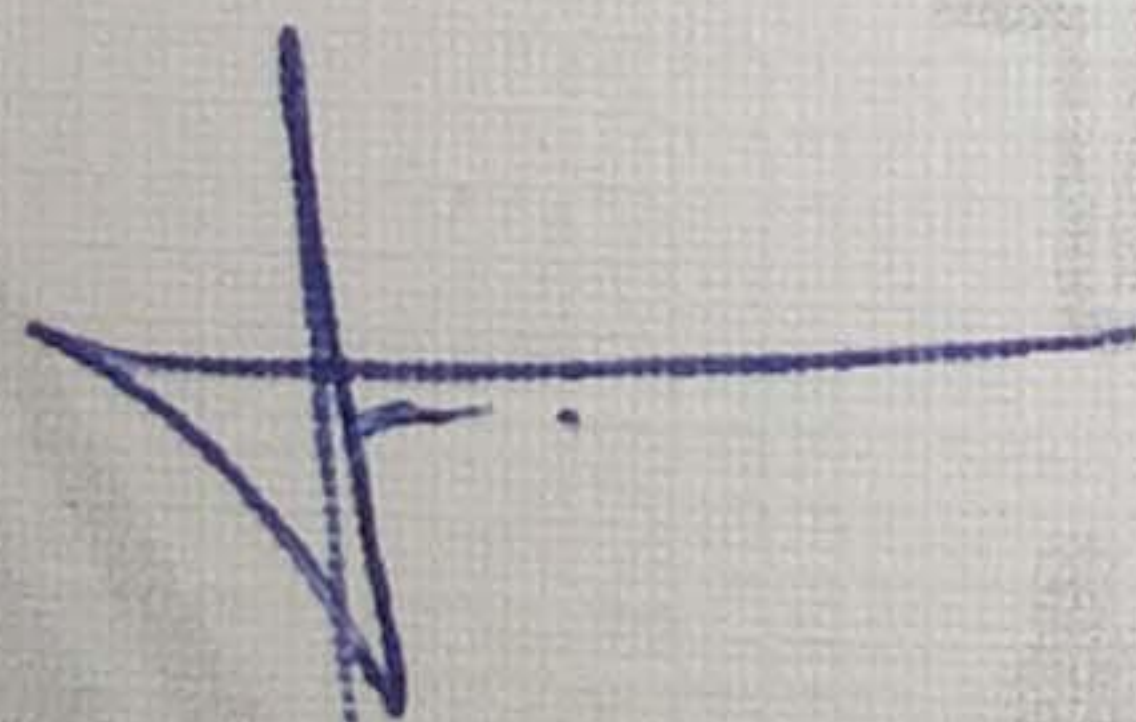
NIP.Y.1018700155

NIP.Y.1030800419

Anggota Penguji :

Penguji I

Penguji II



Ir. A. Agus Santosa, M.T.

Ir. Ester Priskasari, M.T.

NIP.Y.1018700155

NIP.Y.1039400265

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**STUDI PERENCANAAN STRUKTUR PORTAL BAJA MENGGUNAKAN BAJA
CASTELLA DAN KOLOM KOMPOSIT PADA PEMBANGUNAN REHABILITASI
PASAR LUMAJANG**

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :

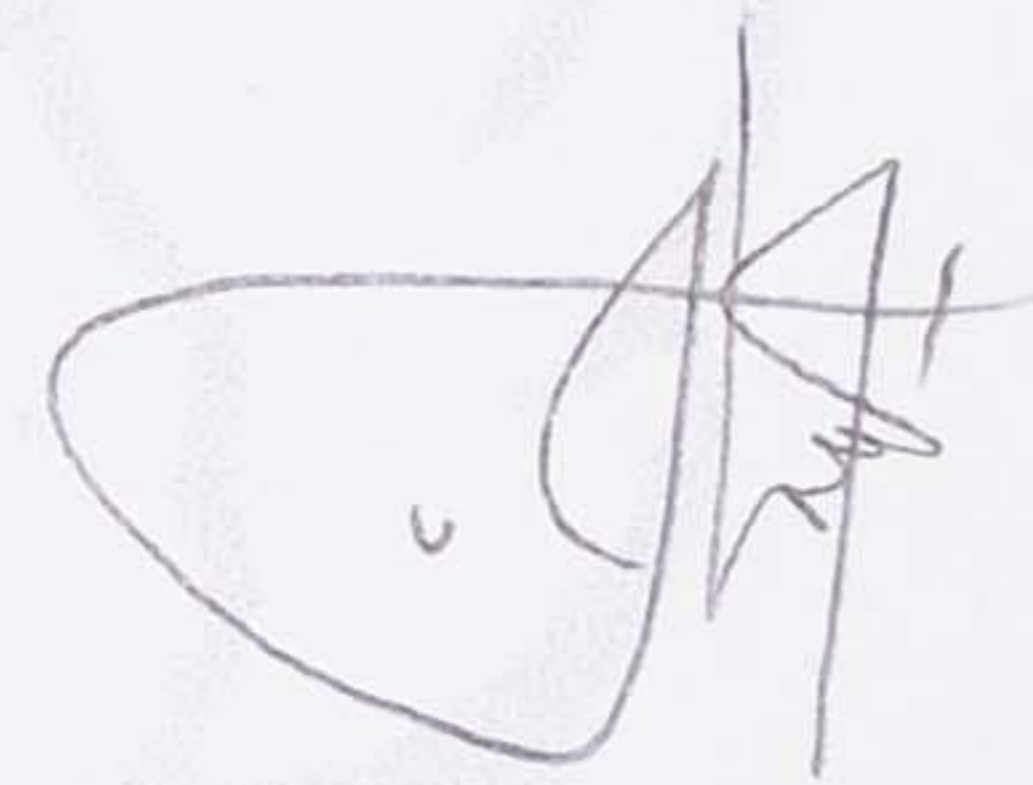
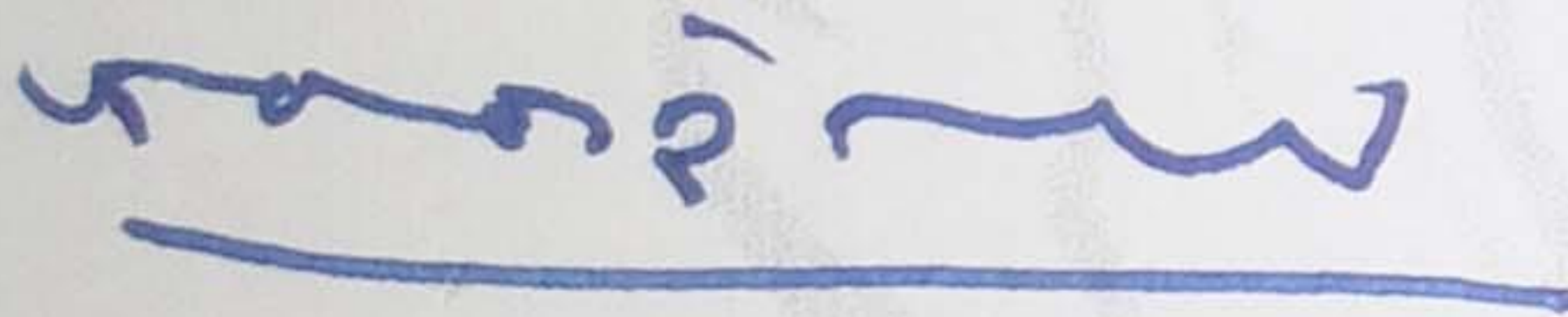
AKHBAR MUSTOFA

11.21.084

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Sudirman Indra, M.Sc.

Ir. Munasih, M.T.

NIP.Y.10183033354

NIP.Y.1028800187

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1

Institut Teknologi Nasional Malang



Ir. A. Agus Santosa, M.T.

NIP.Y.1018700155

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2015

ABSTRAKSI

Akhbar Mustofa, 1121084, (2015), “**Studi Perencanaan Struktur Portal Baja Menggunakan Baja Castella dan Kolom Komposit Pada Pembangunan Rehabilitasi Pasar Lumajang**”, Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Intitut Teknologi Nasional Malang, Dosen Pembimbing I : Ir. H. Sudirman Indra, MSc., Dosen Pembimbing II : Ir. Munasih, MT.

Seiring dengan berjalannya waktu, begitu pula dengan ilmu pengetahuan yang terus berkembang. Dituntutnya suatu kebutuhan, manusia tidak henti hentinya mengembangkan suatu ilmu pengetahuan yang dapat diaplikasikan di dalam kehidupan manusia yang selaras dengan sumber daya manusia. Dalam merencanakan suatu bangunan menggunakan struktur baja, diperlukan adanya alternatif perencanaan yang dimana dapat memberikan nilai tambah terhadap kekuatan maupun dari segi biaya.

Untuk merencanakan suatu bangunan yang menggunakan struktur baja, dapat direncanakan dengan alternatif baja *castella* yang dimaksudkan untuk mendapatkan profil yang lebih tinggi dari profil aslinya, sehingga memiliki kekuatan yang lebih besar juga. Dengan adanya lubang pada profil maka berat sendiri pada profil juga berkurang jika dibandingkan dengan profil yang memiliki tinggi yang sama.

Struktur kolom komposit merupakan alternatif dalam perencanaan bangunan, yang dimana merupakan profil baja yang dibungkus dengan beton. Keuntungan yang di dapat dari digunakannya struktur kolom komposit adalah kolom yang dapat memikul beban aksial tekan yang lebih besar dibanding kolom profil baja.

Dari hasil perhitungan didapatkan ukuran optimal profil baja castella 441.200.8.12 yang diperoleh dari profil H 294.200.8.12 dengan sudut pemotongan 45°. Untuk kolom komposit didapatkan dimensi 340 mm x 340 mm dengan profil baja pengisi 200.200.8.12, tulangan longitudinal didapat 4Ø14 dan tulangan transversal didapat Ø6-150.

Pada sambungan baja menggunakan Desain Faktor Beban Kapasitas dalam menghitung tebal plat, jumlah baut, dan kebutuhan las. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan kebutuhan sambungan yang optimal dan aman sesuai dengan beban yang berkerja pada struktur.

Kata Kunci : Baja Castella, Kolom Komposit, Sambungan Baja.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, Yang telah memberikan rahmat, taufik serta hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul. *“STUDI PERENCANAAN STRUKTUR PORTAL BAJA MENGGUNAKAN BAJA CASTELLA DAN KOLOM KOMPOSIT PADA PEMBANGUNAN REHABILITASI PASAR LUMAJANG”*.

Adapun tujuan dari skripsi ini adalah agar memenuhi syarat memperoleh gelar sarjana di Program Studi Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil kepada penulis, terutama kepada yang saya hormati :

1. Bapak **Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA** Selaku REKTOR ITN Malang.
2. Bapak **Ir. A. Agus Santosa, M.T.** Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
3. Bapak **Ir. Sudirman Indra, M.Sc.** selaku dosen pembimbing I
4. Ibu **Ir. Munasih, M.T.** selaku dosen pembimbing II
5. dan semua pihak yang membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 11 Juli 2015
Penulis,

Akhbar Mustofa
NIM : 11.21.084

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	
ABSTRAKSI	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR NOTASI	viii

Bab I : Pendahuluan

1.1 Latar belakang	1
1.2 Identifikasi masalah.....	2
1.3 Rumusan masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Ruang lingkup pembahasan.....	3

Bab II : Landasan Teori

2.1 Material Baja	5
2.2 Beban – beban yang bekerja pada konstruksi.....	6
2.2.1 Beban Mati.....	7
2.2.2 Beban Hidup	7
2.2.3 Beban Hidup Atap	7
2.2.4 Beban Angin	8
2.2.5 Beban Air Hujan	9
2.3 Teori Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) struktur baja.....	9
2.3.1 Faktor Reduksi.....	10
2.3.2 Kombinasi Dasar DFBK.....	10

2.4	Batang Lentur	12
2.5	Profil Baja <i>Castella</i>	15
2.5.1	Geometri Penampang <i>Castella Beam</i>	17
2.5.2	Desain Penampang Balok <i>Castella Beam</i>	17
2.6	Metode kolom komposit.....	26
2.6.1	Konsep Dasar.....	26
2.6.2	Kekuatan Kolom Komposit	27
2.6.3	Kombinasi Tekan dan Lentur	29
2.7	Perencanaan sambungan.....	30
2.7.1	Sambungan Balok Kolom.....	31
2.7.2	Sambungan Balok Ujung – Balok Ujung	35
2.7.3	Sambungan Las pada Plat Ujung.....	36
2.8	Plat landasan (Base plate)	38
2.9	Diagram Alir Analisis.....	43

Bab III : Data Perencanaan

3.1	Data perencanaan.....	45
-----	-----------------------	----

Bab IV : Perencanaan Konstruksi

4.1	Perencanaan Gording.....	46
4.2	Perencanaan Gording.....	58
4.2.1	Pembebanan Portal	58
4.2.2	Kombinasi Beban	65
4.3	Perencanaan Balok <i>Castella</i>	66
4.4	Perencanaan Kolom Komposit	80
4.5	Perencanaan Sambungan	86
4.5.1	Sambungan Puncak (Rafter)	86
4.5.2	Sambungan Balok Kolom	92
4.5.3	Sambungan Balok Kantilever	102
4.6	Perencanaan Sambungan <i>Base Plate</i>	112

Bab V : Kesimpulan

Daftar Pustaka.....

Lampiran.....

DAFTAR TABEL

Bab I : Pendahuluan

Bab II : Landasan Teori

2.1	Jenis Baja.....	5
2.2	Jarak Tepi Minimum	31
2.3	Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir.....	33
2.4	Ukuran minimum las sudut.....	36
2.5	Tipe elektroda las.....	37

Bab III : Data Perencanaan

Bab IV : Perencanaan Konstruksi

Bab V : Kesimpulan

DAFTAR GAMBAR

Bab I : Pendahuluan

Bab II : Landasan Teori

2.1	Distribusi tegangan pada level beban berbeda	12
2.2	Diagram tegangan regangan	13
2.3	Hexagonal Castellated beam	15
2.4	Circular Castellated beam.....	15
2.5	Octagonal Castellated beam	15
2.6	Tinggi setelah pemotongan baja	16
2.7	Dimensi geometri penampang Castellated beam.....	20
2.8	Penampang T	24
2.9	Gaya geser pada penampang T.....	25
2.10	Profil kolom komposit	26
2.11	Sambungan kolom - balok.....	31
2.12	Interaksi geser dan tarik pada baut	32
2.13	Sambungan balok ujung – balok ujung	35
2.14	Tebal (throat) efektif las sudut.....	36

2.15	Notasi pada plat landasan (<i>Base plate</i>).....	38
2.16	Beban yang bekerja pada <i>Base plate</i>	39
2.17	<i>Base plate</i> dengan eksentrisitas beban.....	39

Bab III : Data Perencanaan

Bab IV : Perencanaan Konstruksi

4.1	Arah gaya pada gording.....	47
4.2	Arah gaya pada beban hidup atap pada gording	50
4.3	Perhitungan statika gording sejarak 6 m.....	52
4.4	Lendutan maksimum yang terjadi pada gording	53
4.5	Jarak antar trekstang pada gording (<i>Ly</i>)	56
4.6	Gaya tarik pada trekstang	56
4.7	Pembebanan beban berat sendiri portal	58
4.8	Pembebanan beban atap dan gording	59
4.9	Pembebanan beban hidup atap	60
4.10	Pembebanan beban hidup hujan (<i>R</i>).....	60
4.11	Pembebanan beban angin pada portal	62
4.12	Modifikasi <i>Castellated beam</i>	67
4.13	Potongan balok T.....	69
4.14	Penampang melintang <i>castella</i>	70
4.15	Pemotongan dan penyambungan balok <i>castella</i>	71
4.16	Penampang potongan b-b balok <i>castella</i>	74
4.17	Pengaruh geser pada bagian penampang T.....	77
4.18	Perencanaan kolom komposit.....	80
4.19	Skema penyambungan balok - balok.....	86
4.20	Diagram tegangan baut.....	90
4.21	Tebal efektif las sudut (throat efektif)	91
4.22	Skema penyambungan balok - kolom	92
4.23	Diagram tegangan baut.....	96
4.24	Tebal efektif las sudut (throat efektif)	97
4.25	Perencanaan pengaku	100
4.26	Skema penyambungan balok kantilever - kolom	102

4.27	Diagram tegangan baut.....	106
4.28	Tebal efektif las sudut (throat efektif)	107
4.29	Perencanaan pengaku	110
4.30	Penampang base plate dan notasi	112
4.31	Beban yang berkerja pada base plate.....	114
4.32	Base plate dengan eksentrisitas beban.....	114
4.33	Perletakan angkur pada base plate.....	118
4.34	Tebal efektif las sudut (throat efektif)	119
4.35	Penampang base plate dan notasi	121
4.36	Beban yang berkerja pada base plate.....	122
4.37	Base plate dengan eksentrisitas beban.....	123
4.38	Perletakan angkur pada base plate.....	127
4.39	Tebal efektif las sudut (throat efektif)	127
4.40	Base plate setelah pemberian pengaku tambahan.....	129

Bab V : Kesimpulan

DAFTAR NOTASI

E	: Modulus Elastisitas Baja(200.000 MPa)
G	: Modulus Geser (79.300 MPa)
μ	: Angka Poisson (0,26)
f_y	: Tegangan leleh baja
Mn	: Momen lentur nominal (Nmm)
Mu	: Momen lentur akibat beban terfaktor (Nmm)
ϕ_b	: Faktor reduksi untuk lentur (0,9)
ϕ_c	: Faktor reduksi untuk tekan (0,75)
ϕ_t	: Faktor reduksi untuk tarik (0,75)
D	: Beban Mati (beban gaya berat dari elemen-elemen struktural)
L_r	: Beban Hidup Atap
W	: Beban angin
R	: Beban hujan
Z_x	: Modulus penampang arah x (mm^3)
I	: Momen inersia profil (mm^4)
dg	: Tinggi balok (castella) setelah peninggian (mm)
db	: Tinggi balok (balok asli) sebelum peninggian (mm)
Sg	: Modulus plastisitas penampang balok setelah peninggian (mm^3)
Sb	: Modulus plastisitas penampang balok sebelum peninggian (mm^3)
Kl	: Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.
h	: Pertambahan tinggi akibat pemotongan zig – zag (mm)
d_T	: Tinggi penampang T perlu (mm)
t_w	: Tebal badan balok (mm)

- t_f : Tebal flens penampang (mm)
 $\bar{\sigma}$: Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm²)
 σ_v : Tegangan geser ijin balok *castella* (N/mm²)
 θ : Sudut pemotongan *castella*
 σ_{\max} : Tegangan geser maksimum balok *castella* (N/mm²)
 V_u : Gaya geser yang terjadi (N)
 e : Panjang bidang horizontal (mm)
 s : Jarak antar panel (mm)
 I_g : Momen inersia balok *castella* (mm⁴)
 I_T : Momen inersia penampang T *castella* (mm⁴)
 t_f : Tebal *flens* penampang (mm)
 b_f : Lebar *flens* penampang (mm)
 λ_f : Rasio kelangsingan *flens* (sayap)
 λ_{pf} : Rasio kelangsingan maksimum pada *flens* untuk elemen kompak
 λ_w : Rasio kelangsingan *web* (badan)
 λ_{pw} : Rasio kelangsingan maksimum pada *web* untuk elemen kompak
 A_g : Luas bruto komponen struktur komposit, mm²
 A_{sr} : Luas batang tulangan menerus, mm²
 P_e : Beban tekuk kritis elastis (N)
 A_c : Luas beton (mm²)
 A_s : Luas penampang baja (mm²)
 E_c : Modulus elastisitas beton = $0,043W_c^{1,5}\sqrt{f'_c}$, (Mpa)
 C_1 : Koefisien untuk perhitungan kekakuan dari suatu komponen Struktur tekan komposit terbungkus beton.

- F_{ysr} : Tegangan leleh minimum yang diisyaratkan dari batang tulangan, (Mpa)
- I_c : Momen inersia penampang beton di sumbu netral elastis dari penampang komposit (mm^4)
- I_s : Momen inersia profil baja di sumbu netral elastis dari penampang komposit, (mm^4)
- I_{sr} : Momen inersia batang tulangan di sumbu netral elastis dari penampang komposit (mm^4)
- K : Faktor panjang efektif
- f'_c : Kekuatan tekan beton yang disyaratkan, Mpa
- W_c : Berat beton per unit volume ($1500 < W_c < 2500 \text{ kg/m}^3$)
- M_{nx} : Kuat lentur nominal terhadap sumbu x
- M_{ny} : Kuat lentur nominal terhadap sumbu y
- M_{ux} : Kuat lentur perlu terhadap sumbu x
- M_{uy} : Kuat lentur perlu terhadap sumbu y
- P_n : Kuat aksial nominal
- P_u : Kuat aksial perlu menggunakan kombinasi beban DFBK, (N)
- \emptyset : Faktor reduksi (untuk konektor harga itu dengan tipe kejadian, seperti 0,75 untuk retakan tarik. 0,65 untuk geser pada baut berkekuatan tinggi dan 0,75 untuk tumpuan baut pada sisi lubang).
- R_n : Kuat nominal baut (N)
- R_u : Beban terfaktor (N)
- S_1 : Jarak baut ke tepi (mm)
- S_2 : Jarak antar baut (mm)
- f_n : Tegangan tarik nominal, f_{nt} , atau tegangan geser, f_{nv} (MPa)

- A_b : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm^2)
 t_p : Tebal plat (mm)
 d : Diameter baut nominal (mm)
 f_{nt} : Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser (MPa)
 n_1 : Jumlah kolom baut
 n_2 : Jumlah baris baut
 f_u^b : Kuat tarik nominal baut
 α : Tinggi penampang tekan
 R_{uw} : Beban terfaktor las
 R_{nw} : Tahanan nominal per satuan panjang las (N/mm)
 t_e : Tebal efektif las (mm)
 a : tebal las sudut (mm)
 f_{uw} : Kuat tarik las
 L_w : Panjang las yang dibutuhkan
 N : Panjang *base plate* (mm)
 B : Lebar *base plate* (mm)
 A_1 : Luas permukaan *base plate* (mm^2)
 A_2 : Luas permukaan yang ditumpu *base plate* (mm^2)
 e : Jarak Eksentrisitas Beban (mm)
 T_u : Gaya tarik pada angkur
 q : Gaya merata pada plat (N/mm)
 t_p : Tebal *base plate*
 M_{pl} : Momen lentur terfaktor pada *base plate* (Nmm)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam mekanisme kehidupan manusia, bangunan adalah bagian yang sangat penting, karena didalam memenuhi kebutuhan hidupnya manusia akan senantiasa membutuhkan tempat tinggal dan fasilitas umum. Seiring dengan peningkatan kebutuhan manusia akan bangunan dan perkembangan teknologi yang semakin pesat, menuntut adanya kesiapan dan inovasi dalam perencanaan serta pelaksanaan pembangunan akan konstruksi bangunan.

Dalam pelaksanaan konstruksi baja sering dijumpai digunakan untuk kolom dan balok pada bangunan bertingkat, sistem penyangga atap, hanggar, jembatan, menara, antena, penahan tanah, pondasi tiang pancang, serta berbagai konstruksi sipil lainnya. Terlepas dari semua kekurangan dan kelebihan, struktur baja sangat cocok digunakan pada elemen – elemen truss, seperti kuda – kuda atap, menara antena, maupun struktur jembatan truss.

Dalam hal ini saya sebagai penulis merencanakan bagaimana dalam pelaksanaan konstruksi baja dapat direncanakan dengan se'ekonomis mungkin. yang dimana baja castella merupakan alternatif yang mampu memberikan momen inersia yang lebih besar dari profil baja biasa, dan kolom komposit dapat memberikan kapasitas pemikul beban yang lebih besar.

Berdasarkan dari tinjauan di atas maka penulisan skripsi ini penulis menggunakan judul “*Studi Perencanaan Struktur Portal baja Menggunakan Baja Castella Dan Kolom Komposit Pada Pembangunan Rehabilitasi Pasar Lumajang*”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan semakin meningkatnya kebutuhan akan tempat jual beli dan fasilitas yang kurang memadai akhir – akhir ini, maka Pemerintah Kabupaten Lumajang merehabilitasi sebuah pasar di Kabupaten Lumajang, yang dimana diharapkan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat sekitar.

Pada perkembangannya hingga sekarang ini pembangunan pasar mengalami kemajuan yang sangat pesat terutama pada bentuk dan material konstruksi seperti portal baja bentang panjang. Bila ditinjau dari data yang didapat, struktur dari bangunan pasar ini menggunakan portal baja. Dengan pertimbangan tersebut, maka penulis mencoba merencanakan struktur bangunan tersebut, dengan menggunakan alternatif *Baja Castella* dan *Kolom Komposit* diharapkan akan diperoleh hasil yang optimum yang sesuai dengan fungsi serta kelayakan dari segi teknik.

1.3 Rumusan Masalah

1. Berapa dimensi struktur atap baja dengan menggunakan alternatif *Baja Castella* yang diperlukan ?
2. Berapa dimensi Kolom dengan menggunakan alternatif *Kolom Komposit* yang diperlukan ?

3. Berapa Sambungan baut dan las yang diperlukan ?
4. Berapa plat landasan yang diperlukan ?

1.4 Tujuan

Tujuan direncanakannya struktur atas pasar Lumajang adalah :

- Mendapatkan Dimensi Struktur atap baja dengan alternatif menggunakan *Baja Castella*.
- Mendapatkan Dimensi kolom dengan alternatif menggunakan *Kolom Komposit*.
- Mendapatkan Sambungan baut dan las pada struktur portal baja.
- Mendapatkan plat landasan pada struktur portal baja.

1.5 Ruang Lingkup Pembahasan

Mengingat luasnya pembahasan dalam kontruksi baja, maka perlu adanya lingkup pembahasan tanpa mengurangi kejelasan dari penulisan skripsi ini. Mengingat pada dasarnya struktur bangunan pasar terdiri dari dua bagian utama, yaitu bangunan atas (Upper Structure) dan bangunan bawah (Sub Structure), maka penulis membatasi pembahasan pada struktur bangunan atas yang meliputi :

1. Merencanakan Dimensi Struktur atap baja dengan alternatif menggunakan *Baja Castella*.
2. Merencanakan Dimensi kolom dengan alternatif menggunakan *Kolom Komposit*.
3. Merencanakan sambungan baut dan las pada struktur portal baja.
4. Merencanakan plat landasan pada struktur portal baja.

Sedangkan dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menggunakan metode DFBK yang berpedoman kepada peraturan - peraturan yang ada di Indonesia dan Aplikasi program bantu, Yaitu :

1. SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
2. SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
3. Metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK), digunakan dalam perencanaan.
4. Program bantu STAAD Pro 2004, untuk perhitungan statika portal rangka baja dan kolom dengan perhitungan 2 D.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Material Baja

2.1.1 Sifat Mekanis Baja

Berikut merupakan sifat – sifat mekanis baja sktruktural :

- Modulus Elastisitas, E = 200.000 MPa
- Modulus Geser, G = 79.300 MPa
- Angka Poisson (μ) = 0,26
- Density = 7,85 g/cc

Catatan : 1 Mpa = 10 kg/cm²

Sumber : ASTM A36

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan regangan putusnya, mutu material baja dibagi menjadi 5 kelas mutu sebagai berikut :

Tabel 2.1 Jenis Baja

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum f_y (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber : SNI 03-1729-2002

2.2 Beban – Beban yang bekerja pada konstruksi

Beban adalah gaya yang bekerja pada suatu struktur, penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang sangat sulit. Dan pada umumnya penentuan besarnya beban yang merupakan suatu estimasi. Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi dari struktur dapat diketahui secara pasti, namun distribusi beban yang bekerja pada suatu lokasi dari elemen ke elemen, dalam suatu struktur umumnya memerlukan suatu asumsi dan pendekatan. Jika beban – beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka masalah berikutnya adalah menentukan kombinasi – kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut. Besar beban – beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku.

Beban-beban pada struktur bangunan bertingkat, menurut arah bekerjanya dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Beban Vertikal (*Gravitasi*).
 - Beban Mati (*Dead Load*).
 - Beban Hidup (*Live Load*).
 - Beban Air Hujan.
2. Horizontal (*Lateral*).
 - Beban Gempa (*Earthquake*).
 - Beban Angin (*Wind Load*).
 - Tekanan Tanah dan Air Tanah.

Pada perencanaan konstruksi bangunan ini, beban-beban yang diperhitungkan adalah beban mati, beban hidup, beban air hujan pada atap, beban angin pada atap, dan beban gempa.

2.2.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. *(SNI 1727:2013, Pasal 3)*

2.2.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. *(SNI 1727:2013, Pasal 4)*

2.2.3 Beban Hidup Atap

Beban pada atap yang diakibatkan (1) pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material dan (2) selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian. *(SNI 1727:2013, Pasal 4)*

2.2.4 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada bangunan atau bagiannya karena adanya selisih tekanan udara (hembusan angin kencang). Beban angin ini ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan angin), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang bangunan yang ditinjau.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727:2013, dalam menentukan tekanan angin tipe SPBAU (Sistem Penahan Beban angin utama) adalah dengan melalui beberapa langkah, yaitu :

1. Menentukan kategori risiko bangunan gedung atau struktur lain.
2. Menentukan kecepatan angin dasar, V (m/s), untuk kategori resiko yang sesuai.
3. Menentukan parameter beban angin :
 - Faktor arah angin, K_d
 - Kategori eksposur
 - Faktor topografi, K_{zt}
 - Faktor efek tiupan angin, G
 - Klasifikasi ketertutupan
 - Koefisien tekanan internal, G_{cpi}
4. Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h
5. Menentukan tekanan velositas q , atau q_h (N/m^2)
6. Menentukan koefisien tekanan eksternal, C_p atau C_N
7. Hitung tekanan angin, p (N/m^2), pada setiap permukaan bangunan gedung

2.2.5 Beban Air Hujan

Setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya.

$$R = 0,0098(ds+dh) \quad (\text{kg/m}^2) \quad (2.2.5-1)$$

Dimana : R = Beban air hujan pada atap yang tidak melendut, dalam (kN/m^2).

ds = Kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam (mm).

dh = Tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolis), dalam (mm).

2.3 Teori Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) Struktur Baja

Desain yang sesuai dengan ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) memenuhi persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK.

Desain harus dilakukan sesuai dengan persamaan :

$$R_u \geq \phi R_n \quad (2.3-1)$$

Dimana :

ϕ = Faktor Ketahanan

R_n = Kekuatan Nominal

ϕR_n = Kekuatan desain

R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK

Kekuatan harus dibuat sesuai dengan ketentuan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK). Kekuatan perlu komponen struktur dan sambungan harus ditentukan melalui analisis struktur untuk kombinasi beban yang sesuai. Desain harus berdasarkan pada prinsip bahwa kekuatan atau keadaan batas kemampuan layan tidak dilampaui saat struktur menahan semua kombinasi beban yang sesuai. (SNI 1729:2015, Pasal B3)

2.3.1 Faktor Reduksi

Faktor reduksi dalam perencanaan struktur berdasarkan metode DFBK ditentukan dalam SNI 1729:2015, sebagai berikut :

- | | |
|--|---------------|
| a) Komponen struktur memikul lentur | $\phi = 0,90$ |
| b) Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial | $\phi = 0,90$ |
| c) Komponen struktur yang memikul gaya tarik | |
| 1. Terhadap kuat tarik leleh | $\phi = 0,90$ |
| 2. Terhadap kuat tarik fraktur | $\phi = 0,75$ |
| d) Komponen struktur yang memikul gaya aksial dan lentur | $\phi = 0,90$ |
| e) Komponen struktur komposit | |
| 1. Kuat tekan | $\phi = 0,75$ |
| 2. Kuat tumpu beton | $\phi = 0,60$ |
| 3. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik | $\phi = 0,85$ |
| 4. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik | $\phi = 0,90$ |

- f) Sambungan baut $\phi = 0,75$
- g) Sambungan las
1. Las tumpul penetrasi penuh $\phi = 0,90$
 2. Las sudut, las tumpul penetrasi sebagian, las pengisi $\phi = 0,75$

2.3.2 Kombinasi Dasar DFBK

Struktur, Komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi.

Menurut SNI 1727:2013 kombinasi beban yang harus diperhitungkan adalah :

- $1,4 D$
- $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D \pm 1,0 E + L$
- $0,9 D + 1,0 W$
- $0,9 D + 1,0 E$

Dimana :

D = Beban Mati (beban gaya berat dari elemen-elemen struktural)

L = Beban Hidup (beban yang dapat bergerak)

Lr = Beban Hidup Atap

W = Beban angin

R = Beban hujan

E = Beban gempa

2.4 Batang lentur

Komponen struktur lentur memikul beban – beban gravitasi, seperti beban mati dan beban hidup. Komponen struktur ini merupakan kombinasi dari elemen tekan dan elemen tarik, sehingga konsep dari komponen struktur tarik dan tekan akan dikombinasikan. Komponen ini diasumsikan sebagai komponen tak tertekuk, karena bagian elemen mengalami tekan, sepenuhnya terkekang baik dalam arah sumbu kuat, maupun sumbu lemahnya. *Sumber : Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, Erlangga, 2008*

Distribusi tegangan pada profil WF akibat momen lentur diperlihatkan dalam gambar 2.1. Pada daerah beban layan, penampang masih elastis (gambar 2.1 a), kondisi elastis berlangsung hingga tegangan pada serat terluar mencapai kuat lelehnya (f_y). Setelah mencapai regangan leleh (ϵ_y), regangan leleh akan terus naik tanpa diikuti kenaikan tegangan. Ketika kuat leleh tercapai pada serat terluar (gambar 2.1 b), tahanan momen nominal sama dengan momen leleh M_{yx} , dan besarnya adalah :

$$M_n = M_{yx} = Z_x \cdot f_y \quad (2.4-1)$$

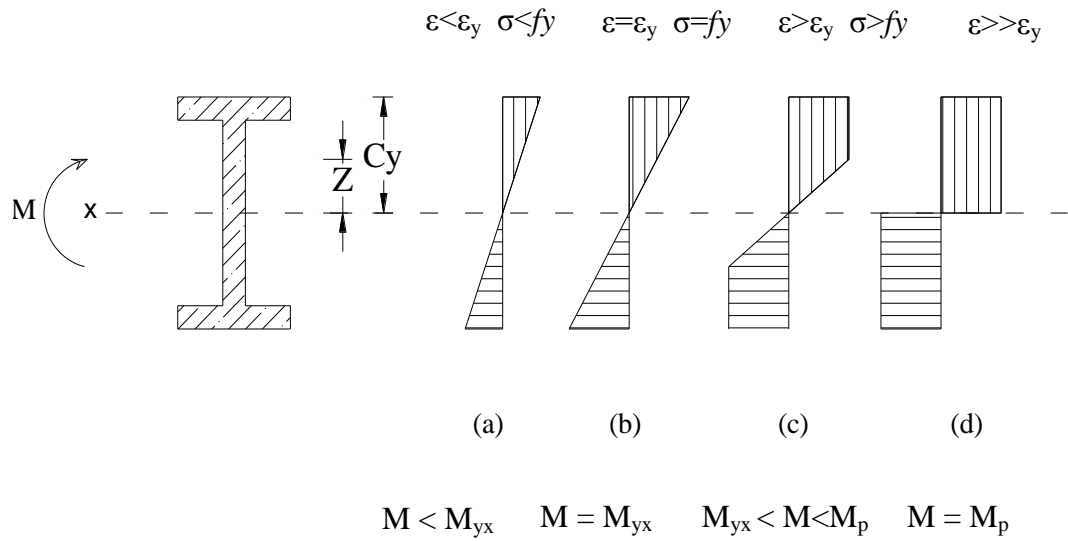
Dimana :

Z_x : Modulus penampang arah x

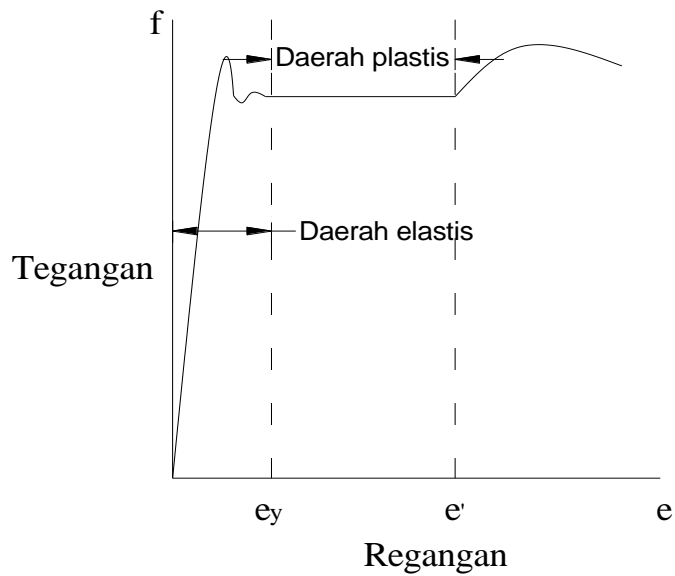
Dan pada saat kondisi pada gambar 2.1 d tercapai, semua serat dalam penampang melampaui regangan lelehnya, dan dinamakan kondisi *plastis*. Tahanan momen nominal dalam kondisi ini dinamakan momen plastis (M_p), yang besarnya adalah :

$$M_p = f_y \cdot Z \quad (2.4-2)$$

Dengan Z dikenal sebagai modulus plastis.



Gambar 2.1 Distribusi tegangan pada level beban berbeda



Gambar 2.2 Diagram tegangan – regangan material baja

Struktur batang lentur dikatakan aman apabila :

- Kontrol kekuatan lentur

$$M_u \leq \phi \cdot M_n \quad (2.4-3)$$

Dimana :

\emptyset : Faktor reduksi untuk lentur (0,9)

M_n : Momen lentur nominal (Nmm)

M_u : Momen lentur akibat beban terfaktor (Nmm)

- Kontrol Lendutan Akibat Momen

$$\frac{1}{240} L > \frac{5.M.L^2}{48.EI} \quad (2.4-4)$$

Dimana :

L : Panjang gelagar (m)

M : Momen Maksimal (Nmm)

E : Modulus elastisitas baja (N/mm²)

I : Momen inersia profil (mm⁴)

- Kontrol Lendutan Akibat Beban Merata

$$\frac{1}{240} L > \frac{5.q.L^4}{384.EI} \quad (2.4-5)$$

Dimana :

L : Panjang gelagar (m)

q : Beban merata (N/mm)

E : Modulus elastisitas baja (N/mm²)

I : Momen inersia profil (mm^4)

- Kontrol Lentutan Akibat Beban Terpusat

$$\frac{1}{240}L > \frac{P.L^3}{48.EI} \quad (2.4-6)$$

Dimana :

L : Panjang gelagar (m)

P : Beban terpusat (N)

E : Modulus elastisitas baja (N/mm^2)

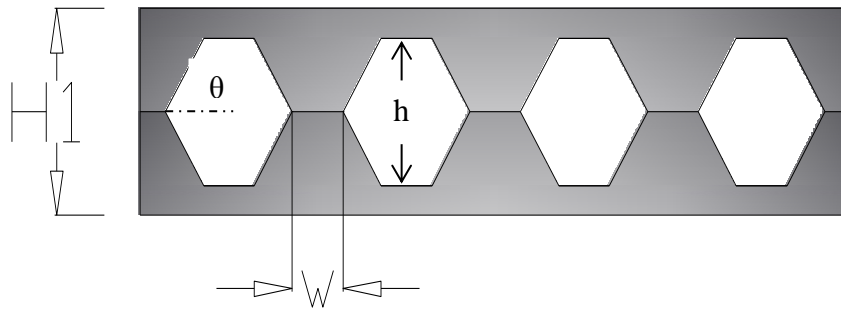
I : Momen inersia profil (mm^4)

2.5 Profil Baja *Castella*

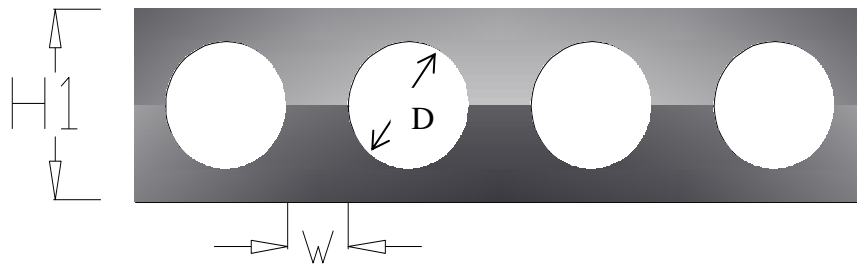
Saat ini banyak sekali berbagai penelitian yang dilakukan oleh para ahli untuk menemukan berbagai solusi – solusi baru dalam mengurangi biaya pembangunan konstruksi baja. Karena adanya batasan – batasan terhadap defleksi maksimum yang diijinkan, sehingga kekuatan dari struktur baja tidak dapat keuntungan yang terbaik. Oleh karna itu, beberapa metode baru ditemukan untuk meningkatkan kekuatan komponen struktur baja tanpa meningkatkan berat baja itu sendiri. Salah satu dari sekian solusinya adalah penggunaan *Castellated Beam*. (Sevak Demirdjian, 1999)

Profil baja *Castellated Beam* ialah profil baja I, H, atau U yang kemudian pada bagian badannya potongan memanjang dengan pola zig – zag. Kemudian bentuk dasar profil baja diubah dengan menggeser atau membalik setengah bagian profil baja dengan cara dilas pada bagian “gigi – giginya”. Sehingga terbentuk

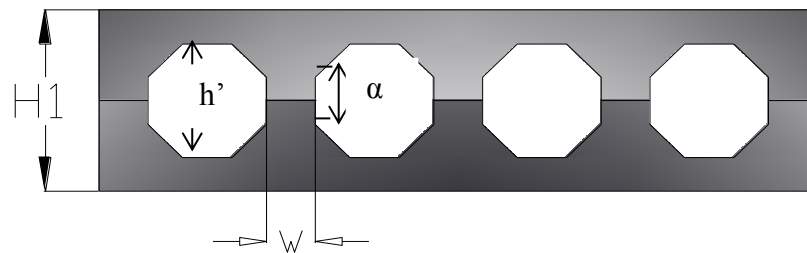
profil baja baru dengan lubang berbentuk segi enam (hexagonal), segi delapan (Octagonal) dan lingkaran (Circular). (*Johann Grunbauer, 2001*)



Gambar 2.3 Hexagonal Castellated beam



Gambar 2.4 Circular Castellated beam



Gambar 2.5 Octagonal Castellated beam

2.5.1 Geometri Penampang Castella Beam

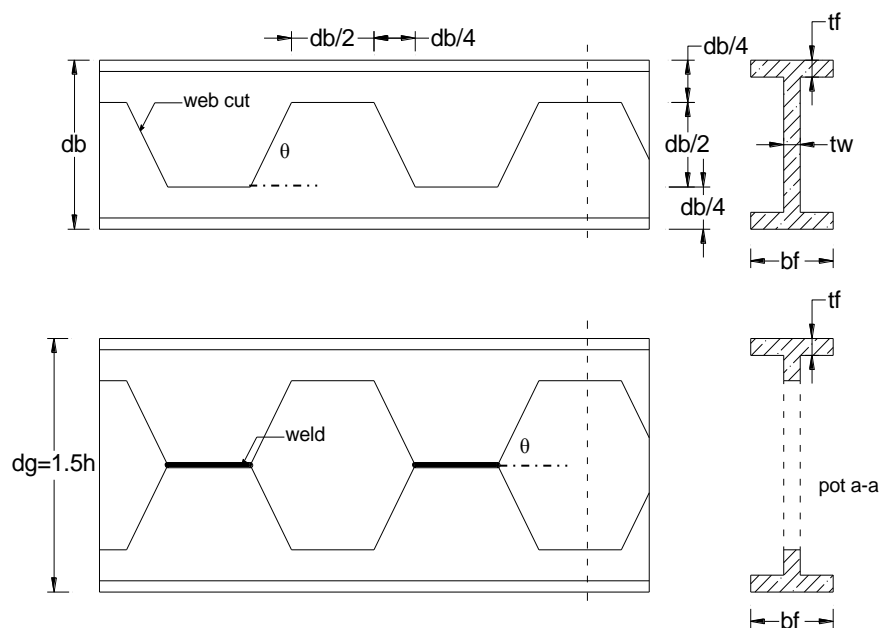
Geometri penampang castella beam dibagi menjadi tiga parameter, yaitu: (L. Amayreh dan M. P. Saka, 2005)

1. Sudut Pemotongan (θ)

Sudut Pemotongan (θ) mempengaruhi jumlah *castellation* (N per unit panjang). Riset membuktikan bahwa dengan adanya penambahan N tidak berpengaruh banyak terhadap kekakuan elastis *Castellated Beam*, akan tetapi perlu meningkatkan daktilitas serta kapasitas rotasi. Sudut pemotongan berkisar antara 45° - 70° .

2. Ekspansion Ratio (α)

Ekspansion ratio (α) adalah ratio penambahan tinggi yang dicapai *castellation* secara teoritis tinggi asli balok bertambah 50% dari tinggi semula, namun secara keseluruhan ketinggian pada bagian T (*tee section*) terdapat faktor pembatas.



Gambar 2.6 Tinggi Setelah Pemotongan Baja

3. *Welding Lenght (e)*

Bila panjang bidang disambung (las) terlalu pendek. Maka akan terjadi kegagalan gaya geser horizontal pada badan profil, begitu juga sebaliknya apabila panjang bidang yang disambung (las) terlalu panjang, berdampak pada pertambahan panjang bagian T (*tee section*) dimana akan terjadi kegagalan lentur *Vierendeel*. Jadi, panjang yang diijinkan untuk dua tipe kegagalan tersebut. (*Sevak Demirdjian,1999*)

2.5.2 *Desain penampang Balok Castellated Beam*

Desain *Castellated Beam* berdasarkan *Design of Welded Structure*, mengenai *Open web expanded beams and girders*.

- A. Menentukan modulus plastisitas tampang yang diperlukan balok *Castella*(Z_g) untuk momen lentur maksimum.

$$S_g = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y} \quad (2.5.2-1)$$

Dimana :

S_g : Modulus plastisitas penampang balok (cm^3)

M_u : Momen ultimate (kgcm)

ϕ : Faktor reduksi (0,90 : untuk lentur)

f_y : Tegangan leleh profil (kg/cm^2)

- B. Menentukan perbandingan tinggi balok castella dengan tinggi balok aslinya.

Diamsumsikan kenaikan tinggi balok mencapai 1,5 kali dari tinggi balok aslinya.

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \quad (2.5.2-2)$$

$$1,5 = \frac{d_g}{d_b} = \frac{S_g}{S_b} \quad (2.5.2-3)$$

$$S_b = \frac{S_g}{1,5} \quad (2.5.2-4)$$

Dimana :

- K_1 : Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.
- d_g : Tinggi balok (*castella*) setelah peninggian (mm)
- d_b : Tinggi balok (balok asli) sebelum peninggian (mm)
- S_g : Modulus plastisitas penampang balok setelah peninggian (mm³)
- S_b : Modulus plastisitas penampang balok sebelum peninggian (mm³)

Menentukan nilai perbandingan tinggi (K_1) yang sebenarnya

$$K_1 = \frac{S_g}{S_b} \quad (2.5.2-5)$$

C. Menentukan tinggi pemotongan zig – zag (h) :

$$h = d_b \cdot (K_1 - 1) \quad (2.5.2-6)$$

Dimana :

- h : Pertambahan tinggi akibat pemotongan zig – zag (mm)
- K_1 : Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.

D. Perkiraan tinggi penampangan T yang diperlukan :

(*Design of welded structure, hal 4.7 – 15*)

$$d_T = \frac{V_u}{2 \cdot t_w \cdot 0,4 \cdot f_y} \quad (2.5.2-7)$$

Dimana :

d_T : Tinggi penampang T perlu (mm)

V_u : Gaya geser terfaktor (kg)

t_w : Tebal badan balok (mm)

f_y : Tegangan leleh profil (kg/cm²)

E. Menentukan tinggi balok castella :

$$d_g = d_b + h \quad (2.5.2-8)$$

Dimana :

d_g : Tinggi balok (*castella*) setelah peninggian (mm)

F. Menentukan tinggi dan tangkai penampang T

$$d_T = \frac{d_g}{2} - h \quad (2.5.2-9)$$

Dimana :

d_T : Tinggi penampang T (mm)

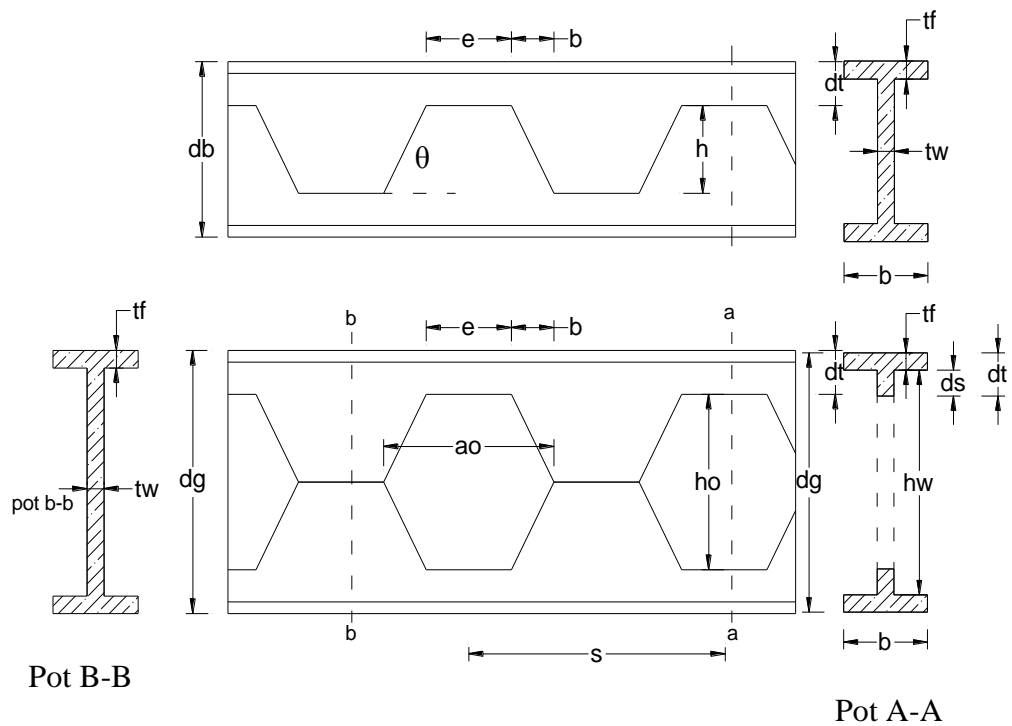
$$d_s = d_T - t_f \quad (2.5.2-10)$$

Dimana :

d_s : Tinggi tangkai penampang T (mm)

d_T : Tinggi penampang T (mm)

t_f : Tebal flens penampang (mm)



Gambar 2.7. Dimensi geometri penampang *Castellated Beam*

G. Menentukan tegangan lentur ijin plat badan balok *castella* :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,434}{Cc^2} \cdot \left(\frac{h}{tw} \right)^2 \right) \cdot 0,6 \cdot f_y \quad (2.5.2-11)$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}}$$

Dimana :

$\bar{\sigma}$: Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm²)

f_y : Tegangan leleh profil (N/mm²)

H. Menentukan tegangan geser balok *castella* :

$$\sigma_v = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \theta}{180} \right)^2}{3 \cdot \tan \theta} \cdot \bar{\sigma} \leq 0,4 \cdot f_y \quad (2.5.2-12)$$

Dimana :

σ_v : Tegangan geser ijin balok *castella* (N/mm²)

θ : Sudut dalam

$\bar{\sigma}$: Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm²)

I. Menentukan tegangan geser maksimum balok *castella* :

$$\sigma_{\max} = 1,16 \cdot \frac{95\% \cdot V}{t_w \cdot d_g} \quad (2.5.2-13)$$

Dimana :

σ_{\max} : Tegangan geser maksimum balok *castella* (N/mm²)

V : Gaya geser yang terjadi (N)

J. Rasio tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok berlubang (K_2) :

$$\frac{e}{s} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_v} = K_2 \quad (2.5.2-14)$$

K. Menentukan panjang bidang horizontal dan jarak antar panel :

$$e \geq \frac{2 \cdot h \cdot \tan \theta}{\frac{1}{K_2} - 2} \quad (2.5.2-15)$$

$$s = 2 \cdot (e + h \cdot \tan \theta) \quad (2.5.5-16)$$

Dimana :

e : Panjang bidang horizontal (mm)

s : Jarak antar panel (mm)

L. Menentukan ukuran dimensi balok *castella* :

Luas penampang T balok *castella* :

$$A_T \geq A_f + A_s \quad (2.5.2-17)$$

Modulus kelembaman penampang T balok *castella* :

$$S_T = A_f \cdot \left(d_s + \frac{t_f}{2} \right) + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \quad (2.5.2-18)$$

Modulus inersia penampang T balok *castella* :

$$I_T = A_f \cdot \left(d_s^2 + d_s \cdot t_f + \frac{t_f^2}{3} \right) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \quad (2.5.2-19)$$

Jarak garis berat penampang T pada ujung tangkai balok *castella* :

$$C_s = \frac{S_T}{A_T} \quad (2.5.2-20)$$

Momen inersia tangkai penampang T:

$$I_t = I_T - C_s \cdot S_T \quad (2.5.2-21)$$

Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} \quad (2.5.2-22)$$

Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$d = 2 \cdot (h + C_s) \quad (2.5.2-23)$$

Momen inersia balok *castella*:

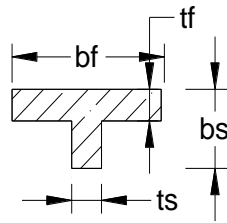
$$I_g = 2 \cdot I_t + \frac{A_T \cdot d^2}{2} \quad (2.5.2-24)$$

Modulus tahanan balok *castella*:

$$S_g = \frac{2 \cdot I_g}{d_g} \quad (2.5.2-25)$$

M. Pemeriksaan bagian T yang merupakan bagian yang mengalami gaya tekan aksial :

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \frac{3000}{\sqrt{f_y}} \quad \frac{b_s}{t_s} \leq \frac{4000}{\sqrt{f_y}} \quad (2.5.2-26)$$



Gambar 2.8. Penampang T

N. Menentukan profil, kontrol kriteria dan kapasitas penampang :

Batas – batas kelangsingan adalah :

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2.t_f} < \lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.5.2-27)$$

$$\lambda_w = \frac{dg}{t_w} < \lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.5.2-28)$$

Dimana :

E : Modulus elastisitas baja (N/mm^2)

t_f : Tebal *flens* penampang (mm)

b_f : Lebar *flens* penampang (mm)

t_w : Tebal *web* (badan) penampang (mm)

dg : Tinggi bersih *web* (badan) penampang *Castella* (mm)

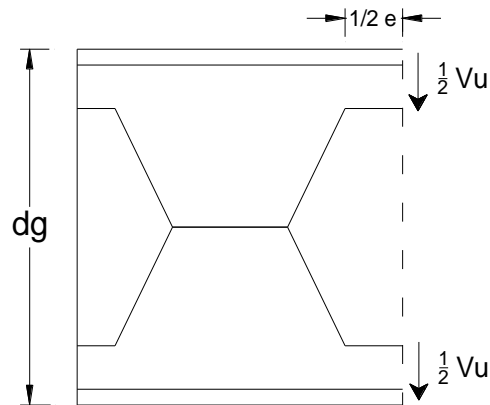
λ_f : Rasio kelangsingan *flens* (sayap)

λ_{pf} : Rasio kelangsingan maksimum pada *flens* untuk elemen kompak

λ_w : Rasio kelangsingan *web* (badan)

λ_{pw} : Rasio kelangsingan maksimum pada *web* untuk elemen kompak

O. Kontrol tegangan :



Gambar 2.9. Gaya geser pada penampang T

$$\sigma T + \sigma b \leq \bar{\sigma} \quad (2.5.2-29)$$

Tegangan lentur primer :

$$\sigma b = \frac{F}{AT} = \frac{M}{d \cdot AT} \quad (2.5.2-30)$$

Tegangan lentur sekunder :

$$\sigma T = \frac{V \cdot e}{4 \cdot Z_s} \quad (2.5.2-31)$$

Tegangan lentur ijin :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{2,609}{cc^2} \cdot \left(\frac{h}{tw} \right)^2 \right) \cdot 0,6 \cdot f_y \quad (2.5.2-32)$$

Dimana :

σT : Tegangan lentur sekunder (N/mm²)

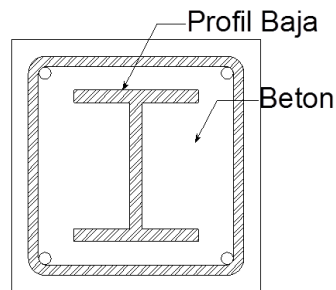
σb : Tegangan tarik dan desak (N/mm²)

$\bar{\sigma}$: Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm²)

2.6 Metode Kolom Komposit

2.6.1 Konsep Dasar

Kolom komposit dapat dibentuk dari pipa baja yang diisi dengan beton polos atau dapat pula dari profil baja hasil gilas panas yang dibungkus dengan beton dan diberi tulangan baja serta sengkang, seperti halnya pada kolom beton biasa. Analisis dari kolom komposit hampir sama dengan analisis komponen struktur tekan, namun dengan beberapa nilai yang dimodifikasi.



Gambar 2.10. Profil kolom komposit

Persyaratan bagi suatu kolom komposit dalam SNI 03-1729-2015 pasal I2

Batasan – batasan berikut harus dipenuhi suatu kolom komposit :

- Luas penampang profil baja minimal sebesar 1% dari luas total penampang melintang kolom komposit. Jika tidak terpenuhi maka komponen struktur tersebut akan beraksi sebagai kolom biasa.
- Untuk profil baja yang diselubungi beton, persyaratan berikut harus dipenuhi :
 1. Tulangan longitudinal dan lateral harus digunakan, jarak antar pengikat lateral, batang tulangan 10 mm berspasi maksimum 305 mm dari pusat ke pusat. Boleh digunakan tulangan kawat ulir atau

kawat dilas dengan luas ekuivalen. Spasi maksimum dari pengikat lateral tidak boleh melebihi 0,5 kali dimensi kolom terkecil.

2. Selimut beton harus diberikan minimal 40 mm dari tepi terluar tulangan *longitudinal* dan *transversal*.
 3. Tulangan *longitudinal* harus dibuat menerus pada lantai tingkat kecuali tulangan *longitudinal* yang berfungsi sebagai kekangan beton.
- Kuat tekan beton $f'c$ berkisar 21 hingga 70 MPa untuk beton normal.
 - Tegangan leleh profil baja dan tulangan *longitudinal* tidak boleh melebihi 380 MPa.
 - Rasio tulangan minimum ρ_{sr} sebesar 0,004 digunakan untuk penulangan longitudinal menerus, dimana ρ_{sr} adalah :

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g}$$

Keterangan :

A_g = Luas bruto komponen struktur komposit, mm²

A_{sr} = Luas batang tulangan menerus, mm²

2.6.2 Kekuatan Kolom Komposit

Tata cara kekuatan tekan kolom komposit diatur dalam SNI 03-1729-2015 pasal 1b. Kekuatan tekan desain $\phi_c P_n$, dan kekuatan tekan yang diizinkan, P_n / Ω_c , komponen struktur komposit terbungkus beton yang dibebani secara aksial simetris ganda harus ditentukan untuk keadaan batas dari tekuk lentur berdasarkan kelangsingan komponen struktur sebagai berikut :

$$P_u \leq \phi_c P_n \quad (2.6.1)$$

a. Bila $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2,25$

$$P_n = P_{no} \left(0,658 \frac{P_{no}}{P_e} \right) \quad (2.6.2)$$

b. Bila $\frac{P_{no}}{P_e} > 2,25$

$$P_n = 0,887 P_e \quad (2.6.3)$$

Dimana :

$$\phi_c = 0,75 \text{ (DFBK)}$$

$$P_{no} = f_y A_s + f_{ysr} A_{sr} + 0,85 f'_c A_c$$

P_e = Beban tekuk kritis elastis ditentukan menurut Bab C atau lampiran 7, (N)

$$= \pi^2 \cdot (E I_{eff}) / (KL)^2$$

A_c = Luas beton (mm²)

A_s = Luas penampang baja (mm²)

E_c = Modulus elastisitas beton = $0,043 W_c^{1,5} \sqrt{f'_c}$, (Mpa)

$E I_{eff}$ = Kekakuan efektif penampang komposit, (N-mm²)

$$= E_s I_s + 0,5 E_s I_{sr} + C_1 E_c I_c$$

C_1 = Koefisien untuk perhitungan kekakuan dari suatu komponen

Struktur tekan komposit terbungkus beton

$$= 0,1 + 2 \cdot \left(\frac{A_s}{A_c + A_s} \right) \leq 0,3$$

E_s = Modulus elastisitas baja = 200000 Mpa

f_y = Tegangan leleh minimum yang diisyaratkan dari penampang baja, (Mpa)

- Fysr = Tegangan leleh minimum yang diisyaratkan dari batang tulangan, (Mpa)
- Ic = Momen inersia penampang beton di sumbu netral elastis dari penampang komposit (mm⁴)
- Is = Momen inersia profil baja di sumbu netral elastis dari penampang komposit, (mm⁴)
- Isr = Momen inersia batang tulangan di sumbu netral elastis dari penampang komposit (mm⁴)
- K = Faktor panjang efektif
- L = Panjang tanpa breising secara lateral dari komponen struktur, mm
- f'_c = Kekuatan tekan beton yang diisyaratkan, Mpa
- Wc = Berat beton per unit volume (1500 < Wc < 2500 kg/m³)

2.6.3 Kombinasi Tekan dan Lentur

Interaksi beban aksial tekan dan lentur pada bidang simetris komponen struktur komposit ditentukan berdasarkan persamaan – persamaan berikut :

(SNI 1729:2015)

- Untuk $\frac{Pu}{\phi_c \times P_n} \geq 0,2$ (2.6.3-1)

$$\frac{Pu}{\phi_c \times P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

- Untuk $\frac{Pu}{\phi_c \times P_n} \leq 0,2$ (2.6.3-2)

$$\frac{Pu}{2 \times \phi_c \times P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

Dimana :

M_{nx} = Kuat lentur nominal terhadap sumbu x

M_{ny} = Kuat lentur nominal terhadap sumbu y

M_{ux} = Kuat lentur perlu terhadap sumbu x

M_{uy} = Kuat lentur perlu terhadap sumbu y

P_n = Kuat aksial nominal

P_u = Kuat aksial perlu menggunakan kombinasi beban DFBK, (N)

2.7 Perencanaan Sambungan

Sambungan dalam suatu struktur merupakan bagian yang tidak mungkin diabaikan begitu saja, karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan.

Syarat – syarat sambungan :

- Harus kuat, aman tetapi cukup ekonomis.
- Mudah dalam pelaksanaan pemasangan dilapangan.
- Persyaratan keamanan yang diberikan DFBK untuk peyambung persamaannya menjadi :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.7-1)$$

Dimana :

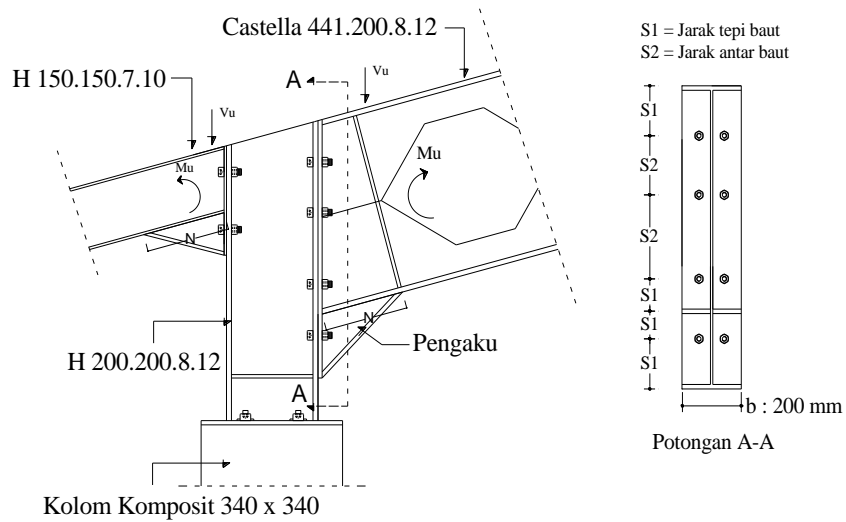
ϕ = Faktor reduksi (untuk konektor harga itu dengan tipe kejadian, seperti 0,75 untuk retakan tarik. 0,65 untuk geser pada baut berkekuatan tinggi dan 0,75 untuk tumpuan baut pada sisi lubang).

R_n = Kuat nominal baut

R_u = Beban terfaktor

2.7.1 Sambungan Balok Kolom

Sambungan Momen Plat Ujung (*End-plate moment connection*)



Gambar 2.11 Sambungan kolom – balok

Perencanaan sambungan Baut

Kontrol jarak antar baut :

- Jarak baut ke tepi (S1)

Tabel 2.2 Jarak Tepi Minimum

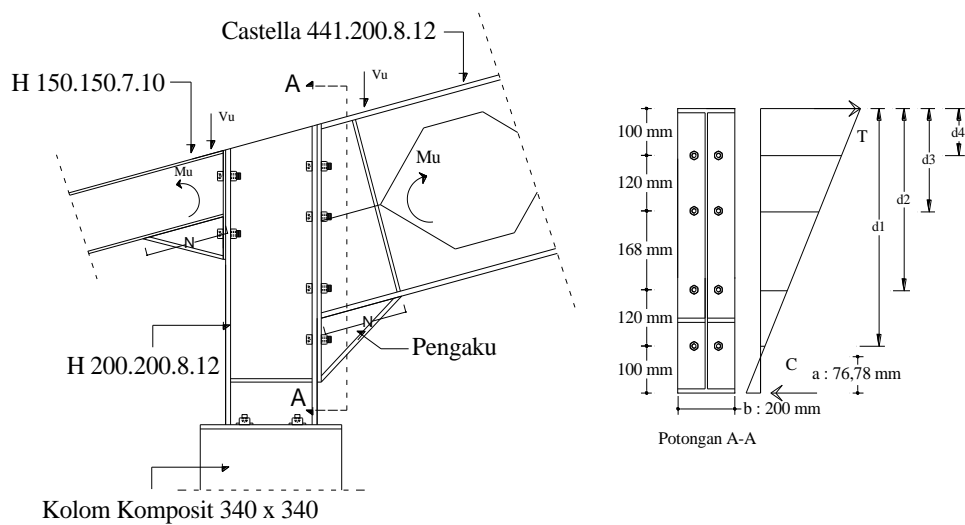
Diameter baut (in.)	Jarak tepi minimum
1/2	3/4
5/8	7/8
3/4	1
7/8	1 1/8
1	1 1/4
1 1/8	1 1/2
1 1/4	1 5/8
Di atas 1 1/4	1 1/4 x d

b. Jarak antar baut (S2)

Jarak antara pusat – pusat standar, ukuran berlebih, atau lubang – lubang slot tidak boleh kurang dari $2 \frac{2}{3}$ kali diameter nominal, d , dari pengencang, jarak $3d$ yang lebih umum.

Sumber : SNI 1729:2015, hal 128

Interaksi Geser dan Tarik pada Baut



Gambar 2.12 Interaksi Geser dan Tarik pada Baut

Kuat nominal terhadap tarik dan geser :

$$\phi . Rn = fn . Ab \quad (2.7.1-1)$$

Dimana :

Rn : Kuat tarik nominal

ϕ : Faktor reduksi tarik (0,75)

fn : Tegangan tarik nominal, fnt , atau tegangan geser, fnv (MPa)

Ab : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm^2)

Tabel 2.3 Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir

Deskripsi pengencang	Kekuatan tarik nominal, f_{nt} (MPa)	Kekuatan geser nominal dalam sambungan tipe tumpu, f_{nv} (MPa)
Baut A307	310	188
Baut group A(misal,A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	620	372
Baut group A(misal,A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	620	457
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	780	457
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	780	579
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 f_u$	$0,45 f_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	$0,75 f_u$	$0,563 f_u$

Kuat nominal tumpu pada lubang – lubang baut :

$$\emptyset \cdot R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t_p \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t_p \cdot f_u \quad (2.7.1-2)$$

Dimana :

R_n : Kuat tumpu nominal

\emptyset : Faktor reduksi tumpu (0,75)

f_u : Kuat tarik putus terendah dari baut atau plat (MPa)

t_p : Tebal plat (mm)

d : Diameter baut nominal (mm)

lc : Jarak bersih, dalam arah gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan atau tepi dari baut atau plat (mm)

Menentukan Jumlah Baut :

$$n = \frac{Ru}{\emptyset.R_n} \quad (2.7.1-3)$$

Dimana :

n : Jumlah baut

R_n : Tahanan nominal baut

Ru : Beban terfaktor

Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$\emptyset.R_n = f'nt . A_b \quad (2.7.1-4)$$

Sumber : SNI 1729:2015

Catatan : Bila tegangan yang diperlukan (f_{rv}) kurang dari atau sama dengan 30 % dari tegangan yang tersedia, maka efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa.

$$f'nt = 1,3 . fnt - \frac{fnt}{\emptyset.fnv} \quad f_{rv} \leq fnt \quad (2.7.1-5)$$

Dimana :

A_b : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm^2)

$f'nt$: Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser (MPa)

\emptyset : Faktor reduksi (0,75)

fnt : Tegangan tarik nominal (MPa)

fnv : Tegangan geser (MPa)

f_{rv} : Tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban DFBK (MPa)

Kontrol terhadap momen :

$$\phi . M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i \quad (2.7.1-6)$$

$$a = \frac{0,75 \cdot f_u^b \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b}{f_y \cdot b} \quad (2.7.1-7)$$

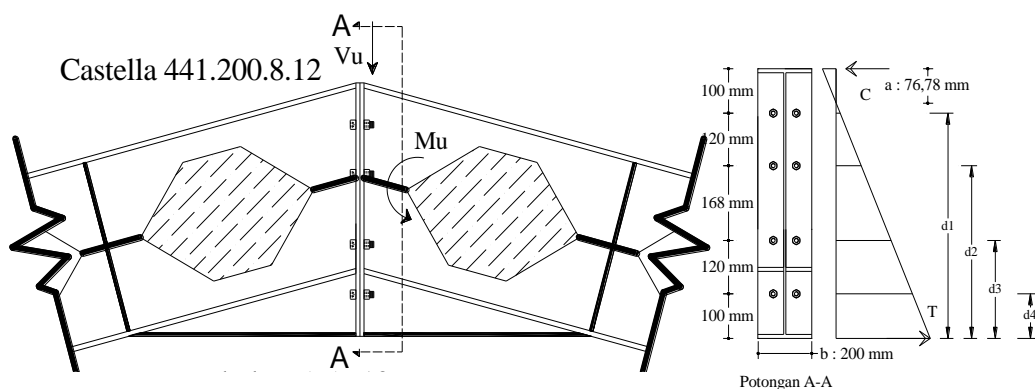
$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \cdot f_u^b \cdot n_1 \cdot A_b \cdot \Sigma d \quad (2.7.1-8)$$

Dimana :

- n_1 : Jumlah kolom baut
- n_2 : Jumlah baris baut
- A_b : Luas penampang baut
- Σd : Penjumlahan d
- b : Lebar balok
- a : Tinggi penampang tekan
- f_u^b : Kuat tarik nominal baut
- f_y : Tegangan leleh

2.7.2 Sambungan Balok Ujung - Balok Ujung

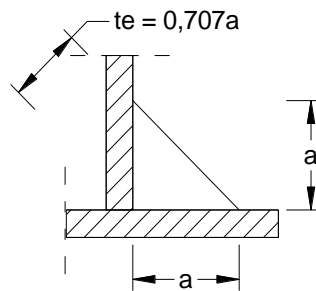
Sambungan Momen Plat Ujung (*End-plate moment connection*)



Gambar 2.13 Sambungan Balok ujung – Balok ujung

Pada prinsipnya menggunakan sambungan momen plat ujung (*End-plate moment connection*) yang telah dibahas sebelumnya pada sub bab sambungan kolom – balok.

2.7.3 Sambungan Las pada Plat Ujung



Gambar 2.14 Tebal(throat) efektif las sudut

Tebal Las Sudut

Tabel 2.4 Ukuran minimum las sudut

Tebal plat (t) mm	Ukuran min. Las sudut, a (mm)
$t \leq 6$	3
$6 \leq t \leq 13$	5
$13 \leq t \leq 19$	6
$t > 19$	8

Sumber : SNI 1729:2015

Ukuran maksimum dari las sudut dari bagian – bagian yang tersambung harus :

- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, tidak lebih besar dari ketebalan material.
- Sepanjang tepi material dengan ketebalan 6 mm atau lebih, tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm, kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar pelaksanaan untuk memperoleh ketebalan throat penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara

tepi logam dasar dan ujung kaki las boleh kurang dari 2 mm bila ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.

Kontrol sambungan las

$$R_u \leq \phi R_{nw} \quad (2.7.2-1)$$

Dimana :

R_u : Beban terfaktor las

R_{nw} : Tahanan nominal per satuan panjang las

ϕ : Faktor reduksi (0,75)

Tabel 2.5 Tipe Elektroda las

Elektroda	Tegangan leleh minimum		Kuat tarik minimum (f_{uw})	
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)
E 60	50	354	67	460
E 70	57	495	70	485
E 80	67	460	72	495
E 100	87	600	100	690
E 110	97	670	110	760

Sumber:(*Padosbajayo, 1994*)

Tahanan nominal Las

$$\phi R_{nw} = \phi . t_e . 0,6 f_{uw} \quad (2.7.2-2)$$

Dimana :

ϕ : Faktor reduksi (0,75)

t_e : Tebal efektif las (0,707a) dengan a = tebal las sudut

f_{uw} : Kuat tarik las

Panjang Las yang dibutuhkan :

$$L_w = \frac{R_u}{\phi \times R_{nw}} \quad (2.7.2-3)$$

Dimana :

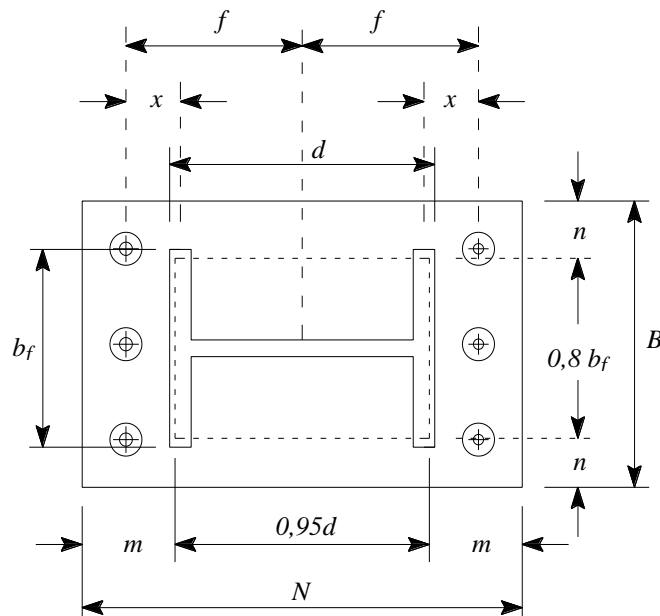
L_w : Panjang las yang dibutuhkan

R_u : Beban terfaktor (N)

R_{nw} : Tahanan nominal per satuan panjang las (N/mm)

2.8 Plat landasan (*Base plate*)

Dalam perencanaan suatu struktur baja , bagian penghubung antara kolom struktur dengan pondasi sering disebut dengan istilah Plat landasan (*base plate*). Pada umumnya suatu struktur base plate terdiri dari suatu plat, angkur serta sirip-sirip pengaku (*stiffener*). Suatu struktur base plate dan angkur harus memiliki kemampuan untuk mentransfer gaya geser, gaya aksial dan momen lentur ke pondasi.

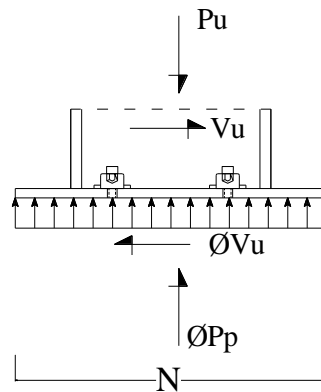


Gambar 2.15 Notasi pada plat landasan (*Base Plate*)

Dalam perencanaan suatu struktur base plate biasanya dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu tipe dimana base plate tanpa beban momen lentur, atau dalam bentuk idealisasi tumpuan, adalah tumpuan sendi. Dan base plate dengan beban momen lentur yang terjadi, angkur harus didesain agar dapat menahan gaya uplift serta gaya geser yang terjadi.

Kategori Sendi :

Dalam kasus ini suatu struktur base plate harus mampu memikul gaya aksial serta gaya geser. Karena tidak ada momen lentur yang bekerja , maka akan terjadi distribusi tegangan yang merata pada bidang kontak antara base plate dan beton penumpu. Sedangkan angkur yang terpasang ditujukan untuk menahan gaya geser yang terjadi.



Gambar 2.16 Beban yang bekerja pada *Base plate*

Untuk kesetimbangan statis, reaksi tumpuan pada beton (P_p) harus segaris dengan beban aksial yang bekerja.

$$P_u \leq \phi \cdot P_p \tag{2.8-1}$$

$$P_p = \phi \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \tag{2.8-2}$$

Dimana :

P_u : Gaya aksial terfaktor

- Pp : Gaya aksial nominal
- N : Panjang *base plate*
- B : Lebar *base plate*
- A1 : Luas permukaan *base plate*
- A2 : Luas maksimum bagian permukaan beton yang secara geometris sama dengan dan konsentris dengan daerah yang dibebani.
- \emptyset : Faktor Reduksi (0,6)
- $f'c$: Kuat tekan beton

Pemeriksaan terhadap friksi:

$$\emptyset V_n = \emptyset \times \mu \times P_u \leq 0,2 \times f'c \times A_c \quad (2.8-3)$$

Dimana :

- V_n : Gaya geser nominal (N)
- A_c : Luas permukaan beton penumpu (mm²)
- \emptyset : Faktor reduksi (0,6)
- μ : Koefisien friksi (0,55 untuk baja ke grout dan 0,7 untuk baja ke beton)
- $f'c$: Kuat tekan beton (MPa)

Perhitungan Angkur :

Angkur yang direncanakan untuk memikul kombinasi beban geser dan tarik.

Kontrol geser :

$$V_{ub} \leq \emptyset f_{nv} \times A_b \quad (2.8-4)$$

Dimana :

V_{ub} : Gaya geser yang terjadi (N)

A_b : Luas tubuh angkur (mm^2)

\emptyset : Faktor reduksi (0,75)

f_{nv} : Tegangan geser nominal (MPa)

Tebal *Base Plate*

$$m = \frac{(N - 0,95.d)}{2} \quad (2.8-5)$$

$$n = \frac{(B - 0,8.b_f)}{2} \quad (2.8-6)$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{t_f}{2} \quad (2.8-7)$$

$$f = \frac{N}{2} - \text{Jarak as angkur dengan sisi terluar plat} \quad (2.8-8)$$

Maka :

$$t_p \geq 1,49 \cdot \max(m, n) \sqrt{\frac{P_u}{B \cdot N \cdot f_y}} \quad (2.8-9)$$

Dimana :

P_u : Gaya aksial terfaktor

t_p : Tebal *base plate*

B : Lebar *base plate*

N : Panjang *base plate*

f_y : Tegangan leleh baja

Kategori Jepit :

Dalam kasus ini suatu struktur base plate harus mampu memikul momen lentur yang terjadi. Sedangkan angkur harus didesain agar dapat menahan gaya uplift serta gaya geser yang terjadi. Dalam kasus ini ada dua variabel yang harus dihitung yaitu panjang Y dan gaya tarik pada angkur, T_u .

Dimensi *Base Plate* :

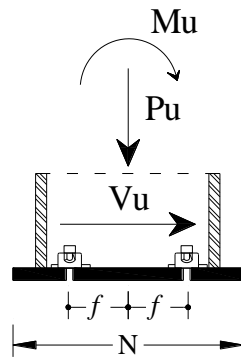
$$A_1 = B \times N \quad (2.8-10)$$

Dimana :

N : Panjang *base plate*

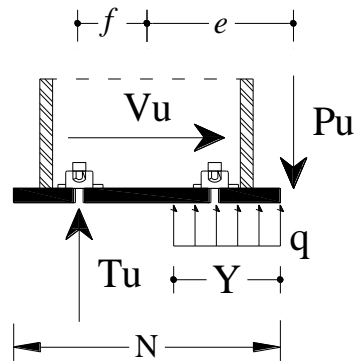
B : Lebar *base plate*

A_1 : Luas permukaan *base plate*



Gambar 2.17 Beban yang bekerja pada *Base plate*

Perhitungan Eksentrisitas :



Gambar 2.18 Base Plate dengan eksentrisitas beban

$$e = \frac{Mu}{Pu} \quad (2.8-11)$$

Dimana :

- e : Jarak Eksentrisitas (mm)
- Mu : Momen yang terjadi (Nmm)
- Pu : Gaya tekan yang terjadi (N)

Perhitungan Tegangan Tumpu Pada Beton :

$$q = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot B \sqrt{\frac{A2}{A1}} \quad (2.8-12)$$

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) \pm \sqrt{\left(-\left(f + \frac{N}{2}\right)\right)^2 - \frac{2Pu(f+e)}{q}} \quad (2.8-13)$$

$$Tu = q \cdot Y - Pu \quad (2.8-14)$$

Dimana :

- ϕ_c : Faktor Reduksi (0,6)
- $f'c$: Kuat tekan beton

- B : Lebar *base plate*
- T_u : Gaya tarik pada angkur
- q : Gaya merata pada plat (N/mm)
- A_1 : Luas *base plate*
- A_2 : Luas maksimum *base plate* yang menahan beban konsentrik

Perhitungan Angkur :

Angkur yang direncanakan untuk memikul kombinasi beban geser dan tarik.

Kontrol geser :

$$V_{ub} \leq \phi f_{nv} \times A_b \quad (2.8-15)$$

Kontrol Tarik :

$$T_{ub} \leq \phi f_{nt} \times A_b \quad (2.8-16)$$

Dimana :

- T_{ub} : Gaya tarik yang terjadi (N)
- V_{ub} : Gaya geser yang terjadi (N)
- A_b : Luas tubuh angkur (mm²)
- ϕ : Faktor reduksi (0,75)
- f_{nt} : Tegangan tarik nominal (MPa)
- f_{nv} : Tegangan geser (MPa)

Tebal *Base Plate*

$$m = \frac{(N - 0,95.d)}{2} \quad (2.8-17)$$

$$n = \frac{(B - 0,8.b_f)}{2} \quad (2.8-18)$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \quad (2.8-19)$$

$$f = \frac{N}{2} - \text{Jarak as angkur dengan sisi terluar plat} \quad (2.8-20)$$

Maka :

$$tp = 2,11 \sqrt{\frac{Pu \cdot m - \left(\frac{Y}{2}\right)}{B \cdot fy}} \quad (2.8-21)$$

Dimana :

tp : Tebal *base plate*

B : Lebar *base plate*

fy : Tegangan leleh baja

Kontrol terhadap momen :

$$Mn \geq Mpl \quad (2.8-22)$$

$$Mpl = \frac{Tu \cdot x}{B} \quad (2.8-23)$$

$$Mn = Mp = \frac{tp^2}{4} \cdot fy \quad (2.8-24)$$

Dimana :

Mpl : Momen lentur terfaktor pada *base plate* (Nmm)

Mn : Momen nominal pada *base plate* (Nmm)

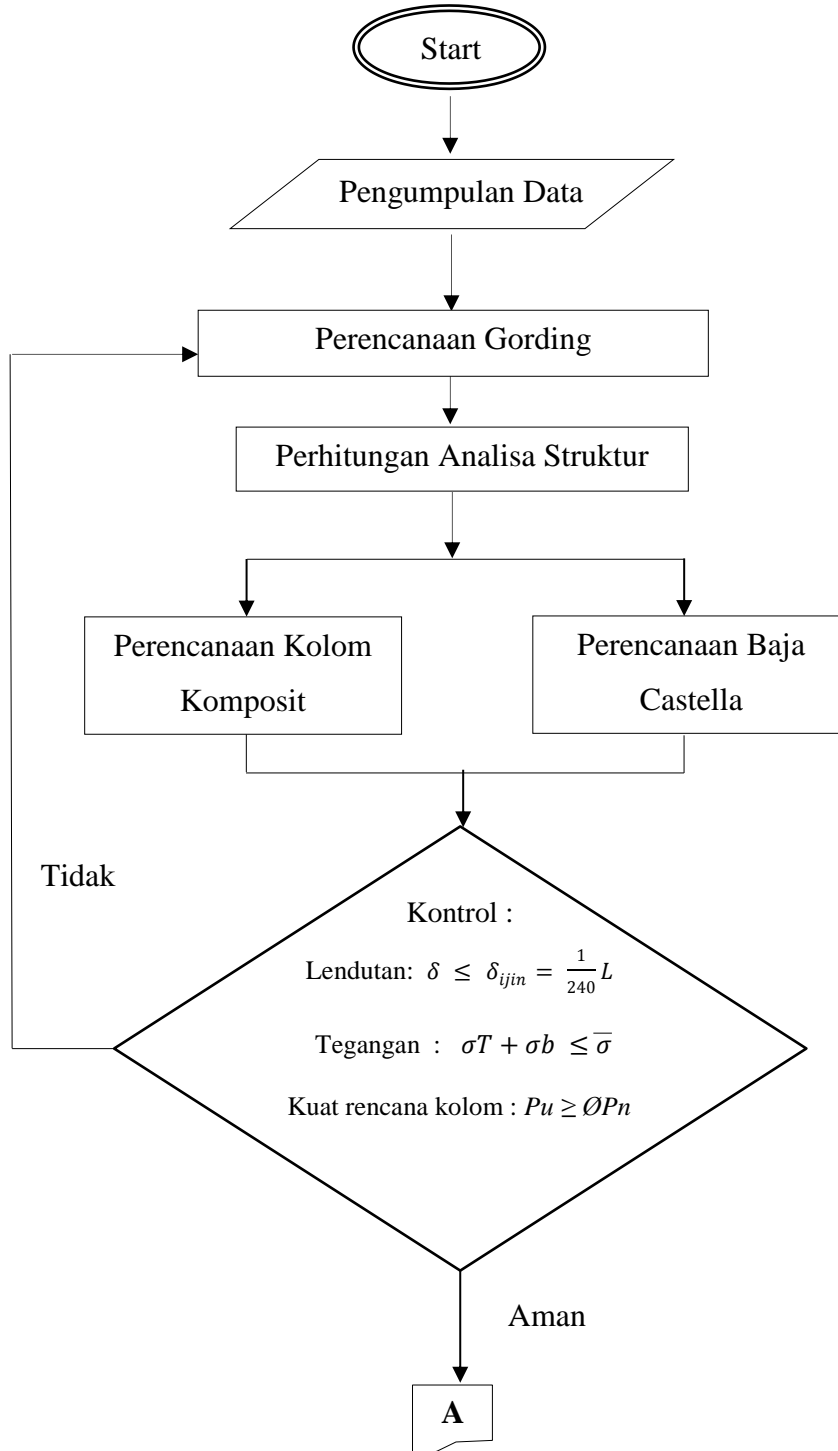
tp : Tebal *base plate*

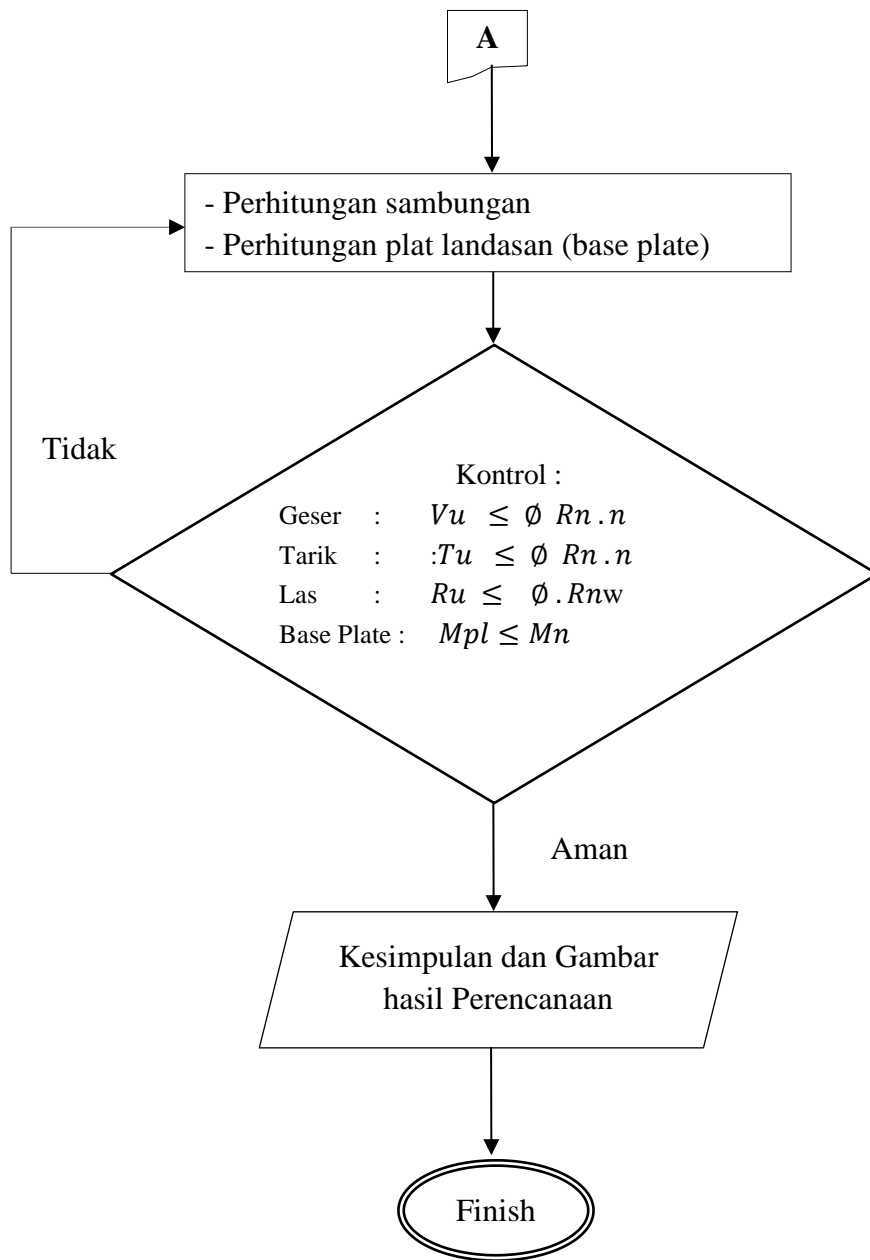
B : Lebar *base plate*

fy : Tegangan leleh baja (Mpa)

2.9 Diagram Alir Analisis

Diagram alir analisa perencanaan:





BAB III

DATA PERENCANAAN

3.1 Data Perencanaan

Data perencanaan Struktur atas Pasar Lumajang :

Lebar bangunan (L)	: 19,55 meter
Tinggi kolom (h)	: 5 meter
Kemiringan atap (θ)	: 15°
Jarak antar portal	: 6 meter
Jumlah medan	: 11
Jenis baja	: BJ 41 ($f_y = 250$ MPa) ($f_u = 410$ MPa)
Tipe baut	: A307 ($f_{nt} = 310$ MPa) ($f_{nv} = 188$ MPa)
Jenis Las	: Elektroda 70 ($f_u^w = 485$ MPa)
Profil balok	: Profil hexagonal <i>castellated beam</i>
Profil kolom	: Kolom komposit
Penutup atap	: Zinalume

4.6 Perencanaan Sambungan *Base plate*

Sambungan *Base plate* kolom komposit dan kolom baja

dimensi profil kolom komposit :

$$b = 340 \text{ mm}$$

$$h = 340 \text{ mm}$$

dimensi profil baja:

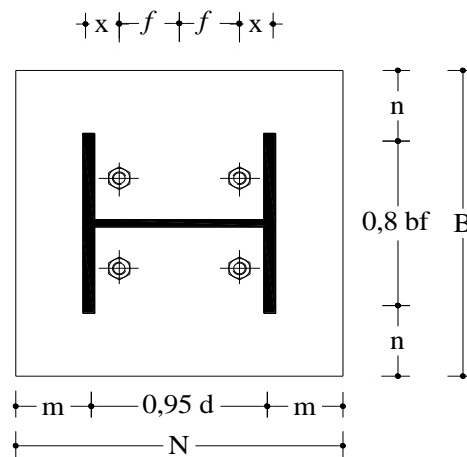
$$bf = 200 \text{ mm} \quad tw = 12 \text{ mm}$$

$$d = 200 \text{ mm} \quad tf = 8 \text{ mm}$$

Diketahui :

$$V_n = 66420 \text{ N}$$

$$P_u = 60800 \text{ N}$$



Gambar 4.39 Penampang *base plate* dan notasi

- Menentukan dimensi plat :

$$\text{Dicoba : } B = 340 \text{ mm}$$

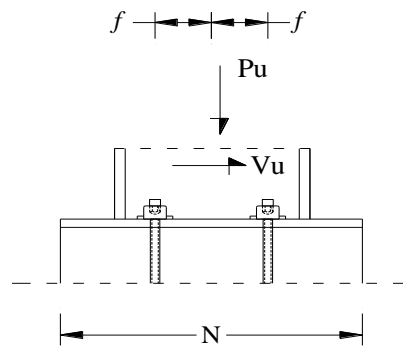
$$N = 340 \text{ mm}$$

$$A1 = B \times N$$

$$= 340 \times 340$$

$$= 115600 \text{ mm}^2$$

direncanakan $A1 = A2$



Gambar 4.40 Beban yang berkerja pada *base plate*

- Menentukan kebutuhan luas penampang beton :

$$\begin{aligned} A2 \text{ Perlu} &= \frac{P_u}{\phi \times 0,85 \times f_c} \\ &= \frac{60800}{0,9 \times 0,85 \times 25} \\ &= 3179,085 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dicoba :

$$b = 340 \text{ mm}$$

$$h = 340 \text{ mm}$$

$$A2 = b \times h$$

$$= 340 \times 340$$

$$= 115600 \text{ mm}^2 > A2 \text{ perlu} = 3179,085 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

▪ Kontrol tekan :

$$P_u \leq \phi_c \times P_p$$

$$P_p = 0,85 \times f_c \times A_1 \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$= 0,85 \times 25 \times 115600 \times \sqrt{\frac{115600}{115600}}$$

$$= 2456500 \text{ N}$$

$$P_u \leq \phi_c \times P_p$$

$$P_u \leq 0,6 \times 2456500$$

$$60800 \text{ N} < 1473900 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

▪ Perhitungan Angkur :

Angkur yang dipasang, direncanakan untuk memikul beban geser.

Digunakan 4 buah angkur berdiameter 20 mm

Tegangan geser nominal angkur (f_{nv}) = 414 MPa

$$\begin{aligned}
\text{Kuat tarik nominal angkur (fnt)} &= 807 - 1,5 f_v < 621 \text{ Mpa} \\
&= 807 - 1,5 \times 414 \text{ Mpa} \\
&= 186 \text{ Mpa} < 621 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_b &= 1/4 \times \pi \times 20^2 \\
&= 314,286 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$V_{ub} = \frac{V_n}{n} = \frac{66420}{4} = 16605,00 \text{ N}$$

$$V_{ub} \leq \phi f_{nv} \times A_b$$

$$V_{ub} \leq 0,75 \times 414 \times 314,286$$

$$16605,00 \text{ N} < 97585,714 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

▪ Pemeriksaan terhadap friksi :

$$\mu = 0,7 \text{ (untuk baja pada beton)}$$

$$\phi V_n = \phi \times \mu \times P_u \leq 0,2 \times f_c \times A_c$$

$$\phi V_n = 0,6 \times 0,7 \times 60800 \leq 0,2 \times 25 \times 115600$$

$$25536,0 \text{ N} < 578000 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

$$\text{Jarak tepi minimum angkur diameter } 5/8" \text{ in.} = 26 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tepi maksimum baut} = 12 t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$\text{diambil} = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak minimum antar baut} = 3 d = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak maksimum antar baut} = 14 t_p \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

$$\text{diambil} = 100 \text{ mm}$$

- Perhitungan tebal base plate :

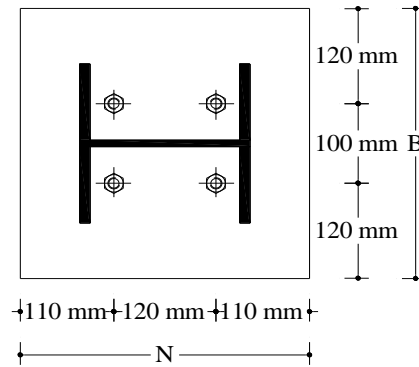
$$\begin{aligned}
 m &= \frac{\left[N - 0,95 \times d \right]}{2} \\
 &= \frac{\left[340,00 - 0,95 \times 200 \right]}{2} \\
 &= 75,000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\left[B - 0,85 \times bf \right]}{2} \\
 &= \frac{\left[340,00 - 0,85 \times 200 \right]}{2} \\
 &= 85,000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c = diambil dari nilai terbesar m dan n

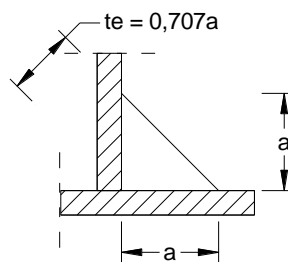
$$= 75 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{tp perlu} &\geq 1,49 \times c \times \sqrt{\frac{P_u}{B \times N \times f_y}} \\
 &\geq 1,49 \times 75 \times \sqrt{\frac{60800}{340 \times 340 \times 250}} \\
 &= 5,126 \sim 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.41 Perletakan angkur pada Base plate

Sambungan las



Gambar 4.42 Tebal efektif las sudut (Throat efektif)

Persyaratan ukuran las :

Tebal plat minimum yang disambung = 10 mm

Ukuran minimum las sudut (a) = 5 mm

Ukuran maksimum las sudut (a) = tebal plat - 2 mm

= 10 - 2 = 8 mm

Diambil ukuran las sudut (a) = 5 mm

$$te = 0,707 \times a$$

$$= 0,707 \times 5 = 3,535 \text{ mm}$$

Panjang minimum las :

$$\begin{aligned} l &= a \times 4 \\ &= 5 \times 4 \\ &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat rencana las sudut ukuran 5 mm per mm panjang :

Dipakai tipe Elektroda 70 :

$$\begin{aligned} f_{uw} &= 485 \text{ Mpa} \\ \emptyset \times R_{nw} &= \emptyset \times t_e \times \left[0,6 \times f_{uw} \right] \\ &= 0,75 \times 3,535 \times \left[0,6 \times 485 \right] \\ &= 771,5 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

dan kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser plat :

$$\begin{aligned} \text{nilai maks. } \emptyset \times R_{nw} &= \emptyset \times t \times \left[0,6 \times f_u \right] \\ &= 0,75 \times 10,000 \times \left[0,6 \times 410 \right] \\ &= 1845 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Gaya Geser nominal penampang, V_n :

$$V_n = 66420,000 \text{ N}$$

Panjang total las yang dibutuhkan (L_w) :

$$L_w = \frac{V_n}{\emptyset \times R_{nw}} = \frac{66420,0}{771,514} = 86,090 \text{ mm} \sim 90 \text{ mm}$$

Sambungan *Base plate* kolom dan pondasi

dimensi profil kolom komposit :

$$b = 340 \text{ mm}$$

$$h = 340 \text{ mm}$$

dimensi profil baja:

$$b_f = 200 \text{ mm} \quad t_w = 12 \text{ mm}$$

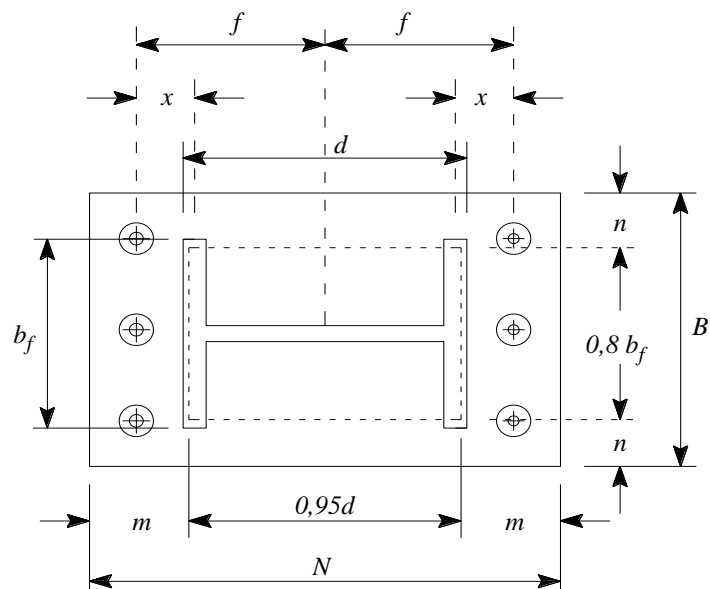
$$d = 200 \text{ mm} \quad t_f = 8 \text{ mm}$$

Diketahui :

$$V_n = 66420 \text{ N}$$

$$M_u = 61 \text{ KNm} \sim 61000000 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 73971,21 \text{ N}$$



Gambar 4.43 Penampang base plate dan notasi

- Menentukan dimensi plat :

$$\text{Dicoba : } B = 400 \text{ mm}$$

$$N = 450 \text{ mm}$$

- Menentukan tebal plat :

$$m = \frac{\left[N - 0,95 \times d \right]}{2}$$

$$= \frac{\left[450,00 - 0,95 \times 200 \right]}{2}$$

$$= 130,000 \text{ mm}$$

$$n = \frac{\left[B - 0,85 \times bf \right]}{2}$$

$$= \frac{\left[400,00 - 0,85 \times 200 \right]}{2}$$

$$= 115,000 \text{ mm}$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2}$$

$$= 190,0 - \frac{200}{2} + \frac{8}{2}$$

$$= 94,00 \text{ mm}$$

$$A1 = B \times N$$

$$= 400 \times 450$$

$$= 180000 \text{ mm}^2$$

- Menentukan kebutuhan luas penampang beton :

$$\begin{aligned}
 A_2 \text{ Perlu} &= \frac{P_u}{\phi \times 0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{73971,20989}{0,9 \times 0,85 \times 25} \\
 &= 3867,7757 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

direncanakan $A_1 = A_2$

Dicoba :

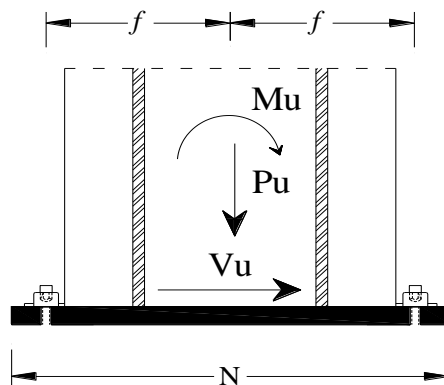
$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

$$A_2 = b \times h$$

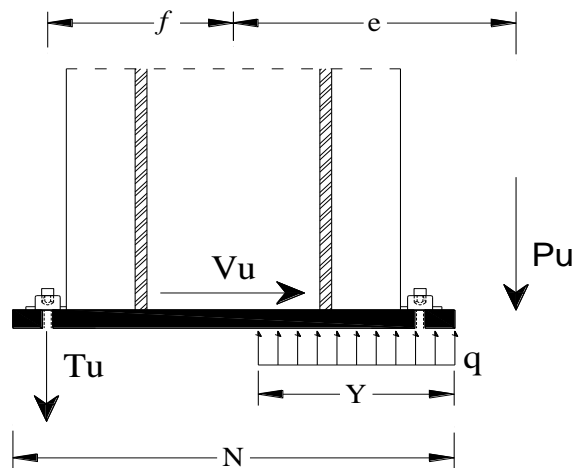
$$= 400 \times 450$$

$$= 180000 \text{ mm}^2 > A_2 \text{ perlu} = 3867,776 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$



Gambar 4.44 Beban yang berkerja pada *base plate*

Momen lentur yang bekerja dianggap sebagai beban terpusat P_u , yang bekerja dengan eksentrisitas e , dari sumbu kolom.



Gambar 4.45 Base plate dengan eksentrisitas beban

Menentukan eksentrisitas gaya :

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{61000000}{73971,20989} = 824,6452 \text{ mm}$$

$$\frac{N}{6} = \frac{400}{6} = 66,66667 \text{ mm}$$

$e > 66,67$, masuk dalam kategori D.

$$f = \frac{N}{2} - \text{jarak as ankur dengan sisi terluar plat}$$

$$= \frac{450}{2} - 35$$

$$= 190 \text{ mm}$$

$$q = \phi \ 0,85 \times f'c \times B \times \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{0,5}$$

$$= 0,6 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times \left(\frac{180000}{180000} \right)^{0,5}$$

$$= 6120 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned}
Y &= \left(f + \frac{N}{2} \right) + \sqrt{\left[- \left(f + \frac{N}{2} \right) \right]^2 - \frac{2 \text{ Pu} \left(f + e \right)}{q}} \\
&= \left(190 + \frac{450}{2} \right) + \sqrt{\left[- \left(190 + \frac{450}{2} \right) \right]^2 - \frac{2 \times 73971 \left[190 + 824,6452 \right]}{6120}} \\
&= 30,686 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dari persyaratan kesetimbangan, maka jumlah gaya dalam arah vertikal harus sama dengan nol, atau dalam bentuk matematis adalah :

$$\begin{aligned}
\Sigma F_v &= 0 \\
T_u + P_u - \phi \times P_p &= 0 \\
T_u + q \times Y - \phi \times P_p &= 0 \\
T_u &= q \times Y - P_u \\
T_u &= 6120 \times 30,686 - 73971 \\
&= 113826,1128 \text{ N}
\end{aligned}$$

Perhitungan angkur :

Angkur yang dipasang, direncanakan untuk memikul kombinasi beban geser dan tarik. Digunakan 6 buah angkur berdiameter 20 mm

$$\text{Tegangan geser nominal angkur } (f_{nv}) = 414 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kuat tarik nominal angkur } (f_{nt}) &= 807 - 1,5 f_v < 621 \\
&= 807 - 1,5 \times 414 \\
&= 186 \text{ Mpa} < 621 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_b &= 1/4 \times \pi \times 20^2 \\
&= 314,286 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$V_{ub} = \frac{V_u}{n} = \frac{66420}{6} = 11070,00 \text{ N}$$

$$V_{ub} \leq \phi f_{nv} \times A_b$$

$$V_{ub} \leq 0,75 \times 414 \times 314,286$$

$$11070,00 \text{ N} < 97585,714 \text{ N} \quad \text{OK}$$

$$T_{ub} = \frac{T_u}{n_t} = \frac{113826}{3} = 37942,04 \text{ N}$$

$$T_{ub} \leq \phi f_{nt} \times A_b$$

$$T_{ub} \leq 0,75 \times 186 \times 314,286$$

$$37942,04 \text{ N} < 43842,857 \text{ N} \quad \text{OK}$$

Kontrol terhadap momen

Momen lentur terfaktor pada base plate yang termasuk kategori D, dihitung

berdasarkan gaya tarik, T_u , yang timbul pada angkur :

$$M_{pl} = \frac{T_u \times x}{B} = \frac{37942,04 \times 94,00}{400} = 8916,379 \text{ Nmm}$$

Perhitungan tebal base plate :

$$\begin{aligned} t_p &\geq 2,11 \times \sqrt{\frac{T_u \times x}{B \times f_y}} \\ &\geq 2,11 \times \sqrt{\frac{37942,04 \times 94,00}{400 \times 250}} \\ &= 12,601 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
tp &\geq 2,11 \times \sqrt{\frac{Pu \times m - \left[Y / 2 \right]}{B \times fy}} \\
&\geq 2,11 \times \sqrt{\frac{73971,21 \times 130 - \left[30,69 / 2 \right]}{400 \times 250}} \\
&= 20,691 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Diambil tp yang terbesar :

$$tp = 20,691 \text{ mm} \sim 22 \text{ mm}$$

Momen nominal base plate dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
Mn = Mp &= \left(\frac{tp^2}{4} \right) \times fy \\
&= \left(\frac{22^2}{4} \right) \times 250 \\
&= 30250 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$Mn \geq Mpl$$

$$30250,00 \text{ Nmm} > 8916,3788 \text{ Nmm} \text{ OK}$$

$$\text{Jarak tepi minimum angkur} = 26 \text{ mm}$$

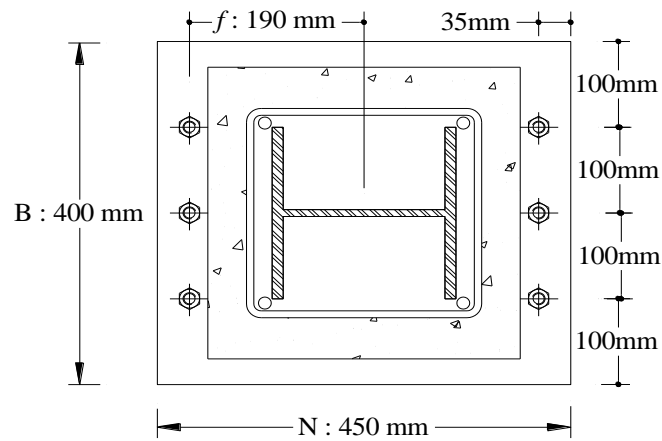
$$\begin{aligned}
\text{Jarak tepi maksimum angkur} &= 12 \text{ tp} \text{ atau } 150 \text{ mm} \\
&= 248,3 \text{ mm} \text{ atau } 150 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\text{diambil} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak minimum antar angkur} = 3 \text{ d} = 60 \text{ mm}$$

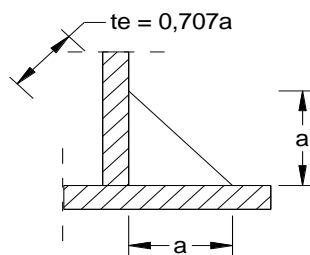
$$\begin{aligned}
\text{Jarak maksimum antar angkur} &= 14 \text{ tp} \text{ atau } 180 \text{ mm} \\
&= 289,7 \text{ mm} \text{ atau } 180 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\text{diambil} = 100 \text{ mm}$$



Gambar 4.46 Perletakan angkur pada Base plate

Sambungan las



Gambar 4.47 Tebal efektif las sudut (Throat efektif)

Persyaratan ukuran las :

Tebal plat minimum yang disambung = 22,000 mm

Ukuran minimum las sudut (a) = 8 mm

Ukuran maksimum las sudut (a) = tebal plat - 2 mm
 = 22,000 - 2 = 20 mm

Diambil ukuran las sudut (a) = 8 mm

$$te = 0,707 \times a$$

$$= 0,707 \times 8 = 5,656 \text{ mm}$$

Panjang minimum las :

$$\begin{aligned}l &= a \times 4 \\ &= 8 \times 4 \\ &= 32 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kuat rencana las sudut ukuran 8 mm per mm panjang :

Dipakai tipe Elektroda 70 :

$$\begin{aligned}f_{uw} &= 485 \text{ Mpa} \\ \emptyset \times R_{nw} &= \emptyset \times t_e \times \left[0,6 \times f_{uw} \right] \\ &= 0,75 \times 5,656 \times \left[0,6 \times 485 \right] \\ &= 1234 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

dan kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser plat :

$$\begin{aligned}\text{nilai maks. } \emptyset \times R_{nw} &= \emptyset \times t \times \left[0,6 \times f_u \right] \\ &= 0,75 \times 22,000 \times \left[0,6 \times 410 \right] \\ &= 4059 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

Beban tarik terfaktor, T_u :

$$T_u = 113826,113 \text{ N}$$

Panjang total las yang dibutuhkan (L_w) :

$$L_w = \frac{T_u}{\emptyset \times R_{nw}} = \frac{113826,1}{1234,422} = 92,210 \text{ mm} \sim 93 \text{ mm}$$

BAB IV
PERENCANAAN KONSTRUKSI

4.1 Perencanaan Gording

Jarak antar gording

Diketahui :

Lebar bangunan (L) = 19,55 m

Tinggi kolom = 5 m

Lebar atap Zinalume tipe 935 = 0,935 m (*bluescope*)

Kemiringan atap = 15 °

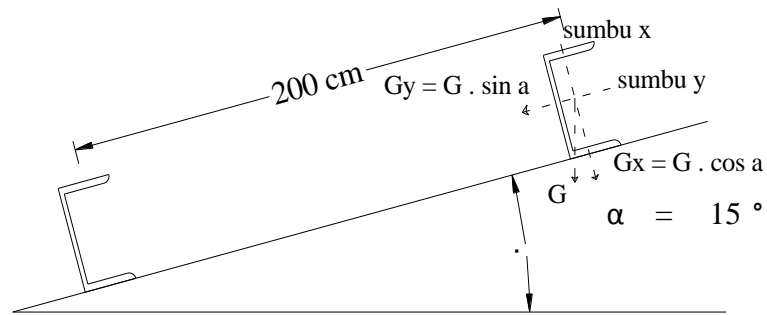
$$\begin{aligned} \text{Panjang balok miring} &= \frac{1}{2} L / \cos \alpha \\ &= \frac{1}{2} 19,55 / \cos 15 \\ &= 10,12 \text{ m} \end{aligned}$$

Jarak antar gording : (*LYSAGHT Bluescope*)

Is (Jarak antar gording tengah) = 2 m

Es (Jarak antar gording sebelum ujung) = 1 m

O (Jarak gording ke ujung) = 0,15 m



Gambar 4.1 Arah gaya pada gording

Dicoba profil Channel 100 . 50 . 5

	$a = 100$	mm	$Z_x = 37,8$	cm ³
	$b = 50$	mm	$Z_y = 7,82$	cm ³
	$t_1 = 5$	mm	$I_x = 189$	cm ⁴
	$t_2 = 7,5$	mm	$I_y = 26,9$	cm ⁴
	$g = 9,36$	kg/m	$f_y = 250$	Mpa

Diketahui :

Berat atap Zinalume tipe 935 = 4,83 kg/m²

Jarak antar gording = 2 m

Jarak antar portal = 6 m

Akibat beban mati (G) :

- Berat sendiri gording = 9,36 kg/m
- Berat atap = Jarak antar gording x Berat atap
 = 2 m x 4,83 kg/m²
 = 9,66 kg/m

 +
 19,02 kg/m
- Berat sambungan (10%) = 1,902 kg/m

 +
G = 20,92 kg/m

$$\begin{aligned}
G_y &= G \times \sin \alpha \\
&= 20,92 \times \sin 15 \\
&= 5,415 \text{ kg/m} = 0,054 \text{ N/mm} \\
G_x &= G \times \cos \alpha \\
&= 20,92 \times \cos 15 \\
&= 20,209 \text{ kg/m} = 0,202 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

Akibat beban angin (W) :

Menentukan Tekanan Angin Sesuai SNI 1727- 2013 hal, 64

Langkah 1 : Menentukan kategori risiko bangunan gedung atau struktur lain

Bangunan pasar masuk dalam kategori risiko 2

Langkah 2 : Tentukan kecepatan angin dasar, V , untuk kategori yang sesuai.

Diambil V , sebesar : $40 \text{ km/jam} = 11,11 \text{ m/s}$

Langkah 3 : Tentukan parameter beban angin :

1. Faktor arah angin (K_d)

Karena tipe struktur masuk dalam Sistem Penahan Beban Angin Utama

maka :

Diambil K_d : $0,85$ (SNI 1727:2013)

2. Kategori eksposur

Masuk dalam eksposur, C Dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari $9,1 \text{ m}$ (SNI 1727:2013)

3. Faktor topografi (K_{zt})

$$\text{Diambil } K_{zt} : 1,0 \quad (\text{SNI 1727:2013})$$

4. Faktor efek tiupan angin (G)

$$\text{Diambil : } 0,85 \quad (\text{SNI 1727:2013})$$

5. Klasifikasi tertutupan

Merupakan, Jenis Bangunan gedung terbuka.

Maka Koefisien Tekanan Internal diambil :

$$GC_{pl} = 0,00 \quad (\text{SNI 1727:2013})$$

Langkah 4 : Tentukan eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h :

$$\alpha = 9,5$$

$$Z_g = 274,3 \text{ m}$$

$$Z = \text{Tinggi dinding} = 5 \text{ m}$$

$$K_z = 2,01 \times \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^{2/\alpha} = 2,01 \times \left(\frac{5}{274,3} \right)^{0,211} = 0,865$$

Langkah 5 : Tentukan tekanan velositas, q atau q_h :

$$\begin{aligned} q_h &= 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0,613 \times 0,865 \times 1,00 \times 0,85 \times 11,11^2 \\ &= 55,645 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Langkah 6 : Tentukan koefisien tekan eksternal, C_p atau C_{NW} :

$$C_{NW} = 1,1 \quad (\text{SNI 1727:2013, hal 73})$$

$$C_{NL} = -0,4$$

Langkah 7 : Menghitung tekanan angin, P :

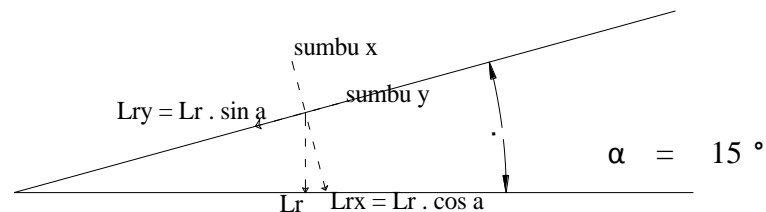
$$\begin{aligned} P_{tekan} &= qh \times G \times C_{NW} \\ &= 55,645 \times 0,85 \times 1,1 \\ &= 52,028 \text{ N/m}^2 = 5,203 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{tekan} &= P \times \text{jarak antar gording} \\ &= 5,20 \times 2 \\ &= 10,41 \text{ kg/m} = 0,104 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{hisap} &= qh \times G \times C_{NL} \\ &= 55,645 \times 0,85 \times -0,4 \\ &= -18,919 \text{ N/m}^2 = -1,89 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{hisap} &= P \times \text{jarak antar gording} \\ &= -1,89 \times 2 \\ &= -3,78 \text{ kg/m} = -0,038 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Akibat beban Hidup Atap (L_r) :



Gambar 4.2 Arah gaya pada beban hidup atap pada gording

$$L_r = 96 \text{ kg} \quad (\text{SNI 1727:2013})$$

$$\begin{aligned}
L_{ry} &= L_r \times \sin \alpha \\
&= 96 \times \sin 15 \\
&= 24,847 \text{ kg} = 248,466 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L_{rx} &= L_r \times \cos \alpha \\
&= 96 \times \cos 15 \\
&= 92,729 \text{ kg} = 927,289 \text{ N}
\end{aligned}$$

Beban air hujan (R)

Menurut SNI 1727:2013, hal 38.

$$R = 0,0098(ds + dh) \text{ ,dalam KN/m}^2$$

ds = Kedalaman air pada atap yang tidak melendut apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam mm.

$$ds, \text{ diambil : } 5 \text{ mm}$$

dh = Tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut pada aliran air rencana (tinggi hidrolis), dalam mm.

$$dh, \text{ diambil : } 5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
R &= 0,0098 \times (5 + 5) \\
&= 0,098 \text{ KN/m}^2 = 9,8 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Beban hujan (R)} &= 9,8 \text{ kg/m}^2 \\
&= 9,8 \times \text{jarak antar gording} \\
&= 9,8 \times 2 \\
&= 19,6 \text{ kg/m} = 0,196 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

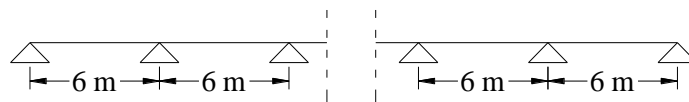
$$\begin{aligned}
 R_y &= R \times \sin \alpha \\
 &= 19,6 \times \sin 15 \\
 &= 5,073 \text{ kg/m} = 0,051 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_x &= R \times \cos \alpha \\
 &= 19,6 \times \cos 15 \\
 &= 18,932 \text{ kg/m} = 0,189 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Kombinasi beban SNI 03-1727-2013

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau R)
3. 1,2 D + 1,6 (Lr atau R) + 0,5 W
4. 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr atau R)
5. 1,2 D + 1 E + L
6. 0,9 D + W
7. 0,9 D + E

Perhitungan statika :



Gambar 4.3 Perhitungan statika gording sejarak 6 m

Dengan menggunakan program STAAD PRO 2004 didapat momen dari hasil

kombinasi beban yang terbesar : 1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 W

$$M_x \text{ maks} = 2,93 \text{ KNm} = 2930000 \text{ Nmm}$$

$$M_y \text{ maks} = 0,725 \text{ KNm} = 725000 \text{ Nmm}$$

Kontrol Lentur : $Mu \leq \phi \cdot Mn$ (SNI 1729-2015)

$$\begin{aligned} \phi Mnx &= \phi \times Zx \times fy \\ &= 0,9 \times 37800 \times 250 \\ &= 8505000 \text{ Nmm} > Mux = 2930000 \text{ Nmm} \text{ AMAN} \end{aligned}$$

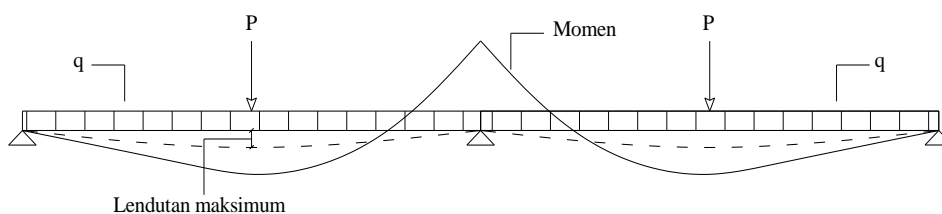
$$\begin{aligned} \phi Mny &= \phi \times Zy \times fy \\ &= 0,9 \times 7820 \times 250 \\ &= 1759500 \text{ Nmm} > Muy = 725000 \text{ Nmm} \text{ AMAN} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{Mux}{\phi b \times Mnx} + \frac{Muy}{\phi b \times Mny} \right) < 1$$

$$\left(\frac{2930000}{0,9 \times 2930000} + \frac{725000}{0,9 \times 1759500} \right) < 1$$

$$0,757 < 1 \text{ OK}$$

Kontrol lendutan :

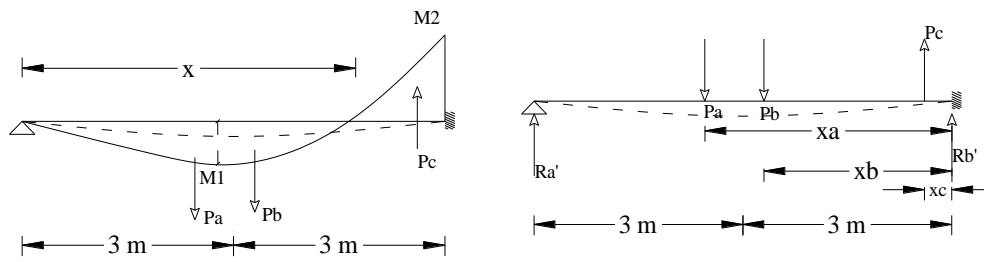


Gambar 4.4 Lendutan maksimum yang terjadi pada gording

$$\Delta \text{ ijin} = \frac{1}{240} L \quad (\text{sumber : SNI-03-1729-2002})$$

$$= \frac{1}{240} 6000$$

$$= 25 \text{ mm}$$



Gambar 4.5 Perhitungan Lendutan pada gording dengan momen area (arah x)

x (momen = 0) : (menggunakan iteraksi)

$$3,0 \text{ m} \longrightarrow M1 = 2,02 \text{ KNm (Stadd Pro 2004)}$$

$$x \longrightarrow M = 0 \text{ KNm}$$

$$6 \text{ m} \longrightarrow M2 = -2,93 \text{ KNm (Stadd Pro 2004)}$$

$$x = 4,5 \text{ m (Stadd Pro 2004)}$$

$$Pa = \frac{2}{3} \times 2,02 \times 3,0 = 4,04 \text{ KNm}^2$$

$$Pb = \frac{2}{3} \times 2,02 \times 1,50 = 2,02 \text{ KNm}^2$$

$$Pc = \frac{1}{3} \times -2,93 \times 1,50 = -1,47 \text{ KNm}^2$$

$$Xa = 3,0 + \left(\frac{3}{8} \times 3,0 \right) = 4,13 \text{ m}$$

$$Xb = \left(\frac{5}{8} \times 1,50 \right) + 1,50 = 2,44 \text{ m}$$

$$Xc = \frac{1}{4} \times 1,50 = 0,38 \text{ m}$$

$$\Sigma Mb' = 0$$

$$(Ra' \times 6) - (4,04 \times 4,13) - (2,02 \times 2,44) + (1,47 \times 0,38) = 0$$

$$Ra' = 3,507 \text{ KNm}^2$$

$$M_{\max} = (Ra' \times 3,0) - (Pa \times \frac{3}{8} \times 3,0)$$

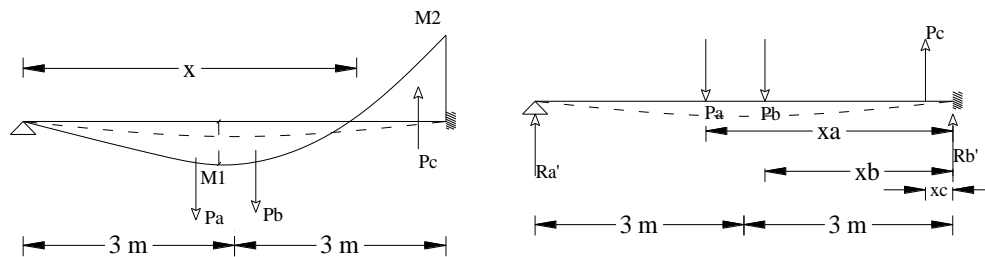
$$= 5,975 \text{ KNm}^3$$

$$= 5974687500000,0 \text{ Nmm}^3$$

$$\Delta x = \frac{M_{\max}}{E.Ix} = \frac{5974687500000,0}{200000 \times 1890000} = 15,8 \text{ mm}$$

Lendutan arah y :

Menggunakan metode momen area :



Gambar 4.6 Perhitungan Lendutan pada gording dengan momen area (arah y)

x (momen = 0) : (menggunakan iteraksi)

$$3,0 \text{ m} \longrightarrow M1 = 0,509 \text{ KNm} \text{ (Stadd Pro 2004)}$$

$$x \longrightarrow M = 0 \text{ KNm}$$

$$6 \text{ m} \longrightarrow M2 = -0,73 \text{ KNm} \text{ (Stadd Pro 2004)}$$

$$x = 4,5 \text{ m} \text{ (Stadd Pro 2004)}$$

$$P_a = \frac{2}{3} \times 0,509 \times 3,0 = 1,02 \text{ KNm}^2$$

$$P_b = \frac{2}{3} \times 0,509 \times 1,50 = 0,51 \text{ KNm}^2$$

$$P_c = \frac{1}{3} \times -0,73 \times 1,50 = -0,36 \text{ KNm}^2$$

$$X_a = 3,0 + \left(\frac{3}{8} \times 3,0 \right) = 4,13 \text{ m}$$

$$X_b = \left(\frac{5}{8} \times 1,50 \right) + 1,50 = 2,44 \text{ m}$$

$$X_c = \frac{1}{4} \times 1,50 = 0,38 \text{ m}$$

$$\Sigma M_b' = 0$$

$$\begin{aligned} & (R_a' \times 6) - (1,02 \times 4,13) - (0,51 \times 2,44) \\ & + (0,36 \times 0,38) = 0 \end{aligned}$$

$$R_a' = 0,884 \text{ KNm}^2$$

$$M_{\max} = (R_a' \times 3,0) - \left(P_a \times \frac{3}{8} \times 3,0 \right)$$

$$= 1,507 \text{ KNm}^3$$

$$= 150675000000,0 \text{ Nmm}^3$$

$$\Delta x = \frac{M_{\max}}{E.I_x} = \frac{150675000000,0}{200000 \times 269000} = 28,0 \text{ mm}$$

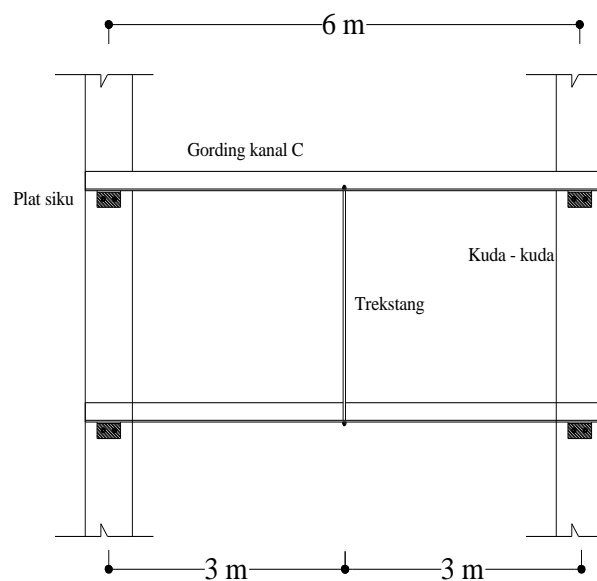
$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$\Delta = \sqrt{15,8^2 + 28,0^2}$$

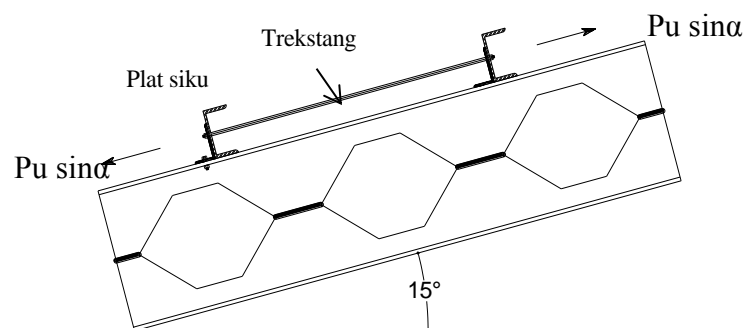
$$= 32,16 \text{ mm} \longrightarrow < \Delta \text{ ijin} = 25 \text{ mm} \quad \text{TIDAK AMAN}$$

Karena lendutan tidak aman, maka perlu dipasang trekstang

Perencanaan Trekstang :



Gambar 4.7 Jarak antar trekstang pada gording (L_y)



Gambar 4.8 Gaya tarik pada trekstang

Perhitungan Trekstang :

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 D + 1,6 L_r \\ &= 1,2 \times 32,5 + 1,6 \times 24,85 \\ &= 78,743 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_u \cdot \sin \alpha = \frac{78,743}{\sin \alpha} = \frac{78,743}{0,258819} = 304,2384 \text{ kg} \sim 3042,38 \text{ N}$$

Untuk tegangan leleh $\phi = 0,9$

$$P_u = \phi f_y \times A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{\phi \times f_y} = \frac{3042,384}{0,9 \times 250} = 13,522 \text{ mm}^2$$

Untuk tegangan putus $\phi = 0,75$

$$P_u = \phi f_y \times A_g$$

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{P_u}{\phi \times f_y} \\ &= \frac{3042,384}{0,75 \times 250} \\ &= 16,226 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

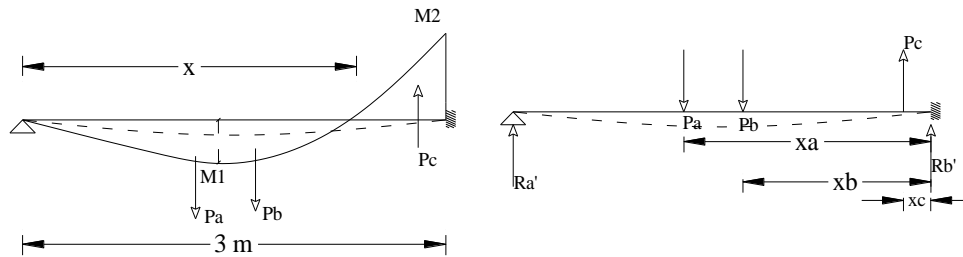
$$A_g = 1/4 \times \pi \times d^2 = 16,226 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{A_g}{1/4 \times \pi}} \\ &= \sqrt{\frac{16,226}{1/4 \times \pi}} \end{aligned}$$

$$= 4,55 \text{ mm} \quad \text{Dipakai trekstang dengan } \phi = 8 \text{ mm}$$

Lendutan arah y : Setelah pemberian trekstang

Menggunakan metode momen area :



Gambar 4.9 Perhitungan Lendutan pada gording dengan momen area (arah y)

x (momen = 0) : (menggunakan iteraksi)

$$1,25 \text{ m} \longrightarrow M1 = 0,045 \text{ KNm} \text{ (Stadd Pro 2004)}$$

$$x \longrightarrow M = 0 \text{ KNm}$$

$$3 \text{ m} \longrightarrow M2 = -0,06 \text{ KNm} \text{ (Stadd Pro 2004)}$$

$$x = 2,4 \text{ m} \text{ (Stadd Pro 2004)}$$

$$Pa = \frac{2}{3} \times 0,045 \times 1,3 = 0,04 \text{ KNm}^2$$

$$Pb = \frac{2}{3} \times 0,045 \times 1,15 = 0,03 \text{ KNm}^2$$

$$Pc = \frac{1}{3} \times -0,06 \times 0,60 = -0,01 \text{ KNm}^2$$

$$Xa = 1,8 + \left(\frac{3}{8} \times 1,3 \right) = 2,22 \text{ m}$$

$$Xb = \left(\frac{5}{8} \times 1,15 \right) + 0,60 = 1,32 \text{ m}$$

$$Xc = \frac{1}{4} \times 0,60 = 0,15 \text{ m}$$

$$\Sigma Mb' = 0$$

$$\begin{aligned} & (Ra' \times 6) - (0,04 \times 2,22) - (0,03 \times 1,32) \\ & + (0,01 \times 0,15) = 0 \end{aligned}$$

$$Ra' = 0,021 \text{ KNm}^2$$

$$M_{\max} = (Ra' \times 1,3) - (Pa \times \frac{3}{8} \times 1,3)$$

$$= 0,009 \text{ KNm}^3$$

$$= 8840625000,0 \text{ Nmm}^3$$

$$\Delta x = \frac{M_{\max}}{E.Ix} = \frac{8840625000,0}{200000 \times 269000} = 0,2 \text{ mm}$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$\Delta = \sqrt{15,8^2 + 0,2^2}$$

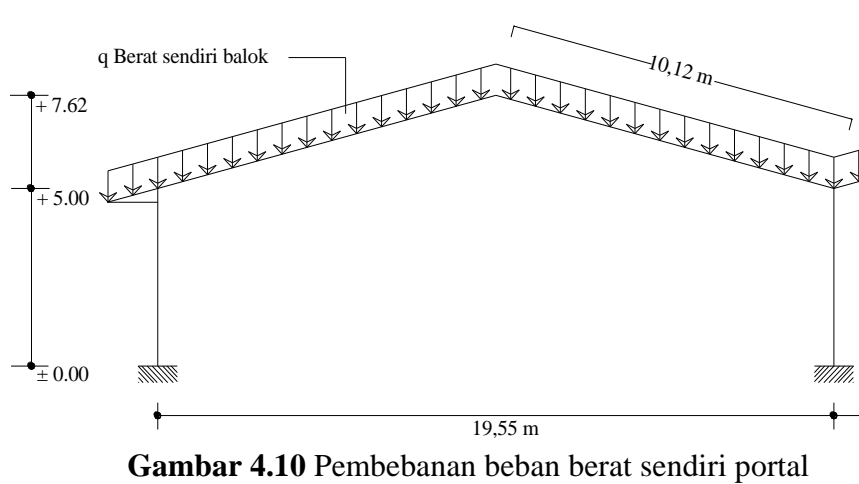
$$= 15,81 \text{ mm} \longrightarrow < \Delta \text{ ijin} = 25 \text{ mm} \text{ AMAN}$$

4.2 Perhitungan Analisa Pembebanan Portal 2 Dimensi

4.2.1 Pembebanan Portal

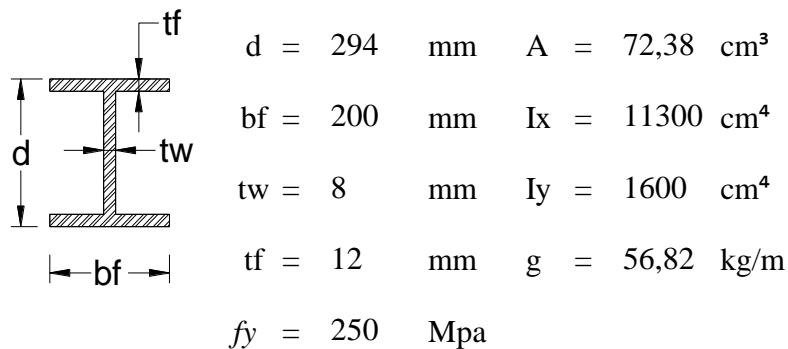
- **Beban mati**

Akibat berat sendiri balok *Castella*



Gambar 4.10 Pembebanan beban berat sendiri portal

Dicoba profil H 294 . 200 . 8 . 12 untuk balok



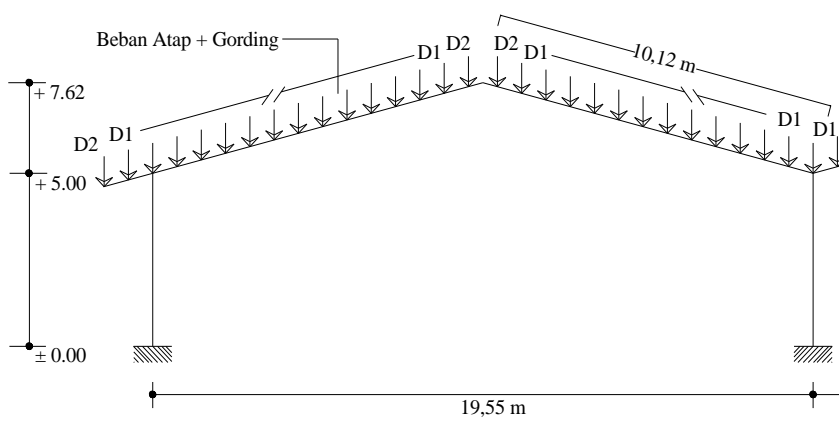
Dicoba profil H 150 . 150 . 7 . 10

$d = 150$	mm	$tf = 10$	mm	$I_y = 563$	cm ⁴
$bf = 150$	mm	$A = 40,14$	cm ³	$g = 31,5$	kg/m
$tw = 7$	mm	$I_x = 1640$	cm ⁴		

(*Ir. Rudi gunawan. Tabel Profil Konstruksi Baja*)

$$q_1 \text{ berat sendiri balok} = 56,82 \text{ kg/m} = 0,568 \text{ N/mm}$$

$$q_2 \text{ berat sendiri balok kantilever} = 31,5 \text{ kg/m} = 0,315 \text{ N/mm}$$



Gambar 4.11 Pembebanan beban atap dan gording

Akibat beban atap

$$\begin{aligned}
 \text{Berat galvalum tipe spanrib} &= 4,83 \text{ kg/m}^2 \text{ (bluescope)} \\
 &= 4,83 \times \text{ jarak antar gording} \times \\
 &\quad \text{jarak antar portal} \\
 &= 4,69 \times 2 \times 6 \\
 &= 56,28 \text{ kg} = 562,80 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Akibat beban gording

$$\begin{aligned}
 \text{Berat gording Channel } 100 . 50 . 5 &= 9,36 \text{ kg/m} \\
 \text{Jarak antar portal} &= 6 \text{ m} \\
 &= 9,36 \times 6 \\
 &= 56,16 \text{ kg} = 561,60 \text{ N}
 \end{aligned}$$

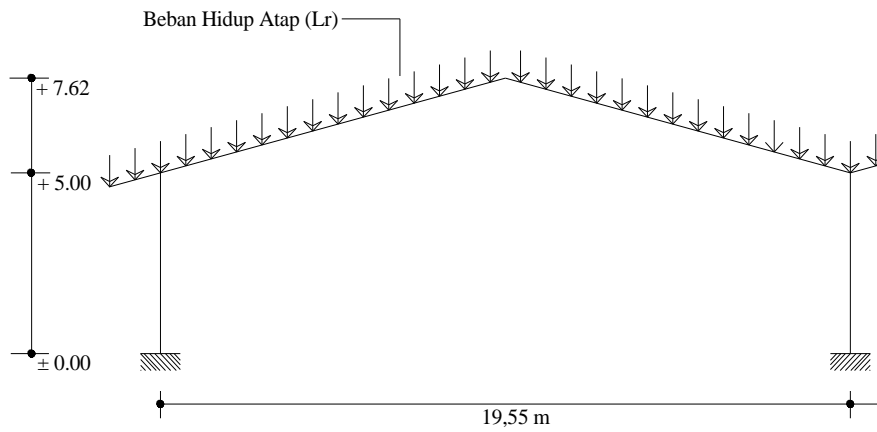
(Ir. Rudi gunawan. Tabel Profil Konstruksi Baja)

$$\begin{aligned}
 D1 &= \text{Beban gording} + \text{Beban atap} \\
 &= 56,16 + 56,28 \\
 &= 112,4 \text{ kg} = 1124,40 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D2 &= 1/2 \text{ Beban gording} + 1/2 \text{ Beban atap} \\
 &= 28,08 + 28,14 = 56,22 \text{ kg} = 562,20 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- **Beban Hidup Atap (Lr)**

(Beban pekerja pemeliharaan pada atap)



Gambar 4.12 Pembebanan beban hidup atap (Lr)

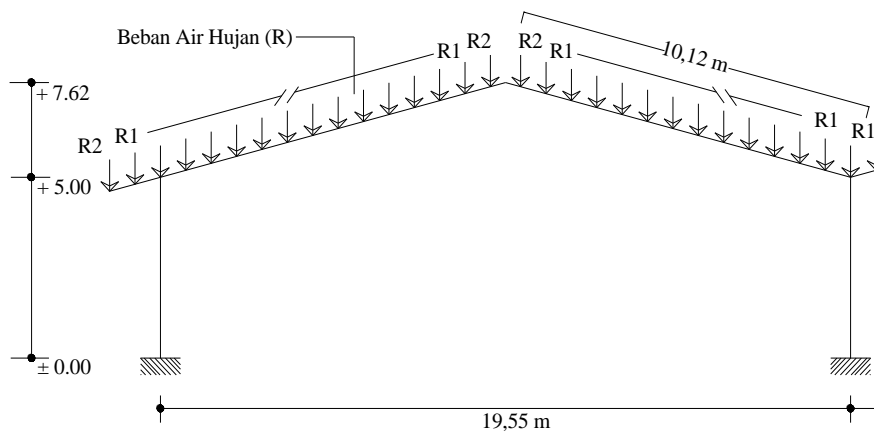
Beban hidup / kebetulan = 96 kg (SNI 1727:2013, hal 27)

$$Lr = \text{Beban hidup atap}$$

$$= 96 \text{ kg} = 960,00 \text{ N}$$

- **Beban air hujan (R)**

Menurut SNI 1727:2013, hal 38.



Gambar 4.13 Pembebanan beban hidup Hujan (R)

$$R = 0,0098(ds + dh) \text{ ,dalam KN/m}^2$$

d_s = Kedalaman air pada atap yang tidak melendut apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam mm.

d_s , diambil : 5 mm

d_h = Tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut pada aliran air rencana (tinggi hidrolis), dalam mm.

d_h , diambil : 5 mm

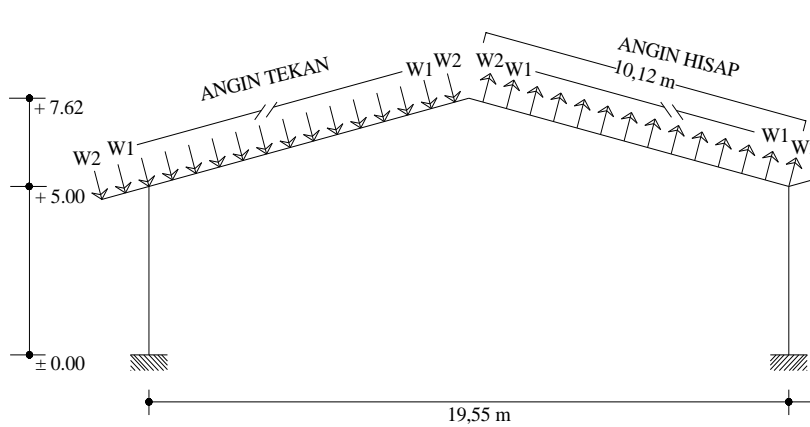
$$\begin{aligned} R &= 0,0098 \times (5 + 5) \\ &= 0,098 \text{ KN/m}^2 = 9,8 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hujan (R)} &= 9,8 \text{ kg/m}^2 \\ &= 9,8 \times \text{Jarak antar portal} \\ &= 9,8 \times 6 \\ &= 58,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= 58,8 \times \text{jarak antar gording} \\ &= 58,8 \times 2 \\ &= 117,6 \text{ kg} = 1176,00 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= 58,8 \times 1/2 \text{ jarak antar gording} \\ &= 58,8 \times 1 \\ &= 58,8 \text{ kg} = 588,00 \text{ N} \end{aligned}$$

- Akibat beban angin (W)



Gambar 4.14 Pembebanan beban angin pada portal

Menentukan Tekanan Angin Sesuai SNI 1727- 2013 hal, 64

Langkah 1 : Menentukan kategori risiko bangunan gedung atau struktur lain

Bangunan pasar masuk dalam kategori risiko 2

Langkah 2 : Tentukan kecepatan angin dasar, V , untuk kategori yang sesuai.

Diambil V , sebesar : $35 \text{ km/jam} = 9,722 \text{ m/s}$

Langkah 3 : Tentukan parameter beban angin :

1. Faktor arah angin (K_d)

Karena tipe struktur masuk dalam Sistem Penahan Beban Angin Utama

Diambil K_d : $0,85$ (SNI 1727:2013)

2. Kategori eksposur

Masuk dalam eksposur, C Dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 9,1 m.

(SNI 1727:2013)

3. Faktor topografi (K_{zt})

$$\text{Diambil } K_{zt} : 1,0 \quad (\text{SNI 1727:2013})$$

4. Faktor efek tiupan angin (G)

$$\text{Diambil : } 0,85 \quad (\text{SNI 1727:2013})$$

5. Klasifikasi ketertutupan

Merupakan, Jenis Bangunan gedung terbuka.

Maka Koefisien Tekanan Internal diambil :

$$GC_{pl} = 0,00 \quad (\text{SNI 1727:2013})$$

Langkah 4 : Tentukan eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h :

$$\alpha = 9,5$$

$$Z_g = 274,3 \text{ m}$$

$$Z = \text{Tinggi rata - rata atap dari atas tanah} = 6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} K_z &= 2,01 \times \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^{2/\alpha} \\ &= 2,01 \times \left(\frac{6}{274,3} \right)^{0,211} \\ &= 0,899 \end{aligned}$$

Langkah 5 : Tentukan tekanan velositas, q atau q_h :

$$\begin{aligned} q_h &= 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0,613 \times 0,899 \times 1,00 \times 0,85 \times 9,722^2 \\ &= 44,270 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Langkah 6 : Tentukan koefisien tekan eksternal, C_p atau C_N :

$$C_{NW} = 1,1 \quad (\text{SNI 1727:2013, hal 73})$$

$$C_{NL} = -0,4$$

Langkah 7 : Menghitung tekanan angin, P :

$$\begin{aligned} P_{tekan} &= qh \times G \times C_{NW} \\ &= 44,270 \times 0,85 \times 1,1 \\ &= 41,393 \text{ N/m}^2 = 4,139 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W1 &= P \times \text{Jarak antar portal} \times \text{jarak antar gording} \\ &= 4,1 \times 6 \times 2 \\ &= 49,67 \text{ kg} = 496,71 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W2 &= P \times \text{Jarak antar portal} \times 1/2 \text{ jarak antar gording} \\ &= 4,1 \times 6 \times 1 \\ &= 24,84 \text{ kg} = 248,36 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{hisap} &= qh \times G \times C_{NL} \\ &= 44,270 \times 0,85 \times -0,4 \\ &= -15,052 \text{ N/m}^2 = -1,51 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W1 &= P \times \text{Jarak antar portal} \times \text{jarak antar gording} \\ &= -1,5 \times 6 \times 2 \\ &= -18,06 \text{ kg} = -180,62 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W2 &= P \times \text{Jarak antar portal} \times 1/2 \text{ jarak antar gording} \\ &= -1,5 \times 6 \times 1 \\ &= -9,03 \text{ kg} = -90,31 \text{ N} \end{aligned}$$

4.2.2 Kombinasi beban

Kombinasi beban SNI 03-1727-2013

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 R$
3. $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + Lr + 0,5 R$
5. $1,2 D + 1 E + Lr$
6. $0,9 D + W$

Beban yang ada pada perencanaan bangunan :

1. Beban mati (D)
2. Beban hidup atap (Lr)
3. Beban angin tekan kiri (W kiri)
4. Beban angin tekan kanan (W kanan)
5. Beban Hujan (R)

Kombinasi beban yang dipakai :

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 R + 0,5 W \text{ kiri}$
3. $1,2 D + 1,6 R + 0,5 W \text{ kanan}$
4. $1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 W \text{ kiri}$
5. $1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 W \text{ kanan}$

4.3 Perencanaan Balok Castella

▪ Hasil Analisa Struktur

Data dari hasil perhitungan STAAD Pro 2004 diperoleh kombinasi beban :

yang terbesar : $1,2 D + 1,6 R + 0,5 W$

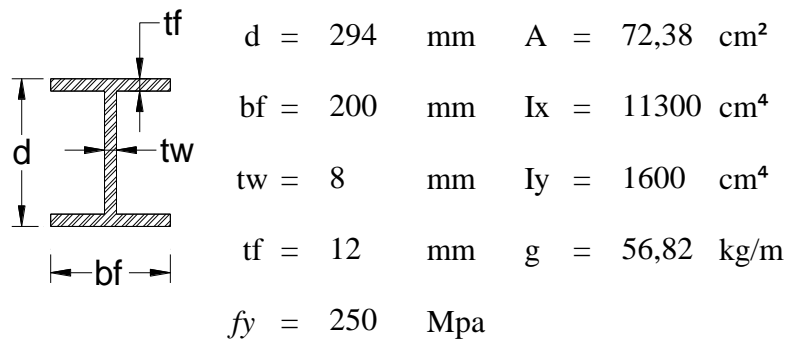
$M_u = 92,30 \text{ KNm} = 92300000 \text{ Nmm}$

$V_u = 26,40 \text{ KN} = 26400 \text{ N}$

$N_u = 20,70 \text{ KN} = 20700 \text{ N}$

▪ Data Profil Balok (Sebelum dipotong)

Dicoba profil H 294 . 200 . 8 . 12 untuk balok



(Ir. Rudi gunawan. Tabel Profil Konstruksi Baja)

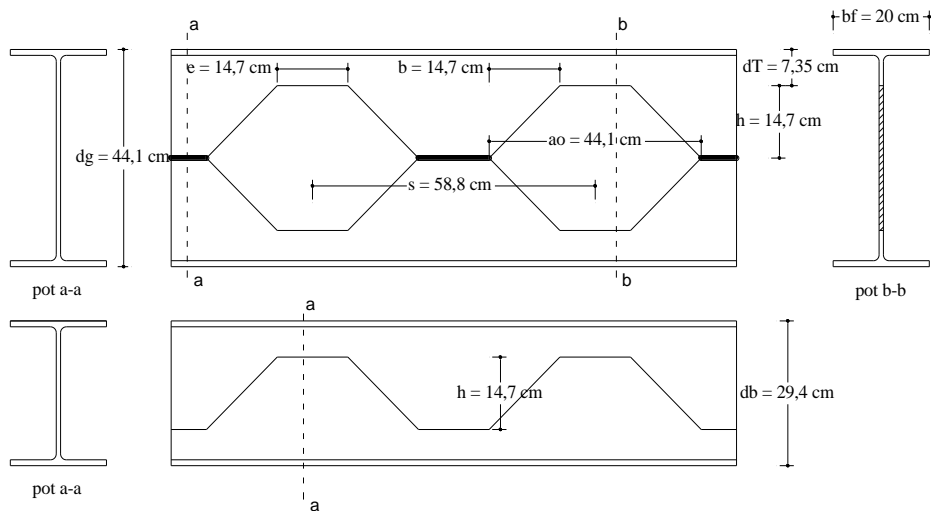
▪ Data Material

Mutu Baja : BJ41

$f_y = 250 \text{ MPa}$

$f_u = 410 \text{ MPa}$

Modulus Elastisitas = 200000 MPa



Gambar 4.15 Modifikasi *Castellated Beam*

$$\begin{aligned}
 dg &= 441 \text{ mm} & dt &= 73,5 \text{ mm} & Z_x &= 769000 \text{ mm}^3 \\
 \theta &= 45^\circ & db &= 294 \text{ mm} & Z_y &= 160000 \text{ mm}^3 \\
 h &= 147 \text{ mm} & ao &= 294 \text{ mm} \\
 ho &= 294 \text{ mm} & e &= 147 \text{ mm} \\
 bf &= 200 \text{ mm} & S &= 588 \text{ mm} \\
 tf &= 12 \text{ mm} & tw &= 8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

A. Menentukan modulus penampang minimum balok castella (S_g) untuk momer lentur maksimum.

$$\begin{aligned}
 S_g &= \frac{M_u}{\phi \times f_y} = \frac{92300000}{0,9 \times 250} = 410222,22 \text{ mm}^3 \\
 &= 410,22 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

B. Perbandingan tinggi balok *castella* dengan tinggi profil baja sesungguhnya.

Diasumsikan kenaikan tinggi balok *castella* mencapai $\pm 1,5$ kali dari tinggi balok asli.

$$K1 = \frac{dg}{db}$$

$$1,5 = \frac{dg}{db} = \frac{Sg}{Sb}$$

Modulus penampang balok asli yang diperlukan :

$$Sb = \frac{Sg}{K1} = \frac{410222,2}{1,5} = 273481,5 \text{ mm}^3 = 273,4815 \text{ cm}^3$$

Dicoba menggunakan profil dimana $Zx > Zb$ dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$db = 294 \text{ mm} \quad Ix = 113000000 \text{ mm}^4$$

$$b = 200 \text{ mm} \quad Iy = 16000000 \text{ mm}^4$$

$$g = 56,82 \text{ kg/m} \quad Zx = 472 \text{ cm}^3$$

$$tf = 12 \text{ mm} \quad Zy = 160 \text{ cm}^3$$

$$tw = 8 \text{ mm}$$

Menentukan nilai perbandingan tinggi (K1) yang sebenarnya :

$$K1 = \frac{Sg}{Sb} = \frac{410,22}{273,4815} = 1,5$$

C. Menentukan tinggi pemotongan zig - zag (h) :

$$\begin{aligned} h &= db \times (K1 - 1) \\ &= 294 \times (1,5 - 1) = 147 \text{ mm} \end{aligned}$$

D. Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan .

(Design of Welded Structure, hal 7-15)

$$d_T = \frac{V}{2 \times t_w \times 0,4 \times f_y}$$

$$d_T = \frac{26400}{2 \times 8 \times 0,4 \times 250}$$

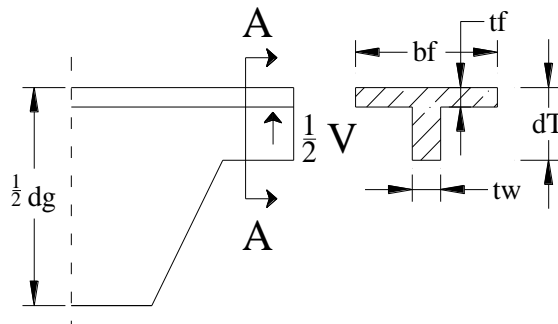
$$= 16,5 \text{ mm}$$

$$h \leq d_b - 2 \times d_T$$

$$= 294 - 2 \times 16,5$$

$$= 261 \text{ mm}$$

$$h = 147 \text{ mm} \leq 261 \text{ mm}$$



Gambar 4.16 Potongan Balok T

E. Tinggi balok *castella* (Design of Welded Structure, hal 4,7-15)

$$d_g = d_b + h$$

$$= 294 + 147$$

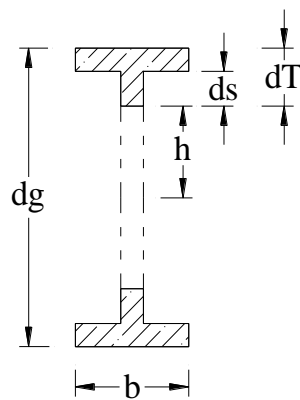
$$= 441 \text{ mm}$$

F. Tinggi penampang T (*Design of Welded Structure, hal 4,7-15*)

$$\begin{aligned}d_T &= \frac{d_g}{2} - h \\ &= \frac{441}{2} - 147 \\ &= 73,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tinggi tangkai penampang T (*Design of Welded Structure, hal 4,7-15*)

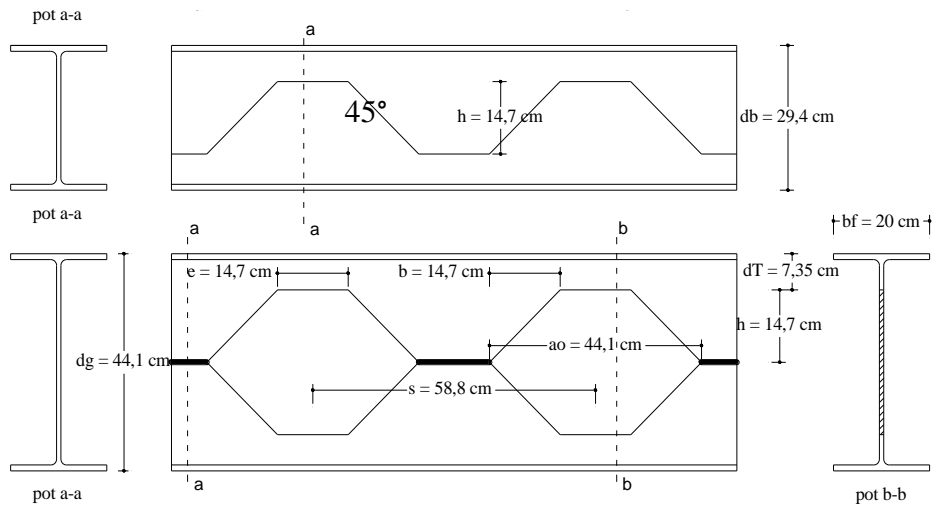
$$\begin{aligned}d_s &= d_T - t_f \\ &= 73,5 - 12 \\ &= 61,5 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4.17 Penampang melintang *Castella*

Besar kemiringan sudut pemotong zig - zag diambil 45° maka $\theta = 90^\circ - 45^\circ$

$$= 45^\circ$$



Gambar 4.18 Pemotongan dan Penyambungan Balok *Castella*

G. Tegangan lentur tekan yang diijinkan pada plat badan balok Castella :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,434}{C_c^2} \times \left(\frac{h}{tw} \right)^2 \right) \times 0,6 \times fy$$

Dimana,

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{fy}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 3,14^2 \times 200000}{250}}$$

$$= 125,714$$

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,434}{125,7^2} \times \left(\frac{147}{8} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 250$$

$$= 116,563 \text{ Mpa}$$

H. Besarnya tegangan lentur tekan yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan diatas, jika nilai tegangan geser pada bagian dari badan balok Catella besarnya yaitu :

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \frac{4 \left(\frac{\pi \times \theta}{180^\circ} \right)^2}{3 \times \tan \theta} \times \bar{\sigma} \leq 0,4 \times f_y \quad (\text{Hal 4.7-16 Castellated Beam}) \\ &= \frac{4 \left(\frac{3,14 \times 45}{180} \right)^2}{3 \times \tan 45^\circ} \times 116,563 \leq 0,4 \times 250 \\ &= 95,77 \text{ Mpa} < 100 \text{ Mpa} \quad \text{AMAN} \end{aligned}$$

I. Merencanakan tegangan geser maksimum sepanjang garis netral badan balok castella, diasumsikan sebagai balok dengan badan utuh :

$$\begin{aligned} \sigma_{maks} &= 1,16 \times \frac{95\% \times V}{t_w \times d_g} \quad (\text{Hal 4.7-16 Castellated Beam}) \\ &= 1,16 \times \frac{95\% \times 26400}{8 \times 441} \\ &= 8,246259 \text{ Mpa} < \sigma_v = 95,77203 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

J. Setelah diketahui tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok *castella*, diperoleh rasio :

$$\begin{aligned} \frac{e}{s} &= \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_v} = K2 \\ K2 &= \frac{8,246259}{95,77203} = 0,086 \end{aligned}$$

K. Menentukan panjang bidang horizontal dan jarak antar panel

$$\begin{aligned}
 e &\geq \frac{2 \times h \times \operatorname{tg} \theta}{\frac{1}{K^2} - 2} \\
 &\geq \frac{2 \times 147 \times \operatorname{tg} 45}{\frac{1}{0,086} - 2} \\
 &\geq 30,58041 \text{ mm} \quad \text{maka diambil } e = 147 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang (e) selalu konstan sepanjang bentang jarak interval lubang

castella :

$$\begin{aligned}
 s &= 2 \left[e + h \times \tan \theta \right] \\
 &= 2 \left[147 + 147 \times \tan 45 \right] \\
 &= 588 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

L. Menentukan ukuran dimensi balok *castella* :

Luas penampang T balok *castella* :

$$\begin{aligned}
 AT &= Af + As \\
 &= b \times tf + ds \times tw \\
 &= 200 \times 12 + 61,5 \times 8 = 2892,00 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

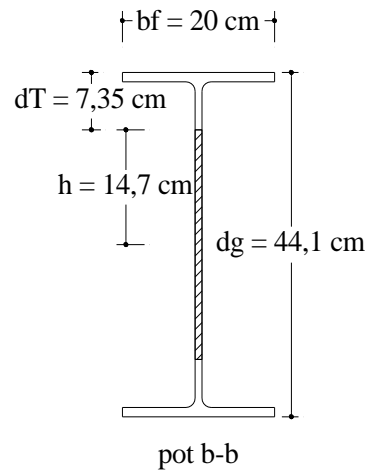
Modulus penampang T balok *castella* :

$$\begin{aligned}
 S_T &= Af \left[ds + \frac{tf}{2} \right] + As \times \frac{ds}{2} \quad (\text{Hal 4.7-17 Castellated Beam}) \\
 &= 2400 \left[61,5 + \frac{12}{2} \right] + 492 \times \frac{61,5}{2} \\
 &= 177129 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Modulus inersia penampang T balok *castella* :

$$\begin{aligned}
 I_T &= A_f \left(ds^2 + ds \times tf + \frac{tf^2}{3} \right) + A_s \times \frac{ds^2}{3} \\
 &= 2400 \left(61,5^2 + 61,5 \times 12 + \frac{12^2}{3} \right) \\
 &\quad + 2400 \times \frac{61,5^2}{3} \\
 &= 13989600 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Sehingga di dapat :



Gambar 4.19 Penampang Potongan b-b Balok *Castella*

Jarak garis berat penampang T dari ujung tangkai balok *castella* :

$$C_s = \frac{S_T}{A_T} = \frac{177129}{2892,00} = 61,25 \text{ mm}$$

Momen inersia tangkai penampang T :

$$\begin{aligned}
 I_t &= I_T - C_s \times Z_T \\
 &= 13989600 - 61,25 \times 177129 \\
 &= 3140816,24 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Modulus tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} = \frac{3140816,24}{61,24792531} = 51280,37 \text{ mm}^3$$

Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$\begin{aligned} d &= 2 \times (h + C_s) \\ &= 2 \times 147 + 61,25 \\ &= 416,4959 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen inersia balok *castella* :

$$\begin{aligned} I_g &= 2 \times I_t + \frac{A T \times d^2}{2} \\ &= 2 \times 3140816,24 + \frac{2892 \times 416,4959^2}{2} \\ &= 257117508,00 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Modulus tahanan balok *castella* :

$$\begin{aligned} S_g &= \frac{2 \times I_g}{d_g} \\ &= \frac{2 \times 257117508,00}{441} \\ &= 1166065,80 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Kontrol geser plat badan pada tumpuan balok :

(SNI 03-1729:2002) pasal 8.10.

$$\begin{aligned} V_n &= \phi \times 0,60 \times f_y \times A_w \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times (d_g - (2 \times t_f)) \times t_w \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times 417 \times 8 \\ &= 450360 \text{ N} > V_u = 26400 \text{ N} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Kontrol geser plat badan pada daerah berlubang :

$$\begin{aligned} V_n &= \phi \times 0,60 \times f_y \times A_w \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times dT-t_f \times t_w \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times 61,5 \times 8 \\ &= 66420 \text{ N} > V_u = 26400 \text{ N} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Pemeriksaan komponen struktur apakah perlu *stiffener* :

1. Leleh lokal pada web

Daerah lapangan ($j > d$)

$$\phi R_n = \phi \times \left[\alpha \times k + N \right] \times f_y \times t_w$$

k = Tebal plat sayap ditambah jari - jari peralihan, mm

$$= t_f + r = 12 + 18 = 30 \text{ mm}$$

N = Dimensi longitudinal plat perletakan, mm

$$\phi = 1$$

$\alpha = 5$ (daerah lapangan)

$$\phi R_n = 1 \times \left[5 \times 30 + 400 \right] \times 250 \times 8$$

$$= 1100000 \text{ N} > V_u = 26400 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

maka, pada daerah lapangan tidak perlu *stiffener*.

Daerah Tumpuan ($j \leq d$)

$$\phi R_n = \phi \times \left[\alpha \times k + N \right] \times f_y \times t_w$$

k = Tebal plat sayap ditambah jari - jari peralihan, mm

$$= t_f + r = 12 + 18 = 30 \text{ mm}$$

N = Dimensi longitudinal plat perletakan, mm

$$\phi = 1$$

$$\alpha = 2,5 \text{ (daerah tumpuan)}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1 \times \left[2,5 \times 30 + 400 \right] \times 250 \times 8 \\ &= 950000 \text{ N} > V_u = 26400 \text{ N} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

maka, pada daerah tumpuan tidak perlu *stiffener*.

2. Lentur lokal pada flens

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times 6,25 \times t_f^2 \times f_y \\ &= 0,9 \times 6,25 \times 144 \times 250 \\ &= 202500 \text{ N} > V_u = 26400 \text{ N} \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

maka, tidak perlu *stiffener*.

M. Pemeriksaan bagian T yang merupakan bagian yang mengalami gaya tekan

aksial : (Hal 4.7-6 *Castellated Beam*)

$$\begin{aligned} \frac{b_f}{t_f} &\leq \frac{3000}{\sqrt{f_y}} & b_f &= 0,5 \times b \\ & & &= 0,5 \times 200 = 100 \text{ mm} \\ & & t_f &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{100}{12} = 8,333 \quad \frac{3000}{\sqrt{250}} = 189,74$$

$$8,333 \leq 189,74 \quad \mathbf{KOMPAK}$$

$$\begin{aligned} \frac{b_s}{t_s} &\leq \frac{4000}{\sqrt{f_y}} & b_s &= d_T \\ & & &= 73,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_s = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{73,5}{8} = 9,188 \quad \frac{4000}{\sqrt{250}} = 252,98$$

$$9,188 \leq 252,98 \quad \mathbf{KOMPAK}$$

N. Kontrol penampang balok *castella* :

Dimensi *Castella* :

$$L = 10,12 \text{ m} = 10120 \text{ mm}$$

$$dg = 441 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$tw = 8 \text{ mm}$$

$$tf = 12 \text{ mm}$$

Kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk lokal :

$$\lambda_f = \frac{b}{2tf} = \frac{200}{2 \times 12} = 8,333$$

$$\lambda_w = \frac{dg}{tw} = \frac{441}{8} = 55,125$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,748$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,349$$

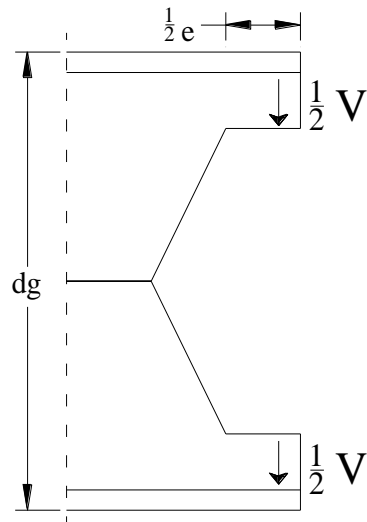
$$\lambda_f < \lambda_{pf}$$

$$8,333 < 10,75 \text{ , Maka Kompak}$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw}$$

$$55,1 < 106,3 \text{ , Maka Kompak}$$

O. Tegangan lentur yang diijinkan penampang *castella* :



Gambar 4.20 Pengaruh geser pada bagian penampang T

(Hal 4.7-18 Castellated Beam)

$$\begin{aligned}
 C_c &= \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{f_y}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \times 3,14^2 \times 200000}{250}} \\
 &= 125,714
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{\sigma} &= \left(1 - \frac{2,609}{C_c^2} \times \left(\frac{e}{tw} \right)^2 \right) \times 0,6 \times f_y \\
 &= \left(1 - \frac{2,609}{125,7^2} \times \left(\frac{147}{8} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 250 \\
 &= 141,639 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Kontrol tegangan lentur sekunder

(Hal 4.7-17 Castellated Beam)

$$\begin{aligned}\sigma_T &= \frac{V \times e}{4 \times S_s} \\ &= \frac{26400 \times 147}{4 \times 51280,37} \\ &= 18,920 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Tegangan lentur primer ditengah bentang penampang *castella*.

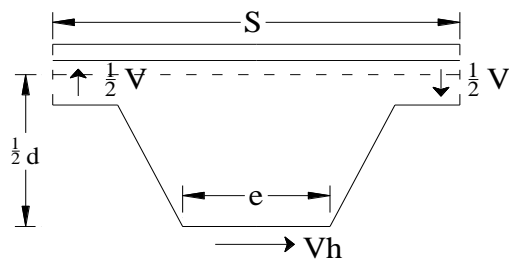
Tegangan tarik dan desak. (Hal 4.7-18 Castellated Beam)

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F}{A_T} = \frac{M}{d \times A_T} \\ &= \frac{92300000}{416,5 \times 2892,00} \\ &= 76,629 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Kontrol tegangan total

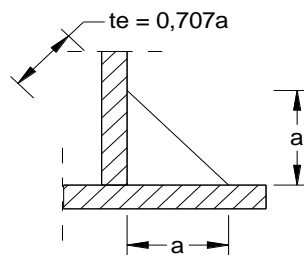
$$\begin{aligned}\sigma_{total} &= \sigma_T + \sigma_b \leq \bar{\sigma} \\ 18,920 + 76,63 &\leq 141,639 \\ 95,548 \text{ Mpa} &\leq 141,639 \text{ Mpa} \quad \mathbf{OK}\end{aligned}$$

Sambungan las



Gambar 4.21 Gaya geser horizontal pada sumbu netral

$$\begin{aligned}
 V_h &= V_u \times \frac{s}{d} \\
 &= 26400 \times \frac{588}{416,50} \\
 &= 37270,96 \text{ N}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.22 Tebal efektif las sudut (Throat efektif)

Persyaratan ukuran las : SNI 1729:2015

Tebal plat minimum yang disambung = 8 mm

Ukuran minimum las sudut (a) = 5 mm

Ukuran maksimum las sudut (a) = tebal plat - 2 mm
 = 8 - 2 = 6 mm

Diambil ukuran las sudut (a) = 5 mm

$$\begin{aligned}
 te &= 0,707 \times a \\
 &= 0,707 \times 5 = 3,535 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang minimum las : SNI 1729:2015

$$\begin{aligned}
 l &= a \times 4 \\
 &= 5 \times 4 \\
 &= 20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kuat rencana las sudut ukuran 5 mm per mm panjang :

Dipakai tipe Elektroda 70 :

$$f_{uw} = 485 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\emptyset \times R_{nw} &= \emptyset \times t_e \times \left[0,6 \times f_{uw} \right] \\ &= 0,75 \times 3,535 \times \left[0,6 \times 485 \right] \\ &= 771,5 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

dan kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser plat :

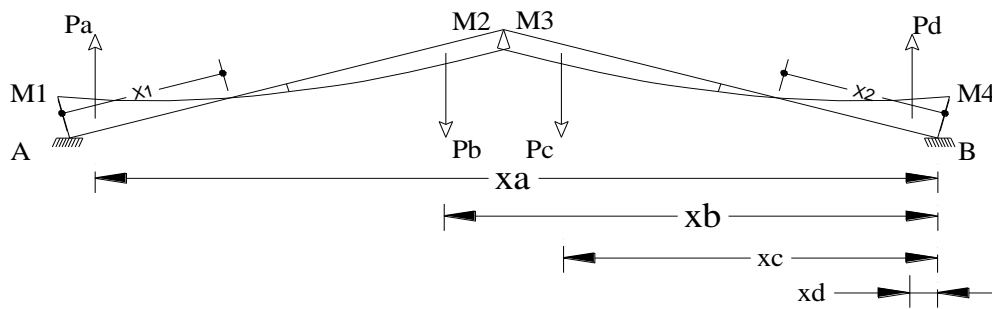
$$\begin{aligned}\text{nilai maks. } \emptyset \times R_{nw} &= \emptyset \times t \times \left[0,6 \times f_u \right] \\ &= 0,75 \times 8 \times \left[0,6 \times 410 \right] \\ &= 1476 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

Panjang total las yang dibutuhkan (L_w) :

$$L_w = \frac{V_h}{\emptyset \times R_{nw}} = \frac{37270,96}{771,5138} = 48,309 \text{ mm}$$

Kontrol lendutan :

$$\begin{aligned}\Delta \text{ ijin} &= \frac{1}{240} L \quad (\text{sumber : SNI-03-1729-2002}) \\ &= \frac{1}{240} 10120 \\ &= 42,17 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 4.23 Perhitungan lendutan balok dengan metode momen area

$$x1 \quad \longrightarrow \quad M \quad = \quad 0 \quad \text{KNm} \quad (\text{Stadd Pro 2004})$$

$$x2 \quad \longrightarrow \quad M \quad = \quad 0 \quad \text{KNm} \quad (\text{Stadd Pro 2004})$$

$$0,0 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad M1 \quad = \quad -13,3 \quad \text{KNm} \quad (\text{Stadd Pro 2004})$$

$$10,12 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad M2 \quad = \quad 40 \quad \text{KNm} \quad (\text{Stadd Pro 2004})$$

$$0,0 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad M3 \quad = \quad 40 \quad \text{KNm} \quad (\text{Stadd Pro 2004})$$

$$10,12 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad M4 \quad = \quad -92,3 \quad \text{KNm} \quad (\text{Stadd Pro 2004})$$

$$x1 \quad = \quad 0,77 \quad \text{m} \quad (\text{Stadd Pro 2004})$$

$$x2 \quad = \quad 4,9 \quad \text{m} \quad (\text{Stadd Pro 2004})$$

Luas Momen :

$$Pa = \frac{1}{3} \times 13,3 \times 0,77 = 3,41 \quad \text{KNm}^2$$

$$Pb = \frac{2}{3} \times 40 \times 9,35 = 249,33 \quad \text{KNm}^2$$

$$Pc = \frac{2}{3} \times 40 \times 5,22 = 139,20 \quad \text{KNm}^2$$

$$Pd = \frac{1}{3} \times 92 \times 4,90 = 150,76 \quad \text{KNm}^2$$

Jarak horizontal terhadap titik B :

$$X_a = 19,55 - \left(\frac{1}{4} \times 0,77 \right) \times \cos 15 = 19,36 \text{ m}$$

$$X_b = 9,775 + \left(\frac{3}{8} \times 9,35 \right) \times \cos 15 = 13,16 \text{ m}$$

$$X_c = 9,775 - \left(\frac{3}{8} \times 5,22 \right) \times \cos 15 = 7,884 \text{ m}$$

$$X_d = \left(\frac{1}{4} \times 4,90 \right) \times \cos 15 = 0,966 \text{ m}$$

$$\Sigma M_b' = 0$$

$$\begin{aligned} & (R_a' \times 19,55) + (P_a \times 19,36) - (P_b \times 13,16) \\ & - (P_c \times 7,88) + (P_d \times 0,97) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (R_a' \times 19,55) + (3,41 \times 19,36) - (249,33 \times \\ & 13,16) - (139,20 \times 7,88) + (150,76 \times 0,97) \\ & = 0 \end{aligned}$$

$$R_a' = 213,2 \text{ KNm}^2$$

Jarak horizontal terhadap momen maksimal (pada tengah bentang = 4,89 m)

$$X_{a'} = 4,89 - \left(\frac{1}{4} \times 0,77 \right) \times \cos 15 = 4,702 \text{ m}$$

$$X_{b'} = \left(\frac{3}{8} \times 4,29 \right) \times \cos 15 = 1,554 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
M_{\max} &= \left(R_{a'} \times 4,89 \right) + P_a \times X_{a'} - P_b \times X_{b'} \\
&= \left(213,2 \times 2,4 \right) + 3,41 \times 4,702 - 249,33 \\
&\quad \times 1,554 \\
&= 149,531 \text{ KNm}^3 \\
&= 149530756435925 \text{ Nmm}^3 \\
\Delta x &= \frac{M_{\max}}{E \cdot I_g} \\
&= \frac{149530756435925}{200000 \times 257117508} \\
&= 2,91 \text{ mm} < \Delta \text{ ijin} = 42 \text{ mm} \quad \text{AMAN}
\end{aligned}$$

4.4 Perencanaan Kolom Komposit

Data dari hasil perhitungan STAAD Pro 2004 diperoleh kombinasi beban :

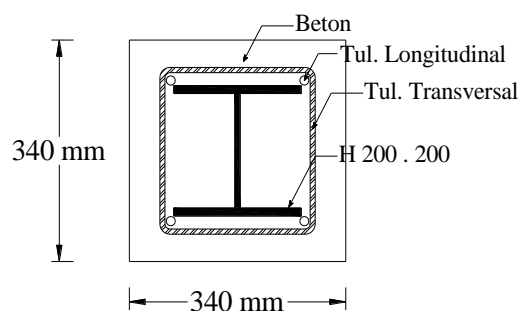
yang terbesar : $1,2 \text{ D} + 1,6 \text{ R} + 0,5 \text{ W}$

$P_u = 60,8 \text{ KN} = 60800 \text{ N}$

$M_u = 61 \text{ KNm} = 61000000 \text{ Nmm}$

$V_u = 13,6 \text{ KN} = 13600 \text{ N}$

▪ Data profil kolom



Gambar 4.24 Perencanaan kolom komposit

Dimensi kolom komposit = 34 cm x 34 cm

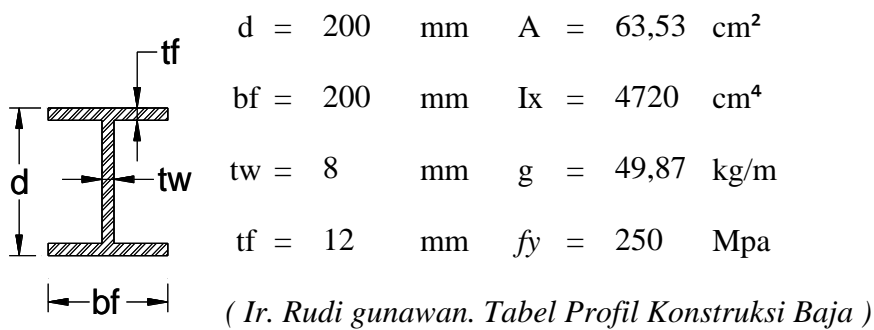
Selimut beton = 40 mm

Tulangan sengkang = \emptyset 8 - 150

Panjang kolom = 5 m

Tulangan Longitudinal = \emptyset 14

Dicoba profil H 200 . 200 . 8 . 12



▪ **Data material**

Mutu baja = BJ41 ($f_y = 250$ Mpa)
($f_u = 410$ Mpa)

Kuat tekan beton = 25 Mpa

E baja = 200000 Mpa

E beton = $0,043 \times 2400^{1,5} \sqrt{f'_c} = 25279$ Mpa

Mutu tul. Sengkang = 240 Mpa

▪ **Kontrol SNI 03-1729-2015 :**

1. Kontrol luas minimum baja

Luas beton (A_c) = 340 x 340
= 115600 mm²

Luas profil (A_s) = 6353 mm²

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{6353}{115600} \times 100\% = 5,496\% > 1\% \quad \mathbf{OK}$$

2. Kontrol jarak sengkang, luas tulangan longitudinal dan lateral

a. Sengkang / pengikat lateral

$$\text{Jarak sengkang} = 150 \text{ mm} < 1/2 \times 340 = 170 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}$$

Luas tulangan sengkang (A_{sk})

$$= 1/4 \times \pi \times 6^2$$

$$= 28,286 \text{ mm}^2 > 0,18 \times 150 = 27 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

b. Tulangan Longitudinal/utama

Luas tulangan utama (A_{sr})

$$= 1/4 \times \pi \times 14^2$$

$$= 154,000 \text{ mm}^2 > 0,18 \times 220 = 40 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

Jarak Tulangan Longitudinal

$$= \text{b kolom} - 2 \times \text{Selimut beton} - 2 \times \text{diameter sengkang}$$

$$- 2 \times \text{diameter tul. Longitudinal}$$

$$= 340 - 2 \times 40 - 2 \times 6 - 2 \times 14$$

$$= 220 \text{ mm}$$

3. Kontrol kuat tekan beton

$$\text{Kuat tekan beton rencana } (f'_c) = 25 \text{ Mpa}$$

$$\text{Syarat SNI} = 21 \text{ s/d } 70 \text{ Mpa} \quad \mathbf{OK}$$

4. Kontrol tegangan leleh baja dan tulangan longitudinal

$$\text{Mutu baja rencana} = 250 \text{ Mpa} < 525 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu tulangan sengkang} = 240 \text{ Mpa} < 525 \text{ Mpa}$$

OK

5. Rasio tulangan longitudinal

(SNI 03-1729-2015)

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} = \frac{616,000}{115600} = 0,005 > 0,004 \quad \mathbf{OK}$$

• Berat sendiri kolom komposit

$$B_s = \text{B.s. Beton Bertulang} + \text{B.s. Profil Baja}$$

$$= A_c \times L_{\text{kolom}} \times \text{Berat Volume} + A_s \times L_{\text{kolom}}$$

$$= \left[0,122 \times 4,5 \times 2400 \right] + \left[0,006 \times 4,5 \right]$$

$$= 1317,121 \text{ kg} = 13171,21 \text{ N}$$

▪ **Kontrol Tekan Kolom Komposit :**

1. Kontrol kekuatan tekan kolom komposit

Luas netto beton :

$$A_c = A_g - A_s - A_{sr}$$

$$= 115600 - 6353 - 616,000$$

$$= 108631,000 \text{ mm}^2$$

Koefisien untuk perhitungan kekakuan dari suatu komponen struktur tekan

komposit :

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,1 + 2 \left(\frac{A_s}{A_c + A_s} \right) \leq 0,3 \\ &= 0,1 + 2 \left(\frac{6353}{108631,0 + 6353} \right) \leq 0,3 \\ &= 0,211 \leq 0,3 \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Momen inersia batang tulangan di penampang komposit :

$$\begin{aligned} I_{rs} &= \frac{\pi}{4} \times r^4 = \frac{\pi}{4} \times 7^4 = 1884,785 \times 4 \\ &= 7539,140 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia penampang beton :

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 340 \times 340^3 \\ &= 1113613333,33 - I_s - I_{rs} \\ &= 1113613333,33 - 47200000 \\ &\quad - 7539,140 \\ &= 1066405794,19 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia profil baja :

$$\begin{aligned} I_s &= I_x \\ &= 47200000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

2. Kekakuan efektif penampang komposit

$$\begin{aligned} E I_{eff} &= \left[E_s \times I_s \right] + \left[0,5 \times E_s \times I_{sr} \right] + \left[C1 \times E_c \times I_c \right] \\ &= \left[200000 \times 47200000 \right] + \left[0,5 \times 200000 \right. \\ &\quad \left. \times 7539,140 \right] + \left[0,211 \times 25278,73 \times 1066405794 \right] \\ &= 15115347037617,2 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

3. Beban tekuk kritis elastis

$$\begin{aligned}
 P_e &= \frac{\pi^2 \times E_{ieff}}{KL^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \times 15115347037617,20}{1 \times 5^2} \\
 &= 5961251026084 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{no} &= f_y \times A_s + f_{ysr} \times A_{sr} + 0,85 f'_c \times A_c \\
 &= 250 \times 6353 + 240 \times 616,000 + 0,85 \times 25 \times \\
 &\quad 108631,00 \\
 &= 4044498,75 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{4044498,750}{5961251026084} = 0,00000068$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= P_{no} \left(\begin{array}{c} \frac{P_{no}}{P_e} \\ 0,658 \end{array} \right) \\
 &= 4044498,750 \left(\begin{array}{cc} 0,00000068 \\ 0,658 \end{array} \right) \\
 &= 4044497,601 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi_c \times P_n \geq P_u$$

$$0,75 \times 4044497,601 \geq 60800 \text{ N}$$

$$3033373,201 \text{ N} > 60800 \text{ N } \mathbf{OK}$$

▪ **Interaksi Aksial dan Momen Kolom :**

$$P_u = 60800 \text{ N}$$

$$M_u = 61000000 \text{ Nmm}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{60800}{4044497,601} = 0,015 < 0,2 \quad \text{SNI 1729:2015, hal 79}$$

Sehingga :

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi b \times M_{ny}} \right)$$

$$M_{nx} = Z_x \times f_y$$

$$= 472000 \times 250$$

$$= 118000000 \text{ Nmm}$$

$$\frac{60800}{2 \times 4044497,60} + \left(\frac{61000000}{0,9 \times 118000000} + \frac{0}{\phi \times M_{ny}} \right) < 1$$

$$0,582 < 1 \quad \text{OK}$$

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan struktur double Gable Frame pada Pembangunan Rehabilitasi Pasar Lumajang dengan menggunakan baja Castella dan Kolom Komposit dapat ditarik hasil dari perhitungan, yaitu :

1. Profil gording Channel 100.50.5 dengan pemasangan trekstang Ø8 sejarak 3 m.
2. Profil balok Castella 441.200.8.12, diambil dari profil H 294.200.8.12 dan dipotong dengan sudut 45°
3. Dimensi kolom komposit sebesar 340 mm x 340 mm, dengan profil H 200.200.8.12,kebutuhan tulangan longitudinal sebanyak 4 Ø 14 dan kebutuhan tulangan transversal 42 Ø 6–150.
4. Kebutuhan sambungan balok dan kolom sebanyak 2 x 4 Ø 20. Sambungan baut pada puncak (rafter) sebanyak 2 x 4 Ø 20. Sambungan baut pada kolom dan balok kantilever sebanyak 2 x 2 Ø 20. Kebutuhan sambungan baut angkur kolom atas dan base plate sebanyak 4 Ø 20. Tebal las sudut 5 mm sepanjang 20 mm. Dan kebutuhan sambungan baut angkur kolom bawah dan base plate sebanyak 6 Ø 20. Tebal las sudut 5 mm sepanjang 108 mm.
5. Dari hasil perhitungan, didapat kebutuhan base plate kolom atas dengan panjang 340 mm, lebar 340 mm dan tebal 10 mm dan kebutuhan base

plate kolom bawah dengan panjang 450 mm, lebar 400 mm dan tebal 20 mm.

Dari data – data hasil perhitungan diatas, maka dapat diterapkan secara langsung di lapangan dalam perencanaan struktur baja yang meliputi gording, balok *castella* , kolom komposit, dan sambungan.

4.5 Perencanaan Sambungan

- Balok Castella :

$$\text{Tinggi Balok (d)} = 441 \text{ mm} \quad \text{Tebal web (tw)} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Balok (bf)} = 200 \text{ mm} \quad \text{Tebal Flange (tf)} = 12 \text{ mm}$$

- Profil Baja Kolom :

$$\text{Tinggi Balok (d)} = 200 \text{ mm} \quad \text{Tebal web (tw)} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Balok (bf)} = 200 \text{ mm} \quad \text{Tebal Flange (tf)} = 12 \text{ mm}$$

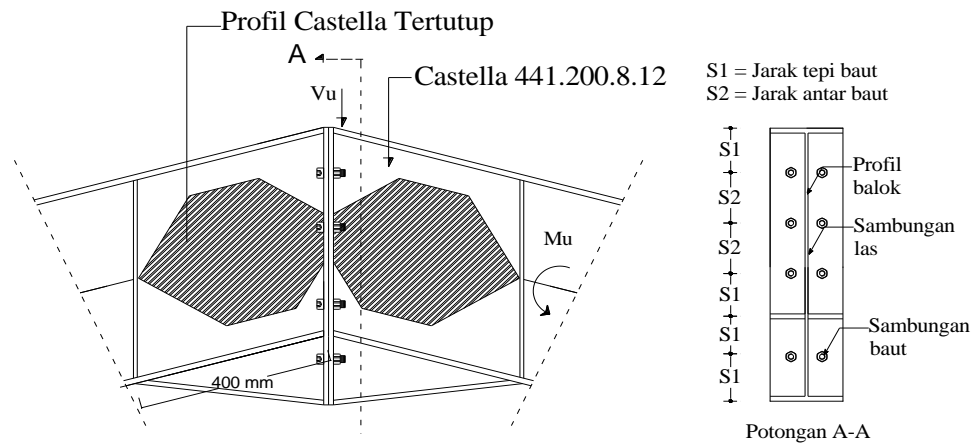
- Balok kantilever :

$$\text{Tinggi Balok (d)} = 150 \text{ mm} \quad \text{Tebal web (tw)} = 7 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Balok (bf)} = 150 \text{ mm} \quad \text{Tebal Flange (tf)} = 10 \text{ mm}$$

4.5.1 Sambungan puncak (Rafter)

a. Sambungan baut



Gambar 4.25 Skema penyambungan balok - balok

Diketahui :

$$V_n = 66420 \text{ N}$$

$$M_n = \bar{\sigma} \times S_g = 141,6391 \times 1166066$$

$$= 165160560,6 \text{ Nmm}$$

Digunakan baut diameter 5/8" in. (A307)

Tegangan tarik baut (f_{nt}) = 310 MPa SNI 1729:2015, hal 125

Tegangan geser baut (f_{nv}) = 188 MPa

Diameter baut = 5/8" in. = 20 mm

$$\begin{aligned} A_b &= 1/4 \times \pi \times 20^2 \\ &= 314,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap tarik :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times f_{nt} \times A_b \\ &= 0,75 \times 310 \times 314,286 \\ &= 73071,43 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap geser :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times f_{nv} \times A_b \\ &= 0,75 \times 188 \times 314,286 \\ &= 44314,29 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal tumpu pada lubang - lubang baut :

Tebal plat penyambung (t_p) = 15 mm

Jarak tepi minimum baut diameter 5/8" in = 26 mm

$$\begin{aligned} l_c &= \text{diambil jarak bersih baut ke tepi plat} = 48,75 - 1/2 d \\ &= 38,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \\ &= 1,2 \times 38,75 \times 15 \times 410 \\ &= 285975 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2,4 \times d \times t_p \times f_u \\
&= 2,4 \times 20 \times 15 \times 410 \\
&= 295200 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
1,2 \times l_c \times t_p \times f_u &\leq 2,4 \times d \times t_p \times f_u \\
285975 \text{ N} &< 295200 \text{ N} \quad \mathbf{OK}
\end{aligned}$$

Diambil nominal baut yang terkecil :

$$\text{Geser} = 44314,29 \text{ N}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan :

$$n = \frac{V_n}{\phi R_n} = \frac{66420}{0,75 \times 44314,29} = 1,998 \sim 4 \text{ baut}$$

Diambil = 4 buah baut dalam baris

Kontrol kekuatan geser :

$$V_n \leq \phi R_n \times n$$

$$66420 \text{ N} \leq 44314,29 \times 8$$

$$66420 \text{ N} < 354514,3 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$\phi R_n = \phi \times f_{nt} \times A_b$$

$$f_{rv} = \frac{V_u}{n \times A_b} = \frac{66420}{8 \times 314,286} = 26,417 \text{ MPa}$$

$$f_{nt} = 1,3 \times f_{nt} - \frac{f_{nt}}{\phi \times f_{nv}} \times f_{rv} \leq f_{nt}$$

$$= 1,3 \times 310 - \frac{310}{0,75 \times 188} \times 26,42 \leq 310 \text{ Mpa}$$

$$= 344,92 \text{ MPa} > 310 \text{ MPa} \quad \mathbf{No}$$

Catatan : Bila tegangan yang diperlukan (f_{rv}) kurang dari atau sama dengan 30 % dari tegangan yang tersedia, maka efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa.

$$f_{rv} \leq 30\% f_{nv}$$

$$26,417 \text{ MPa} \leq 30\% \cdot 188$$

$$26,417 \text{ MPa} < 62,67 \text{ MPa}$$

maka, efek kombinasi tarik dan geser diabaikan.

Jarak tepi minimum baut diameter 5/8" in = 26 mm

Jarak tepi maksimum baut (S1) = 12 tp atau 150 mm
 = 180 atau 150 mm
 diambil = 100 mm

Jarak minimum antar baut = 3 d

Jarak maksimum antar baut (S2) = 14 tp atau 180 mm
 = 210 atau 180 mm
 diambil = 120 mm

$$\phi \cdot M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i$$

$$a = \frac{0,75 \times f_{nt} \times n_1 \times n_2 \times A_b}{f_y \times b}$$

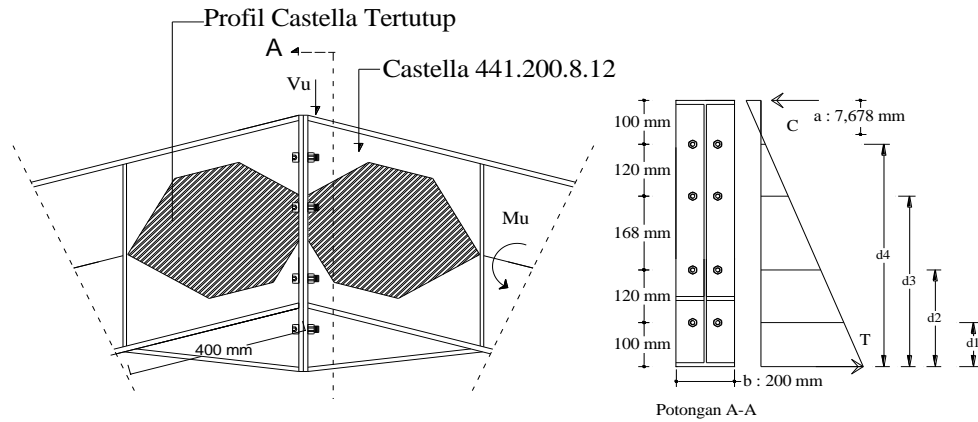
$$= \frac{0,75 \times 310 \times 2 \times 4 \times 314,286}{240 \times 200}$$

$$= 12,18 \text{ mm}$$

Jarak baut (d_i)

$$d_1 = 100 \text{ mm} \quad d_3 = 388 \text{ mm}$$

$$d_2 = 220 \text{ mm} \quad d_4 = 508 \text{ mm}$$



Gambar 4.26 Diagram tegangan baut

$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \times f_{nt} \times n_1 \times A_b \times \Sigma d$$

$$= 0,75 \times 310 \times 2 \times 314,286 \times 1216$$

$$= 177709714,3 \text{ Nmm}$$

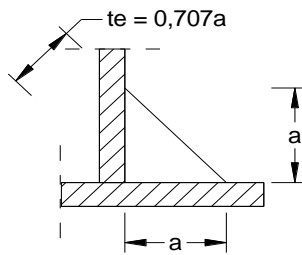
$$\emptyset Mn = \frac{0,9 \times 240 \times 148,3 \times 200}{2} + 177709714,3$$

$$= 180913374,5 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset Mn \text{ baut} \geq Mn \text{ Balok}$$

$$180913374,5 \text{ Nmm} > 165160561 \text{ OK}$$

b. Sambungan las



Gambar 4.27 Tebal efektif las sudut (Throat efektif)

Persyaratan ukuran las : SNI 1729:2015

Tebal plat minimum yang disambung = 15 mm

Ukuran minimum las sudut (a) = 5 mm

Ukuran maksimum las sudut (a) = tebal plat - 2 mm
= 15 - 2 = 13 mm

Diambil ukuran las sudut (a) = 5 mm

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 5 = 3,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las SNI 1729:2015

$$\begin{aligned} l &= a \times 4 \\ &= 5 \times 4 \\ &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat rencana las sudut ukuran 5 mm per mm panjang :

Dipakai tipe Elektroda 70 :

$$fuw = 485 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
\phi \times R_{nw} &= \phi \times t_e \times \left[0,6 \times f_{uw} \right] \\
&= 0,75 \times 3,535 \times \left[0,6 \times 485 \right] \\
&= 771,5 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

dan kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser plat :

$$\begin{aligned}
\text{nilai maks. } \phi \times R_{nw} &= \phi \times t \times \left[0,6 \times f_u \right] \\
&= 0,75 \times 15 \times \left[0,6 \times 410 \right] \\
&= 2768 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

Gaya geser nominal, V_n :

$$V_n = 66420 \text{ N}$$

Panjang total las yang dibutuhkan (L_w) :

$$L_w = \frac{V_n}{\phi \times R_{nw}} = \frac{66420}{771,5138} = 86,090 \text{ mm}$$

c. Perencanaan plat ujung

Lebar efektif plat ujung (b_p)

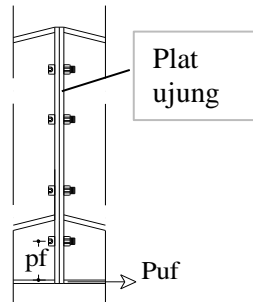
$$\begin{aligned}
b_p &= b_f + 1 \text{ in.} & 1 \text{ in.} &= 25,4 \text{ mm} \\
&= 200 + 25,4 \\
&= 225,4 \text{ mm} \sim 230 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Tebal plat ujung (t_p)

$$\begin{aligned}
M_{eu} &= \alpha_m \times P_{uf} \times \frac{P_e}{4} \\
\alpha_m &= C_a \times C_b \times \frac{A_f}{A_w} \times \frac{1}{3} \times \frac{P_e}{d_b} \times \frac{1}{4}
\end{aligned}$$

$$C_a = 1,36 \quad \text{AISC tabel 10-1}$$

$$C_b = \frac{b_f}{b_p} = \frac{200}{230} = 0,933$$



Gambar 4.28 Gaya yang berkerja pada plat ujung

d_b = Diameter baut (mm)

$$P_e = P_f - \frac{d_b}{4} - \text{lebar kaki las}$$

$$= 89,9 - \frac{20}{4} - 5$$

$$= 79,9 \text{ mm}$$

A_f = Luas flange daerah tarik balok (mm^2)

A_w = Luas bersih web balok (mm^2)

$$\alpha_m = C_a \times C_b \times \frac{A_f}{A_w} \times \frac{P_e}{d_b}$$

$$= 1,36 \times 0,933 \times \frac{2400}{3336} \times \frac{79,9}{20}$$

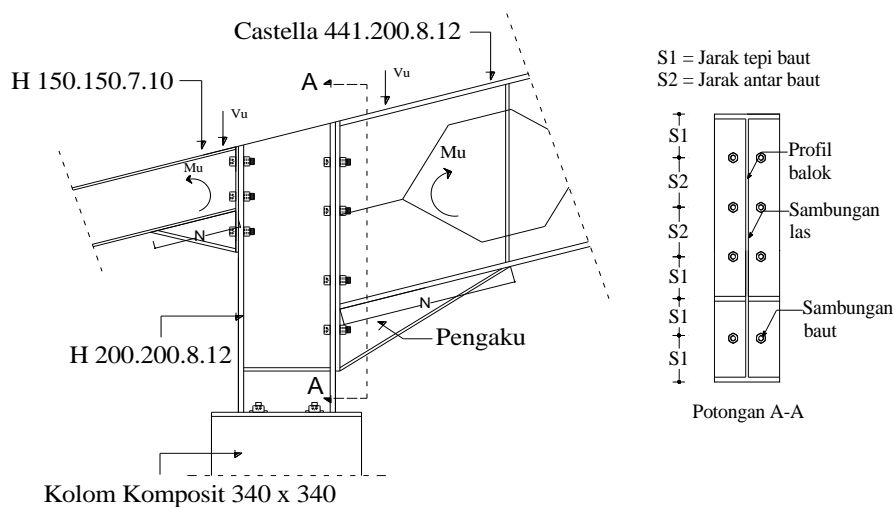
$$= 0,304$$

$$P_{uf} = \frac{M_n}{d - t_f}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{165160561}{441 - 12} \\
&= 384989,6518 \text{ N} \\
\text{Meu} &= \alpha_m \times \text{Puf} \times \frac{\text{Pe}}{4} \\
&= 0,304 \times 384989,6518 \times \frac{79,9}{4} \\
&= 2335858,709 \text{ Nmm} \\
\text{tp min} &= \sqrt{\frac{4 \times \text{Meu}}{\phi \times f_y \times b_p}} \\
&= \sqrt{\frac{4 \times 2335858,709}{0,9 \times 250 \times 230}} \\
&= 13,437 \text{ mm} \sim 15 \text{ mm}
\end{aligned}$$

4.5.2 Sambungan balok kolom

a. Sambungan baut



Gambar 4.29 Skema penyambungan balok - kolom

Diketahui :

$$V_n = 66420 \quad \text{N}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= \bar{\sigma} \times S_g = 141,6391 \times 1166066 \\ &= 165160561 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

Digunakan baut diameter 5/8" in. (A307)

Tegangan tarik baut (f_{nt}) = 310 MPa SNI 1729:2015, hal 125

Tegangan geser baut (f_{nv}) = 188 MPa

Diameter baut = 5/8" in. = 20 mm

$$\begin{aligned} A_b &= 1/4 \times \pi \times 20^2 \\ &= 314,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap tarik :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times f_{nt} \times A_b \\ &= 0,75 \times 310 \times 314,286 \\ &= 73071,43 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap geser :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times f_{nv} \times A_b \\ &= 0,75 \times 188 \times 314,286 \\ &= 44314,29 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal tumpu pada lubang - lubang baut :

Tebal plat penyambung (t_p) = 15 mm

Jarak tepi minimum baut diameter 5/8" in = 26 mm

$$\begin{aligned} l_c &= \text{diambil jarak bersih baut ke tepi plat} = 48,75 - 1/2 d \\ &= 38,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\emptyset R_n &= 1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \\
&= 1,2 \times 38,75 \times 15 \times 410 \\
&= 285975 \text{ N} \\
&= 2,4 \times d \times t_p \times f_u \\
&= 2,4 \times 20 \times 15 \times 410 \\
&= 295200 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
1,2 \times l_c \times t_p \times f_u &\leq 2,4 \times d \times t_p \times f_u \\
285975 \text{ N} &< 295200 \text{ N} \quad \mathbf{OK}
\end{aligned}$$

Diambil kuat nominal baut yang terkecil :

$$\text{Geser} = 44314,29 \text{ N}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan :

$$n = \frac{V_n}{\emptyset R_n} = \frac{66420}{0,75 \times 44314,29} = 1,998 \sim 4 \text{ baut}$$

Diambil = 4 buah baut dalam baris

Kontrol kekuatan geser :

$$\begin{aligned}
V_n &\leq \emptyset R_n \times n \\
66420 \text{ N} &\leq 44314,29 \times 8 \\
66420 \text{ N} &< 354514,3 \text{ N} \quad \mathbf{OK}
\end{aligned}$$

Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$\emptyset R_n = \emptyset \times f_{nt} \times A_b$$

$$f_{rv} = \frac{V_n}{n \times A_b} = \frac{66420}{8 \times 314,286} = 26,417 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{nt} &= 1,3 \times f_{nt} - \frac{f_{nt}}{\phi \times f_{nv}} \times f_{rv} \leq f_{nt} \\ &= 1,3 \times 310 - \frac{310}{0,75 \times 188} \times 26,42 \leq 310 \text{ Mpa} \\ &= 344,920 \text{ MPa} > 310 \text{ MPa} \quad \mathbf{No} \end{aligned}$$

Catatan : Bila tegangan yang diperlukan (f_{rv}) kurang dari atau sama dengan 30 % dari tegangan yang tersedia, maka efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa.

$$\begin{aligned} f_{rv} &\leq 30\% \quad f_{nv} \\ 26,417 \text{ MPa} &\leq 30\% \quad 188 \\ 26,417 \text{ MPa} &< 62,67 \text{ MPa} \end{aligned}$$

maka, efek kombinasi tarik dan geser diabaikan.

Jarak tepi minimum baut diameter 5/8" in = 26 mm

Jarak tepi maksimum baut = 12 tp atau 150 mm
diambil = 100 mm

Jarak minimum antar baut = 3 d

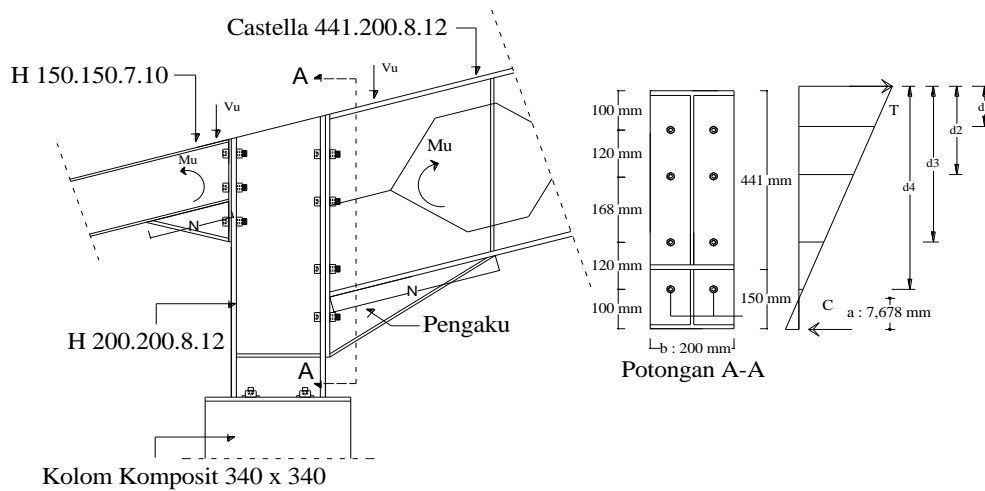
Jarak maksimum antar baut = 14 tp atau 180 mm
diambil = 120 mm

$$\begin{aligned} \phi . M_n &= \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i \\ a &= \frac{0,75 \cdot f_{nt} \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b}{f_y \cdot b} \\ &= \frac{0,75 \cdot 310 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 314,286}{240 \cdot 200} \\ &= 12,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak baut (d_i)

$$d_1 = 100 \text{ mm} \quad d_3 = 388 \text{ mm}$$

$$d_2 = 220 \text{ mm} \quad d_4 = 508 \text{ mm}$$



Gambar 4.30 Diagram tegangan baut

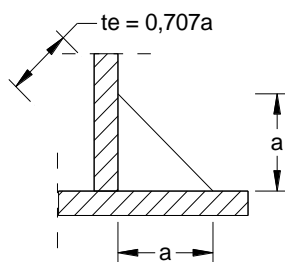
$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n T \cdot d_i &= 0,75 \cdot f_{nt} \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b \cdot \sum d_i \\ &= 0,75 \cdot 310 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 314,286 \cdot 1216 \\ &= 177709714,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset M_n &= \frac{0,9 \times 240 \times 148,3 \times 200}{2} + 177709714,3 \\ &= 180913374,5 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\emptyset M_n \text{ baut} \geq M_n \text{ Balok}$$

$$180913374,5 \text{ Nmm} > 165160561 \text{ Nmm} \quad \mathbf{OK}$$

b. Sambungan las



Gambar 4.31 Tebal efektif las sudut (Throat efektif)

Persyaratan ukuran las : SNI 1729:2015

Tebal plat minimum yang disambung = 15 mm

Ukuran minimum las sudut (a) = 5 mm

Ukuran maksimum las sudut (a) = tebal plat - 2 mm
= 15 - 2 = 13 mm

Diambil ukuran las sudut (a) = 5 mm

$$\begin{aligned}te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 5 \\ &= 3,535 \text{ mm}\end{aligned}$$

Panjang minimum las :

$$l = a \times 4 = 5 \times 4 = 20 \text{ mm}$$

Kuat rencana las sudut ukuran 5 mm per mm panjang :

Dipakai tipe Elektroda 70 :

$$f_{uw} = 485 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\emptyset \times R_{nw} &= \emptyset \times t_e \times \left[0,6 \times f_{uw} \right] \\ &= 0,75 \times 3,535 \times \left[0,6 \times 485 \right] \\ &= 771,5 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

dan kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser plat :

$$\begin{aligned}\text{nilai maks. } \emptyset \times R_{nw} &= \emptyset \times t \times \left[0,6 \times f_u \right] \\ &= 0,75 \times 15 \times \left[0,6 \times 410 \right] \\ &= 2768 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

Gaya geser nominal, V_n :

$$V_n = 66420 \text{ N}$$

Panjang total las yang dibutuhkan (L_w) :

$$L_w = \frac{V_n}{\emptyset \times R_{nw}} = \frac{66420}{771,5138} = 86,090 \text{ mm}$$

c. Perencanaan plat ujung

Lebar efektif plat ujung (bp)

$$\begin{aligned}b_p &= b_f + 1 \text{ in.} & 1 \text{ in.} &= 25,4 \text{ mm} \\ &= 200 + 25,4 \\ &= 225,4 \text{ mm} \sim 230 \text{ mm}\end{aligned}$$

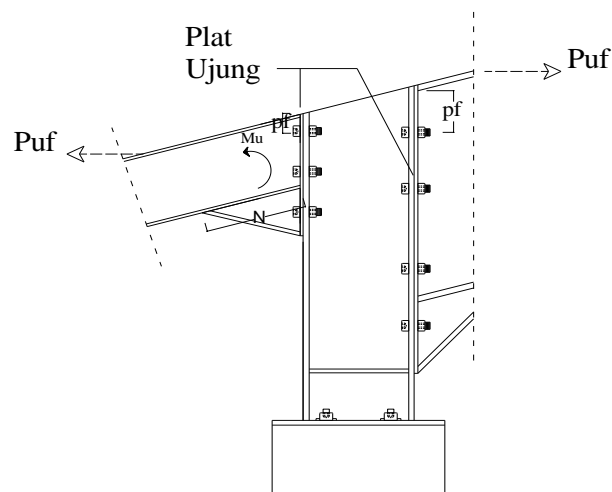
Tebal plat ujung (tp)

$$Meu = \alpha_m \times Puf \times \frac{Pe}{4}$$

$$\alpha_m = C_a \times C_b \times \frac{A_f \cdot \frac{1}{3}}{A_w} \times \frac{Pe \cdot \frac{1}{4}}{db}$$

$$C_a = 1,36 \quad \text{AISC tabel 10-1}$$

$$C_b = \frac{bf \cdot \frac{1}{2}}{bp} = \frac{200 \cdot \frac{1}{2}}{230} = 0,933$$



Gambar 4.32 Gaya yang berkerja pada plat ujung

db = Diameter baut (mm)

$$Pe = Pf - \frac{db}{4} - \text{lebar kaki las}$$

$$= 89,9 - \frac{20}{4} - 5$$

$$= 79,9 \text{ mm}$$

A_f = Luas flange daerah tarik balok (mm^2)

A_w = Luas bersih web balok (mm^2)

$$\alpha_m = C_a \times C_b \times \frac{A_f}{A_w} \times \frac{P_e}{d_b}$$

$$= 1,36 \times 0,933 \times \frac{2400}{3336} \times \frac{79,9}{20}$$

$$= 0,304$$

$$P_{uf} = \frac{M_u}{d - t_f}$$

$$= \frac{165160561}{441 - 12}$$

$$= 384989,6518 \text{ N}$$

$$M_{eu} = \alpha_m \times P_{uf} \times \frac{P_e}{4}$$

$$= 0,304 \times 384989,6518 \times \frac{79,9}{4}$$

$$= 2335858,709 \text{ Nmm}$$

$$t_p \text{ min} = \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times f_y \times b_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 2335858,709}{0,9 \times 250 \times 230}}$$

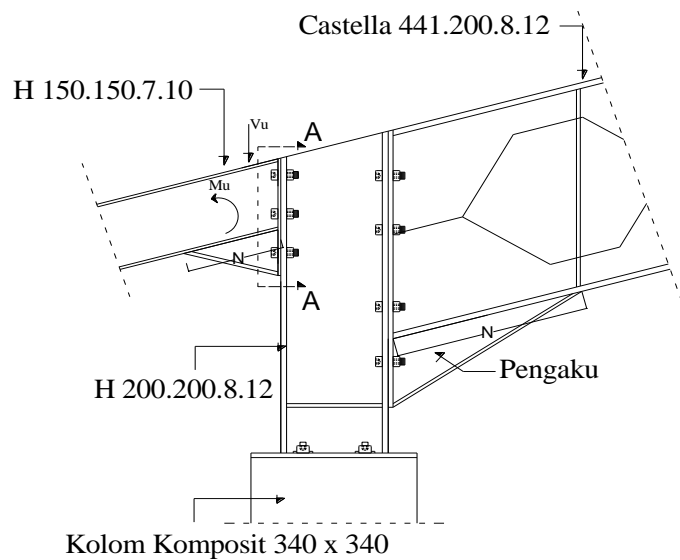
$$= 13,437 \text{ mm} \sim 15 \text{ mm}$$

Kontrol *web crippling* (lipatan pada plat badan)

Kondisi dimana tanpa pengaku segitiga dihitung berdasarkan momen nominal :

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times Z_x \times f_y \\ &= 0,9 \times 1166066 \times 250 \\ &= 262364804,1 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_u &= \frac{8 \times \phi M_n}{2 \times L} \\ &= \frac{8 \times 262364804,1}{2 \times 10120} \\ &= 103701,5 \text{ N}\end{aligned}$$



Gambar 4.33 Perencanaan pengaku

Dicoba tanpa pengaku, N (panjang pengaku)

(*Structural Steel Design*, Jack C. McCormac)

$$\phi P_n = \phi \times 0,4 \times t_w^2 \times \left[1 + \left(3 \times \frac{N}{d} \right) \times \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right]$$

$$\begin{aligned}
& \times \sqrt{\frac{E \times f_y \times t_f}{tw}} \\
& = 0,75 \times 0,4 \times 8^2 \times \left[1 + 3 \times \left(\frac{0}{441} \right) \times \left(\frac{8}{10} \right)^{1,5} \right] \\
& \times \sqrt{\frac{200000 \times 250 \times 10}{8}} \\
& = 19,200 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$19,200 \text{ N} < 103701,5 \text{ N} \text{ **TIDAK AMAN**}$$

Maka harus dipengaku pada sambungan

Dicoba pengaku, N: 400 mm

$$\frac{N}{d} = \frac{400}{441} = 0,907 > 0,2$$

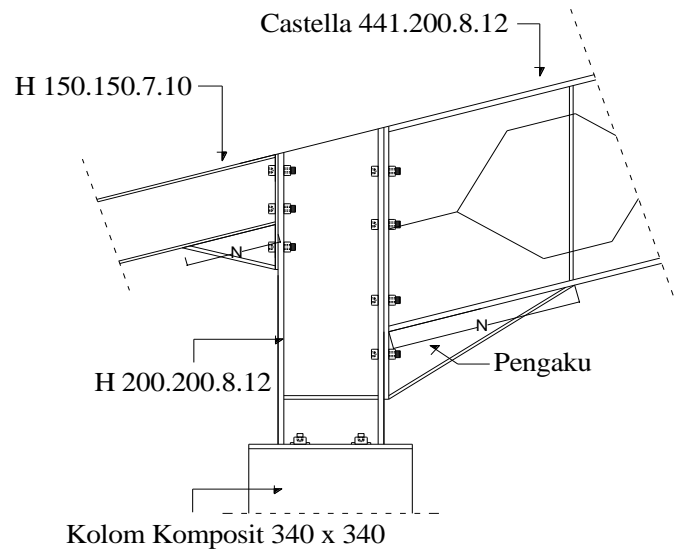
maka, dipakai rumus :

$$\begin{aligned}
\phi P_n & = \phi \times 0,4 \times tw^2 \times \left[1 + \left(4 \times \frac{N}{d} - 0,2 \right) \times \left(\frac{tw}{t_f} \right)^{1,5} \right] \\
& \times \sqrt{\frac{E \times f_y \times t_f}{tw}} \\
& = 0,75 \times 0,4 \times 8^2 \times \left[1 + \left(4 \times \frac{400}{441} - 0,2 \right) \right. \\
& \left. \times \left(\frac{8}{10} \right)^{1,5} \right] \\
& \times \sqrt{\frac{200000 \times 250 \times 10}{8}} \\
& = 372352,577 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$372352,577 \text{ N} > 103701,5 \text{ N} \text{ OK}$$

4.5.3 Sambungan balok kantilever



Gambar 4.34 Skema penyambungan balok kantilever - kolom

Diketahui :

$$\begin{aligned} M_n &= 0,9 \times f_y \times Z_x \\ &= 0,9 \times 250 \times 239600 \\ &= 53910000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= \phi \times 0,6 \times f_y \times A_w \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times h - (2 \times t_f) \times t_w \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times 130 \times 7 \\ &= 122850 \text{ N} \end{aligned}$$

$$N_u = 1,47 \text{ KN} = 1470 \text{ N}$$

Digunakan baut diameter 5/8" in. (A307)

Tegangan tarik baut (f_{nt}) = 310 MPa

$$\text{Tegangan geser baut } (f_{nv}) = 188 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter baut} = 7/8" \text{ in.} = 24 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_b &= 1/4 \times \pi \times 24^2 \\ &= 452,571 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap tarik :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times f_{nt} \times A_b \\ &= 0,75 \times 310 \times 452,571 \\ &= 105222,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap geser :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \times f_{nv} \times A_b \\ &= 0,75 \times 188 \times 452,571 \\ &= 63812,57 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal tumpu pada lubang - lubang baut :

$$\text{Tebal plat penyambung } (t_p) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tepi minimum baut diameter } 5/8" \text{ in} = 30 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} l_c &= \text{diambil jarak bersih baut ke tepi plat} = 35,75 - 1/2 d \\ &= 23,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \\ &= 1,2 \times 23,75 \times 10 \times 410 \\ &= 116850 \text{ N} \\ &= 2,4 \times d \times t_p \times f_u \\ &= 2,4 \times 24 \times 10 \times 410 \\ &= 236160 \text{ N} \end{aligned}$$

$$1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \leq 2,4 \times d \times t_p \times f_u$$

$$116850 \text{ N} < 236160 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Diambil yang terkecil :

$$\text{Geser} = 63812,57 \text{ N}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan :

$$n = \frac{V_n}{\phi R_n} = \frac{122850}{0,75 \times 63812,57} = 2,566892 \sim 3 \text{ baut}$$

Diambil = 3 buah baut dalam baris

Kontrol kekuatan geser :

$$V_n \leq \phi R_n \times n$$

$$122850 \text{ N} \leq 63812,57 \times 6$$

$$122850 \text{ N} < 382875,4 \text{ N} \quad \mathbf{OK}$$

Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$\phi R_n = \phi \times f_{nt} \times A_b$$

$$f_{rv} = \frac{V_n}{n \times A_b} = \frac{122850}{6 \times 452,571} = 45,241 \text{ MPa}$$

$$f_{nt} = 1,3 \times f_{nt} - \frac{f_{nt}}{\phi \times f_{nv}} \times f_{rv} \leq f_{nt}$$

$$= 1,3 \times 310 - \frac{310}{0,75 \times 188} \times 45,24 \leq 310 \text{ MPa}$$

$$= 303,533 \text{ MPa} < 310 \text{ MPa} \quad \mathbf{OK}$$

Jarak tepi minimum baut diameter 7/8" in = 30 mm

Jarak tepi maksimum baut = 12 tp atau 150 mm
diambil = 40 mm

Jarak minimum antar baut = 3 d = 72 mm

Jarak maksimum antar baut = 14 tp atau 180 mm
diambil = 85 mm

$$\phi . M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i$$

$$a = \frac{0,75 \cdot f_{nt} \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b}{f_y \cdot b}$$

$$= \frac{0,75 \cdot 310 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 452,571}{240 \cdot 150}$$

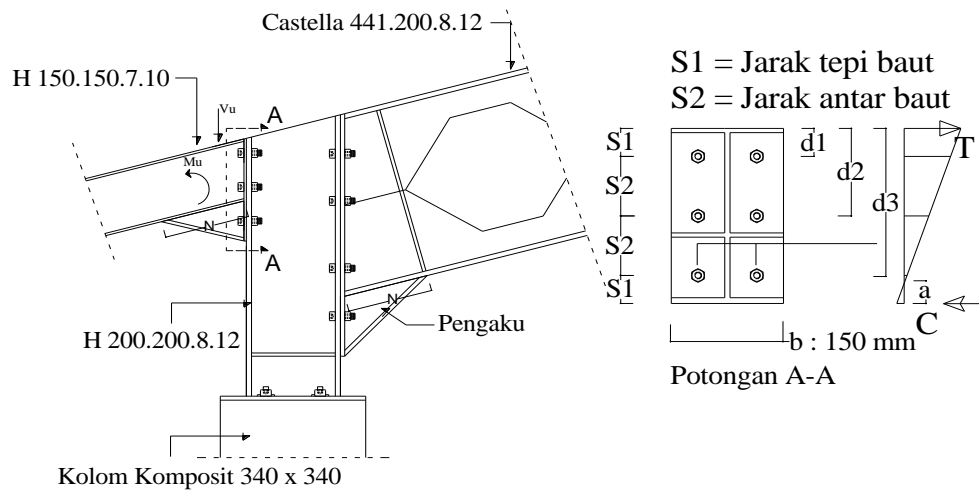
$$= 17,54 \text{ mm}$$

Jarak baut (d_i)

$$d_1 = 40 \text{ mm}$$

$$d_2 = 125 \text{ mm}$$

$$d_2 = 210 \text{ mm}$$



Gambar 4.35 Diagram tegangan baut

$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \times f_{nt} \times n_1 \times A_b \times \sum d$$

$$= 0,75 \times 310 \times 2 \times 452,571 \times 375$$

$$= 78917142,86 \text{ Nmm}$$

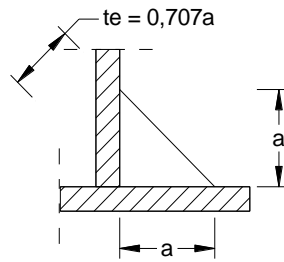
$$\phi M_n = \frac{0,9 \times 240 \times 307,6 \times 150}{2} + 78917142,9$$

$$= 83899475,21 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n \text{ baut} \geq M_n \text{ Balok}$$

$$83899475,21 \text{ Nmm} > 53910000 \text{ Nmm} \quad \mathbf{OK}$$

b. Sambungan las



Gambar 4.36 Tebal efektif las sudut (Throat efektif)

Persyaratan ukuran las : **SNI 1729:2015**

Tebal plat minimum yang disambung = 8 mm

Ukuran minimum las sudut (a) = 5 mm

Ukuran maksimum las sudut (a) = tebal plat - 2 mm
= 8 - 2 = 6 mm

Diambil ukuran las sudut (a) = 5 mm

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 5 \\ &= 3,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang minimum las :

$$\begin{aligned} l &= a \times 4 \\ &= 5 \times 4 \\ &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat rencana las sudut ukuran 5 mm per mm panjang :

Dipakai tipe Elektroda 70 :

$$f_uw = 485 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
\phi \times R_{nw} &= \phi \times t_e \times \left[0,6 \times f_{uw} \right] \\
&= 0,75 \times 3,535 \times \left[0,6 \times 485 \right] \\
&= 771,5 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

dan kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser plat :

$$\begin{aligned}
\text{nilai maks. } \phi \times R_{nw} &= \phi \times t \times \left[0,6 \times f_u \right] \\
&= 0,75 \times 8,000 \times \left[0,6 \times 410 \right] \\
&= 1476 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

Geser nominal profil, V_n :

$$V_n = 122850 \text{ N}$$

Panjang total las yang dibutuhkan (L_w) :

$$L_w = \frac{V_n}{\phi \times R_{nw}} = \frac{122850}{771,5138} = 159,232 \text{ mm}$$

c. Perencanaan plat ujung

Lebar efektif plat ujung (b_p)

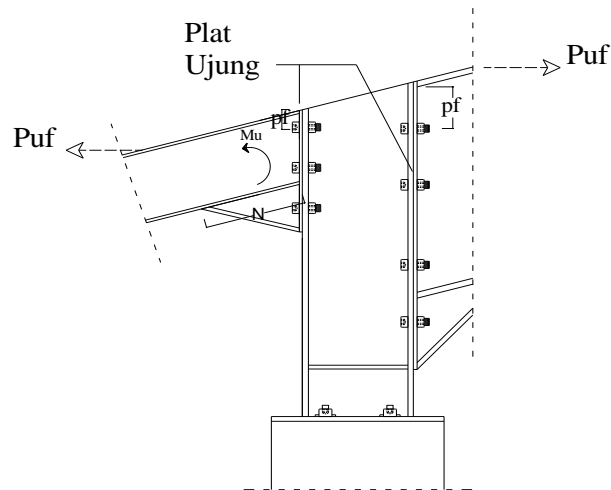
$$\begin{aligned}
b_p &= b_f + 1 \text{ in.} & 1 \text{ in.} &= 25,4 \text{ mm} \\
&= 150 + 25,4 \\
&= 175,4 \text{ mm} \sim 180 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Tebal plat ujung (t_p)

$$\begin{aligned}
M_{eu} &= \alpha_m \times P_{uf} \times \frac{P_e}{4} \\
\alpha_m &= C_a \times C_b \times \frac{A_f}{A_w} \times \frac{1}{3} \times \frac{P_e}{d_b} \times \frac{1}{4}
\end{aligned}$$

$$C_a = 1,36 \quad \text{AISC tabel 10-1}$$

$$C_b = \frac{b_f}{b_p} = \frac{150}{180} = 0,913$$



Gambar 4.37 Gaya yang berkerja pada plat ujung

d_b = Diameter baut (mm)

$$\begin{aligned} P_e &= P_f - \frac{d_b}{4} - \text{lebar kaki las} \\ &= 29,2 - \frac{30}{4} - 5 \\ &= 16,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

A_f = Luas flange daerah tarik balok (mm^2)

A_w = Luas bersih web balok (mm^2)

$$\begin{aligned} \alpha_m &= C_a \times C_b \times \frac{A_f}{A_w} \times \frac{P_e}{d_b} \\ &= 1,36 \times 0,913 \times \frac{1500}{910} \times \frac{16,7}{30} \\ &= 0,095 \end{aligned}$$

$$P_{uf} = \frac{M_n}{d - t_f}$$

$$= \frac{53910000}{150 - 10}$$

$$= 385071,4286 \text{ N}$$

$$\text{Meu} = \alpha_m \times \text{Puf} \times \frac{\text{Pe}}{4}$$

$$= 0,095 \times 385071,4286 \times \frac{16,7}{4}$$

$$= 152619,455 \text{ Nmm}$$

$$t_p \text{ min} = \sqrt{\frac{4 \times \text{Meu}}{\phi \times f_y \times b_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 152619,455}{0,9 \times 250 \times 180}}$$

$$= 3,882 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$$

Kontrol *web crippling* (lipatan pada plat badan)

Kondisi dimana tanpa pengaku segitiga dihitung berdasarkan momen nominal :

$$\phi M_n = \phi \times Z_x \times f_y$$

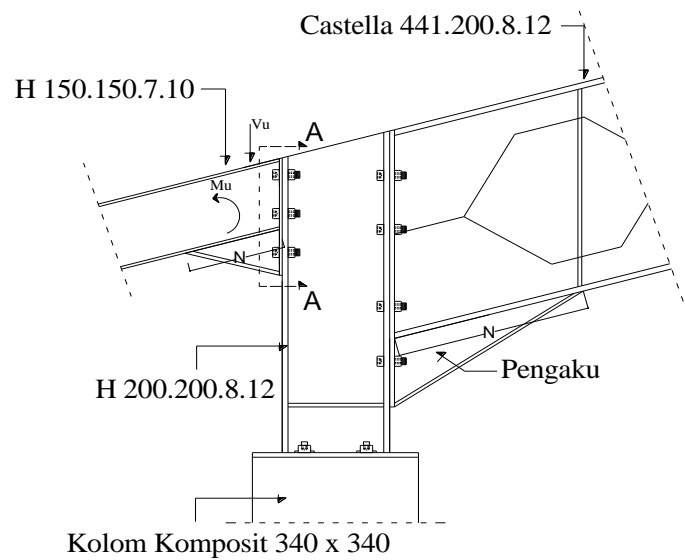
$$= 0,9 \times 37000 \times 250$$

$$= 8325000 \text{ Nmm}$$

$$P_u = \frac{8 \times \phi M_n}{2 \times L}$$

$$= \frac{8 \times 8325000}{2 \times 500}$$

$$= 66600 \text{ N}$$



Gambar 4.38 Perencanaan pengaku

Dicoba tanpa pengaku, N (panjang pengaku)

(*Structural Steel Design*, Jack C. McCormac)

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times 0,4 \times t_w^2 \times \left[1 + \left(3 \times \frac{N}{d} \right) \times \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \\ &\quad \times \sqrt{\frac{E \times f_y \times t_f}{t_w}} \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 7^2 \times \left[1 + \left(3 \times \frac{0}{150} \right) \times \left(\frac{7}{10} \right)^{1,5} \right] \\ &\quad \times \sqrt{\frac{200000 \times 250 \times 10}{7}} \\ &= 14,700 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$14,700 \text{ N} < 66600 \text{ N } \textbf{TIDAK AMAN}$$

Maka harus dipengaku pada sambungan

Dicoba pengaku, N : 300 mm

$$\frac{N}{d} = \frac{300}{150} = 2 > 0,2$$

maka, dipakai rumus :

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \times 0,4 \times t_w^2 \times \left[1 + \left(4 \times \frac{N}{d} - 0,2 \right) \times \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \\ &\quad \times \sqrt{\frac{E \times f_y \times t_f}{t_w}} \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 7^2 \times \left[1 + \left(4 \times \frac{300}{150} - 0,2 \right) \right. \\ &\quad \left. \times \left(\frac{7}{10} \right)^{1,5} \right] \\ &\quad \times \sqrt{\frac{200000 \times 250 \times 10}{7}} \\ &= 567552,745 \text{ N} \end{aligned}$$

$$82334,70 \text{ N} > 66600 \text{ N } \mathbf{OK}$$

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729:2015*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain SNI 1727:2013*. Jakarta.

Blodgett, Omer W. 1972. *Design of Welded Structure*. Ohio. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.

Fisher, James M. 2006. *Base Plate and Anchor Rod Design Second Edition*. Wisconsin. American Institute of Steel Construction (AISC).

Gunawan, Rudy. 1987. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta. Kansius.

Lawrence G. Griffis, Walter P. Moore and Associates, Inc. 2000. *Load and Resistance Factor Design of W-Shapes Encased in Concrete*. Texas. American Institute of Steel Construction (AISC).

Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) Edisi ke-2*. Jakarta. Erlangga.