

# **SKRIPSI**

## **STUDI PERENCANAAN PORTAL ATAP PELANA MENGUNAKAN BAJA *CASTELLA* DAN KOLOM KOMPOSIT PADA PEMBANGUNAN GEDUNG CONVENTION HALL SINGHASARI HOTEL BATU, JAWA TIMUR**



**Disusun Oleh :**

**SEPTYAN DWI ANANTA  
07.21.068**

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

**2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN  
SKRIPSI**

**STUDI PERENCANAAN PORTAL ATAP PELANA  
MENGUNAKAN BAJA CASTELLA DAN KOLOM KOMPOSIT  
PADA PEMBANGUNAN GEDUNG CONVENTION HALL  
SINGHASARI HOTEL BATU, JAWA TIMUR**

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

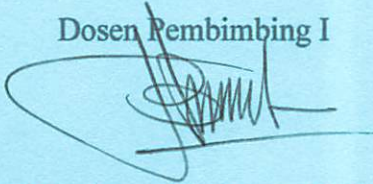
**Disusun Oleh :**

**SEPTYAN DWI ANANTA**

**07.21.068**

Menyetujui :

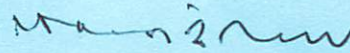
Dosen Pembimbing I



**(Ir. Bambang Wedyantadji, MT.)**

**NIP.Y.1018500093**

Dosen Pembimbing II



**(Ir. H. Sudirman Indra, MSc.)**

**NIP.Y.10183033354**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1  
Institut Teknologi Nasional Malang



**(Ir. H. Hirijanto, MT.)**

**NIP.Y.1018800182**

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

**2012**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI PERENCANAAN PORTAL ATAP PELANA  
MENGUNAKAN BAJA CASTELLA DAN KOLOM KOMPOSIT  
PADA PEMBANGUNAN GEDUNG CONVENTION HALL  
SINGHASARI HOTEL BATU, JAWA TIMUR**

**SKRIPSI**

*Dipertahankan Di hadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi  
Jenjang Strata Satu (S-1)  
Pada Hari : Kamis  
Tanggal : 19 Juli 2012  
Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

**Disusun Oleh :**

**SEPTYAN DWI ANANTA**

**07.21.068**

**Disahkan Oleh :**

**Ketua**

**(Ir. H. Hirijanto, MT.)**

**Sekretaris**

**(Lila Ayu Ratna Winanda, ST.MT.)**

**Anggota Penguji :**

**Dosen Penguji I**

**(Ir. Eding Iskak Imananto, MT.)**

**Dosen Penguji II**

**(Ir. A. Agus Santosa, MT.)**

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

**2012**



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1**  
**JL., Bendungan Sigura-Gura No.2 Tlpn.551951 – 551431**  
**MALANG**

---

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **Septyan Dwi Ananta**  
NIM : **07.21.068**  
Program Studi : **Teknik Sipil S-1**  
Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :

**STUDI PERENCANAAN PORTAL ATAP PELANA**  
**MENGGUNAKAN BAJA CASTELLA DAN KOLOM KOMPOSIT**  
**PADA PEMBANGUNAN GEDUNG CONVENTION HALL**  
**SINGHASARI HOTEL BATU, JAWA TIMUR**

Adalah benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur seluruhnya karya orang lain, kecuali disebut dari sumber aslinya

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tugas akhir ini hasil jiplakan atau mengambil karya tulis dan pemikiran orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Malang, 1 Agustus 2012  
Yang membuat pernyataan



( **Septyan Dwi Ananta** )

# **“STUDI PERENCANAAN PORTAL ATAP PELANA MENGGUNAKAN BAJA *CASTELLA* DAN KOLOM KOMPOSIT PADA PEMBANGUNAN GEDUNG CONVENTION HALL SINGHASARI HOTEL BATU, JAWA TIMUR”**

Oleh : Septyan Dwi Ananta, (07.21.068)

Pembimbing I : Ir. Bambang Wedyantadji, MT., Pembimbing II : Ir. H. Sudirman Indra, MSc.

---

## **ABSTRAKSI**

Pada dasarnya maksud dari pembuatan baja *castella* ini adalah untuk mendapatkan profil lebih tinggi dari profil aslinya, sehingga memiliki kekuatan yang lebih besar juga. Dengan adanya lubang di dalam profil maka berat profilpun semakin berkurang jika dibandingkan dengan profil yang memiliki tinggi serupa.

Struktur kolom komposit juga merupakan salah satu dari berbagai macam baja komposit. Struktur kolom ini merupakan suatu profil baja yang dibungkus dengan beton. Keuntungan yang nyata dalam kolom komposit ini adalah dapat memikul beban yang besar. Mengingat estetika dari fungsi bangunan gedung sebagai gedung serbaguna, terlebih jika dipakai untuk acara yang resmi, maka metode kolom komposit ini dapat dipraktekkan untuk gedung serbaguna agar profil kolom baja tidak terlihat.

Hasil analisa didapatkan ukuran profil baja *castella* 375.250.9.14 yang didapatkan dari profil baja 250.250.9.14 dengan sudut pemotongan 63°. Sudut ini dipilih karena dapat menjadikan suatu profil menjadi lebih tinggi 1,5 kalinya dari profil asli tetapi tetap aman pada semua kontrol penampang.

Untuk kolom komposit didapat profil baja 250.250.9.14 dengan luas penampang kolom komposit 35cm x 35cm. Pada sambungan baja dipakai momen kapasitas untuk menghitung tebal plat, jumlah baut, dan tebal las. Hal ini digunakan agar pada struktur baja tidak terjadi kegagalan pada sambungannya.

**Kata Kunci : *Castellated Beam*, Kolom Komposit, Sambungan Baja.**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah S.W.T, berkat rahmat dan ridho-Nya, penulisan Laporan Skripsi terselesaikan dengan baik. Laporan Skripsi sebagai syarat untuk mendapatkan gelar strata satu ( S-1 ) di Institut Nasional Malang.

Berkat adanya dorongan kemudahan yang diberikan kepada kami, alhamdulillah kami dapat menyelesaikan laporan ini, untuk itu rasa terima kasih kami sampaikan kepada :

- Ir. Agus Santosa sebagai dekan FTSP ITN Malang
- Ir. Hirijanto, MT sebagai ketua jurusan dan Ayu Lila W, ST, MT sebagai sekretaris jurusan Teknik Sipil S-1.
- Ir. Bambang Wedyantadji., MT sebagai dosen pembimbing I
- Ir. H. Sudirman Indra, MSc sebagai dosen pembimbing II
- Orang tua kami yang memberi dorongan moril serta dukungan lebih untuk menyelesaikan tugas ini
- Rekan-rekan lainnya yang memberi dorongan dan kerja sama.

Penyusun menyadari bahwa dalam penulisan Laporan Skripsi ini dimungkinkan terdapat kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu kami mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dan mendidik sehingga dapat kami jadikan sebagai bahan perbaikan laporan ini ataupun laporan selanjutnya.

Malang, 1 Agustus 2012

Penyusun



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1**  
Jl., Bendungan Sigura-Gura No.2 Tlpn.551951 – 551431  
MALANG

**LEMBAR ASISTENSI**

Nama / NIM : Septyan Dwi Ananta / 07.21.068  
Tugas : Skripsi  
Pembimbing : Ir. Bambang Wedyantadji, MT

| No | Tanggal    | Keterangan  | Tanda Tangan |
|----|------------|---|--------------|
| 1  | 14-12-2011 | Tulislah Sumber yg<br>- go. Rumusan yg jelas<br>- teori Costela & Sam-<br>- bungan yg lengkap<br>dll. |              |



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1  
Jl. Bendungan Sigura-Gura No.2 Tlpn.551951 – 551431  
MALANG

LEMBAR ASISTENSI

Nama / NIM : Septyan Dwi Ananta / 07.21.068  
Tugas : Skripsi  
Pembimbing : Ir. Bambang Wedyantadji, MT

| No | Tanggal   | Keterangan   | Tanda Tangan |
|----|-----------|--|--------------|
| 1  |           |  |              |
| 2  | 2-1-2012  | Teori Sambungan yg jelas dan lengkap sesuai yg akan dipakai serta Perhit gardu belulan |              |
| 3  | 20-1-2012 | Perhit belulan pada yg cermat  |              |
| 4  | 9-2-2012  | penilaian profil 250 yg baik.<br>penampang kapasitas kolom belulan                     |              |
| 5  | 19-4-2012 | Setiap bag analisa Samb.<br>Buat qbr. di sign nya                                      |              |
| 6  | 2-5-2012  | cek yg mapu Semarak hasil  |              |





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1  
Jl., Bendungan Sigura-Gura No.2 Tlpn.551951 - 551431  
MALANG

LEMBAR ASISTENSI

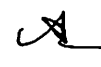
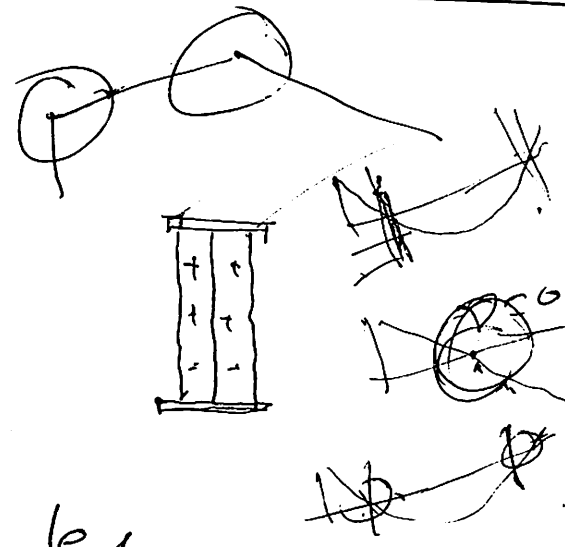

Nama / NIM : Septyan Dwi Ananta / 07.21.068  
Tugas : Skripsi  
Pembimbing : Ir. Sudirman Indra, MSc

| No | Tanggal             | Keterangan  | Tanda Tangan |
|----|---------------------|---|--------------|
|    | $\frac{2}{07}$ 012  | - lelyyri qurba 2 d<br>arti: hotan: ps<br>shings Formulari<br>- lelyyri kor.<br>kolor in cor. 6<br>- Inyubh |              |
|    | $\frac{10}{01}$ 012 | Perbair Pelit<br>gong   |              |
|    | $\frac{24}{01}$ 012 | Pubid. Adria.<br>A.<br>- Ret. hngfram<br>bku ke byi ?<br><br>Inyubh   |              |



**LEMBAR ASISTENSI**

Nama / NIM : Septyan Dwi Ananta / 07.21.068  
 Tugas : Skripsi  
 Pembimbing : Ir. Sudirman Indra, MSc

| No | Tanggal              | Keterangan  | Tanda Tangan  |
|----|----------------------|---|---|
|    | $\frac{14}{02}$ 012. | <p>           7. Pibben, bel, stik<br/>           jaru sntu hkh<br/>           - teori y nencoga : 1,5 h.<br/>           di Monoklu du bab<br/>           teori.<br/>           - Cakl <math>63^{\circ}</math> : <math>60^{\circ}</math>, <math>45^{\circ}</math>.<br/> <del><math>40^{\circ}</math></del><br/>           - Cakl <math>\frac{1}{4}</math> jaru lebel kedu<br/>           sntu k.         </p> |   |
|    | $\frac{18}{04}$ 012. |  <p>           leylapi yg di sarah.<br/>           cakl <math>\phi</math> <math>63^{\circ}</math> : <math>60^{\circ}</math><br/> <math>45^{\circ}</math> </p>  |  |

$25^{\circ}$   
 —



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1**  
Jl. Bendungan Sigura-Gura No.2 Tlpn.551951 – 551431  
**MALANG**

**LEMBAR ASISTENSI**

Nama / NIM : Septyan Dwi Ananta / 07.21.068  
Tugas : Skripsi  
Pembimbing : Ir. Sudirman Indra, MSc

| No | Tanggal       | Keterangan  | Tanda Tangan |
|----|---------------|---|--------------|
|    | 30<br>04 2012 | - Pelebaran Saluran,<br>+ penerangan & lay-out<br>- Rencana & spesifikasi |              |

# DAFTAR ISI

**LEMBAR JUDUL**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**LEMBAR PERNYATAAN**

**ABSTRAKSI**

**KATA PENGANTAR**

**LEMBAR ASISTENSI**

**DAFTAR ISI**

**DAFTAR GAMBAR**

**DAFTAR TABEL**

|               |                                 |          |
|---------------|---------------------------------|----------|
| <b>BAB I</b>  | <b>Pendahuluan.....</b>         | <b>1</b> |
| 1.1           | Latar belakang .....            | 1        |
| 1.2           | Identifikasi Proyek .....       | 3        |
| 1.3           | Maksud .....                    | 3        |
| 1.4           | Tujuan .....                    | 3        |
| 1.5           | Lingkup Pembahasan .....        | 3        |
| <b>BAB II</b> | <b>Landasan Teori.....</b>      | <b>5</b> |
| 2.1           | Material baja .....             | 5        |
| 2.1.1         | Sifat-sifat utama baja .....    | 5        |
| 2.1.2         | Sifat mekanis baja .....        | 6        |
| 2.2           | Beban .....                     | 7        |
| 2.3           | Desain LRFD Struktur Baja ..... | 9        |

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| 2.3.1          | Faktor reduksi .....                                    | 10        |
| 2.3.2          | Faktor beban dan Kombinasi beban .....                  | 11        |
| 2.4            | Batang Lentur .....                                     | 12        |
| 2.5            | Profil Baja <i>Castellated Beam</i> .....               | 15        |
| 2.5.1          | Geometri Penampang <i>Castellated Beam</i> .....        | 16        |
| 2.5.2          | Proses fabrikasi <i>Castellated Beam</i> .....          | 18        |
| 2.5.3          | Kelebihan dan Kekurangan <i>Castellated Beam</i> .....  | 19        |
| 2.5.4          | Kontrol Perhitungan Balok <i>Castellated Beam</i> ..... | 21        |
| 2.6            | Metode Kolom Komposit .....                             | 26        |
| 2.6.1          | Konsep Dasar .....                                      | 26        |
| 2.6.2          | Kekuatan Kolom Komposit .....                           | 28        |
| 2.6.3          | Penyaluran Beban.....                                   | 31        |
| 2.6.4          | Kombinasi Tekan dan Lentur .....                        | 31        |
| 2.6.5          | Gaya Geser Horizontal .....                             | 32        |
| 2.7            | Perencanaan Sambungan .....                             | 33        |
| 2.7.1          | Sambungan Balok-Kolom .....                             | 34        |
| 2.7.2          | Sambungan Balok-Balok ( <i>Spliced Beam</i> ) .....     | 41        |
| 2.7.3          | Sambungan Balok Ujung-Balok Ujung.....                  | 48        |
| 2.7.4          | Sambungan Base Plate .....                              | 48        |
| <b>BAB III</b> | <b>Analisa Pembahasan .....</b>                         | <b>53</b> |
| 3.1            | Data Perencanaan .....                                  | 53        |
| 3.2            | Perencanaan Gording .....                               | 57        |
| 3.3            | Analisa Pembebanan Portal 3 Dimensi .....               | 68        |
| 3.3.1          | Pembebanan Portal .....                                 | 68        |
| 3.3.2          | Kombinasi Beban .....                                   | 68        |
| 3.4            | Perencanaan Balok <i>Castella</i> .....                 | 73        |
| 3.5            | Perencanaan Kolom Komposit .....                        | 87        |
| 3.6            | Perencanaan Sambungan Balok-Kolom .....                 | 96        |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 3.7  | Perencanaan Sambungan Balok Ujung-Balok Ujung .....             | 109 |
| 3.8  | Perencanaan Sambungan Balok-Balok ( <i>Spliced Beam</i> ) ..... | 122 |
| 3.9  | Perencanaan Sambungan 5 Balok .....                             | 132 |
| 3.10 | Perencanaan Sambungan Base Plate .....                          | 140 |

**BAB IV KESIMPULAN..... 153**

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Gambar 2.1</b>  | Distribusi Tegangan.....  | 13 |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Diagram tegangan dan regangan .....   | 13 |
| <b>Gambar 2.3</b>  | Hexagonal <i>Castellated Beam</i> .....                                     | 15 |
| <b>Gambar 2.4</b>  | Octogonal <i>Castellated Beam</i> .....                                     | 16 |
| <b>Gambar 2.5</b>  | Circular <i>Castellated Beam</i> .....                                      | 16 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | Tinggi Pemotongan Baja <i>Castella</i> .....                                | 17 |
| <b>Gambar 2.7</b>  | Proses pabrikan <i>Castellated Beam</i> .....                               | 19 |
| <b>Gambar 2.8</b>  | Dimensi geometri penampang <i>Castellated Beam</i> .....                    | 21 |
| <b>Gambar 2.9</b>  | Profil Kolom Komposit .....   | 27 |
| <b>Gambar 2.10</b> | Sambungan Kolom-Balok .....   | 34 |
| <b>Gambar 2.11</b> | Interaksi Geser dan Tarik pada Baut .....                                   | 35 |
| <b>Gambar 2.12</b> | Momen Inersia pada Sambungan Las.....                                       | 38 |
| <b>Gambar 2.13</b> | Sambungan Balok - Balok.....  | 41 |
| <b>Gambar 2.14</b> | Sambungan Balok ujung – Balok ujung.....                                    | 48 |
| <b>Gambar 2.15</b> | Sambungan Kolom - Pondasi .....   | 49 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | Tampak Atas Struktur Bangunan .....   | 54 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | Tampak Samping Struktur Bangunan .....                                      | 55 |
| <b>Gambar 3.3</b>  | Arah Gaya Pada Gording.....   | 57 |
| <b>Gambar 3.4</b>  | Arah Gaya Pada Beban Kebetulan pada Gording.....                            | 59 |
| <b>Gambar 3.5</b>  | Perhitungan statika gording sejarak 6 m.....                                | 60 |
| <b>Gambar 3.6</b>  | Lendutan Maksimum yang terjadi pada gording .....                           | 61 |
| <b>Gambar 3.7</b>  | Perhitungan gaya lendutan gording dengan metode Momen Area ( Arah X ) ..... | 61 |
| <b>Gambar 3.8</b>  | Perhitungan gaya lendutan gording dengan metode Momen Area ( Arah Y ) ..... | 63 |
| <b>Gambar 3.9</b>  | Perhitungan statika gording sejarak 2 m.....                                | 64 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Gambar 3.10</b> Perhitungan gaya lendutan gording dengan metode Momen Area ( Arah Y ; 2m )..... | 65  |
| <b>Gambar 3.11</b> Pembebanan beban mati merata portal.....  | 68  |
| <b>Gambar 3.12</b> Pembebanan beban hidup portal.....  | 70  |
| <b>Gambar 3.13</b> Pembebanan beban angin portal.....  | 70  |
| <b>Gambar 3.14</b> Modifikasi <i>Castellated Beam</i> .....  | 74  |
| <b>Gambar 3.15</b> Perhitungan gaya lendutan balok dengan metode Momen Area .                      | 83  |
| <b>Gambar 3.16</b> Perencanaan Kolom Komposit .....  | 87  |
| <b>Gambar 3.17</b> Nomogram nilai k.....   | 91  |
| <b>Gambar 3.18</b> Perencanaan Baut Sambungan Balok-Kolom.....                                     | 97  |
| <b>Gambar 3.19</b> Sambungan Balok-Kolom yang digunakan.....                                       | 108 |
| <b>Gambar 3.20</b> Perencanaan Baut Sambungan Balok Ujung-Balok Ujung .....                        | 110 |
| <b>Gambar 3.21</b> Perencanaan Las Sambungan Balok Ujung-Balok Ujung.....                          | 114 |
| <b>Gambar 3.22</b> Sambungan Balok Ujung-Balok Ujung yang digunakan.....                           | 121 |
| <b>Gambar 3.23</b> Kontrol Block Shear akibat beban eksentris pada Spliced Beam                    | 126 |
| <b>Gambar 3.24</b> Daerah penampang geser pada Spliced Beam .....                                  | 128 |
| <b>Gambar 3.25</b> Sambungan Balok-Balok ( Spliced Beam ) yang digunakan.....                      | 130 |
| <b>Gambar 3.26</b> Perencanaan Sambungan 5 Balok.....  | 131 |
| <b>Gambar 3.27</b> Kontrol Block Shear akibat beban eksentris pada sambungan 5 balok .....         | 133 |
| <b>Gambar 3.28</b> Daerah penampang geser pada sambungan 5 balok .....                             | 135 |
| <b>Gambar 3.29</b> Perencanaan Las pada sambungan 5 balok.....                                     | 137 |
| <b>Gambar 3.30</b> Sambungan 5 balok yang dipakai .....  | 139 |
| <b>Gambar 3.31</b> Perencanaan Sambungan Base Plate .....  | 140 |
| <b>Gambar 3.32</b> Gaya yang terjadi pada Base Plate.....  | 144 |
| <b>Gambar 3.33</b> Sambungan baut pada Base Plate .....  | 146 |
| <b>Gambar 3.34</b> Sambungan las pada Base Plate.....  | 147 |
| <b>Gambar 3.35</b> Sambungan Base Plate yang dipakai .....   | 152 |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Sifat Mekanis Baja Struktural ..... | 7  |
| <b>Tabel 2.2</b> Nilai <i>Øf</i> untuk baut.....     | 37 |
| <b>Tabel 2.2</b> Ukuran Minimum Las Sudut .....      | 39 |

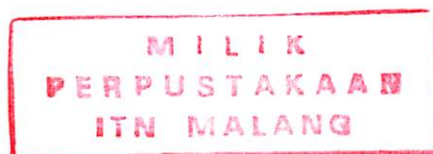
# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan dalam bidang konstruksi di Indonesia berkembang cukup pesat. Hampir disetiap sudut kota terdapat pembangunan suatu proyek, baik proyek pemerintah maupun proyek swasta. Semakin berkembangnya jaman semakin besar pula tuntutan bidang konstruksi untuk dapat memenuhi kebutuhan bangunan oleh manusia. Bukan hanya masalah desain yang perlu diperhatikan, melainkan juga masalah bahan konstruksi dan struktur yang diperlukan. Baja merupakan salah satu bahan konstruksi yang ada pada saat ini. Baja dapat mengurangi kelemahan yang dimiliki oleh beton yaitu menjadi alternatif untuk balok panjang. Kemampuan ini tidak dimiliki beton yang cenderung memerlukan beberapa kolom untuk balok yang panjang.

Praktek desain dewasa ini memanfaatkan pengetahuan tentang mekanika material, analisa struktur dan secara khusus stabilitas struktur berdasarkan berdasarkan aturan desain demi menjamin suatu keamanan. Yang paling banyak digunakan adalah desain yang diterbitkan American Institute of Steel Construction ( AISC ), dalam Load and Resistance Factor Design ( LRFD ) dan Spesification for Structure Steel Building – Allowable Stress Design ( ASD ) and Plastic Design.



Trend penalaran dewasa ini lebih mengarah kepada spesifikasi LRFD, dimana filosofi kekuatan desainnya menggunakan beban – beban layanan terfaktor serta membandingkan kekuatan yang diperoleh terhadap beban. Dalam desain LRFD ini suatu profil dapat dihitung hingga mencapai titik plastis dari penampang tersebut sebelum akhirnya runtuh. Berdasar dari perhitungan tersebut maka didapat titik maksimal profil penampang, hal ini berbeda dengan metode ASD yang menggunakan tegangan ijin maksimal. Oleh karena itu, dengan didapatkan kekuatan yang maksimal, maka didapat profil yang didapat lebih ekonomis.

Penggunaan baja *castella* sudah tidak asing lagi bagi kita semua, telah banyak bangunan yang menggunakan baja *castella*. Pada dasarnya maksud dari pembuatan baja *castella* ini adalah untuk mendapatkan profil lebih tinggi dari profil aslinya, sehingga memiliki kekuatan yang lebih besar juga. Dengan adanya lubang di dalam profil maka berat profilpun semakin berkurang jika dibandingkan dengan profil yang memiliki tinggi serupa.

Metode baja komposit juga sudah dikenal di Indonesia. Selain balok komposit yang menggunakan stud sebagai penghubung geser, kolom komposit juga merupakan salah satu dari berbagai macam baja komposit. Struktur kolom ini merupakan suatu profil baja yang dibungkus dengan beton. Keuntungan yang nyata dalam kolom komposit ini adalah dapat memikul beban yang besar. Mengingat estetika dari fungsi bangunan gedung sebagai gedung serbaguna, terlebih jika dipakai untuk acara yang resmi, maka metode kolom komposit ini dapat dipraktekkan untuk gedung serbaguna agar profil kolom baja tidak terlihat.

## **I.2 Identifikasi Proyek**

Proyek pembangunan Convention Hall Singhasari Hotel yang terletak di kota Batu, Jawa Timur. Jenis bangunan ini merupakan portal baja dengan memakai balok *castella* dengan luas bangunan mencapai 36 m x 96 m.

## **I.3 Maksud**

Maksud dari penulisan skripsi ini adalah memahami bagaimana cara perencanaan struktur baja yang meliputi gording, balok *castella*, kolom komposit, dan sambungan yang telah diberikan di mata kuliah Struktur Baja, dalam proyek pembangunan gedung *Convention Hall* Singhasari Hotel kota Batu, Jawa Timur.

## **I.3 Tujuan**

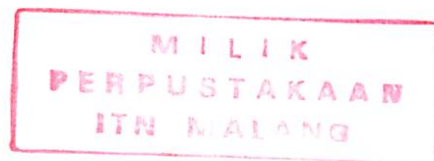
Sedangkan tujuan yang ingin dicapai adalah untuk menerapkan secara langsung perencanaan struktur baja yang meliputi gording, balok *castella*, kolom komposit, dan sambungan yang telah diberikan di mata kuliah Struktur Baja, dalam proyek pembangunan gedung *Convention Hall* Singhasari Hotel kota Batu, Jawa Timur.

## **I.4 Lingkup Pembahasan**

Studi perencanaan ini merupakan studi alternatif, karena bangunan ini sebelumnya menggunakan struktur rangka. Pada perencanaan ini menggunakan struktur portal dengan metode Load and Resistance Factor Design (LRFD).

Pembahasan penulisan skripsi ini hanya melingkupi pada perencanaan portal yang terdiri atas :

1. Perhitungan gording.
2. Analisa struktur portal.
  - Perhitungan Analisa Struktur
  - Perhitungan Profil Balok
  - Perhitungan Profil Kolom
3. Perhitungan sambungan.
  - Sambungan Balok-Balok
  - Sambungan Balok-Kolom
  - Sambungan Kolom-Pondasi



## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Material Baja**

##### **2.1.1 Sifat Utama Baja**

Baja sebagai bahan dasar struktur mempunyai sifat-sifat utama yang dapat memberikan kekuatan untuk menahan beban yang timbul pada suatu struktur.

Adapun sifat utama dari baja, yaitu:

##### **1. Elastisitas ( Elasticity )**

Adalah kesanggupan untuk berubah bentuk dalam batas-batas pembebanan tertentu dan apabila beban diiadakan, akan kembali ke bentuk semula.

##### **2. Kekenyalan ( Tenacity )**

Adalah kemampuan baja untuk menyerap energy mekanis atau kesanggupan untuk menerima perubahan bentuk yang besar tanpa mengalami cacat atau kerusakan yang terlihat dari luar dan dalam jangka waktu pendek sebelum patah, masih bias merubah bentuknya.

##### **3. Keteguhan ( Solidity )**

Adalah batas dari tegangan-tegangan dalam, dimana perpatahan mulai berlangsung. Hal ini berarti daya tahan baja terhadap tarikan, tekanan dan lentur.

##### **4. Kekerasan ( Hardness )**

Adalah kekuatan melawan terhadap masuknya benda lain ke dalam baja.

##### **5. Dapat ditempa ( Malleability )**

Adalah pada keadaan merah pijar, baja menjadi lembek dan plastis tanpa mempengaruhi sifat-sifat keteguhannya sehingga dapat diubah bentuknya dengan baik.

#### 6. Dapat di las ( Weldability )

Adalah sifat baja dalam keadaan panas dapat digabungkan satu sama lain dengan memakai atau tidak memakai bahan tambahan tanpa mempengaruhi sifat-sifat keteguhannya.

### 2.1.2 Sifat Mekanis Baja

Sifat-sifat mekanis baja struktural :

- Modulus Elastisitas,  $E$  = 200.000 MPa
- Modulus Geser,  $G$  = 80.000 MPa
- Angka poisson = 0,30
- Koefisien Muai panjang,  $\alpha$  =  $12 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

*Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, Erlangga. 2008*

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

**Tabel 2.1** Sifat Mekanis Baja Struktural

| Jenis Baja | Tegangan Putus<br>Minimum | Tegangan leleh<br>minimum | Regangan<br>Minimum |
|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
|            | $f_u$ ( MPa )             | $f_y$ ( MPa )             | %                   |
| BJ34       | 340                       | 210                       | 22                  |
| BJ37       | 370                       | 240                       | 20                  |
| BJ41       | 410                       | 250                       | 18                  |
| BJ50       | 500                       | 290                       | 16                  |
| BJ55       | 550                       | 410                       | 13                  |

Sumber : Agus Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. 2008

## 2.2 Beban

Beban adalah gaya luar 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 hanya merupakan suatu estimasi saja. 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 yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku, sedangkan kombinasi beban-beban yang bekerja telah diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 6.2.2. Beberapa jenis beban yang sering dijumpai antara lain:



### **A. Beban Mati**

Adalah berat dari semua bagian suatu gedung atau bangunan yang bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk unsur-unsur tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari bangunan tersebut.

### **B. Beban Hidup**

Adalah beban gravitasi yang bekerja pada struktur dalam masa layannya, dan timbul akibat penggunaan suatu gedung. Termasuk beban ini adalah berat manusia, perabotan yang dapat berpindah-pindah, kendaraan dan barang-barang lain. Karena besar dan lokasi beban yang senantiasa berubah-ubah, maka penentuan beban hidup secara pasti adalah merupakan hal yang cukup sulit.

### **C. Beban Angin**

Adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan-tekanan dari gerakan angin. Beban angin sangat tergantung dari lokasi dan ketinggian dari struktur. Besarnya tekanan tiup harus diambil minimum sebesar  $25\text{kg/m}^2$  kecuali untuk bangunan berikut:

- Tekanan tiup tepi laut hingga 5 km dari pantai harus diambil minimum  $40\text{ kg/m}^2$
- Untuk bangunan di daerah lain yang kemungkinan tekanan tiupan anginnya lebih dari  $40\text{ kg/m}^2$ , harus diambil sebesar  $p = V^2/16$  ( $\text{kg/m}^2$ ), dengan V adalah kecepatan angin m/s.

- Untuk cerobong, tekanan tiup angin dalam  $\text{kg/m}^2$  harus ditentukan dengan rumus  $( 42,5 + 0,6h )$ , dengan  $h$  adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter.

#### D. Beban Gempa

Adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertical maupun horizontal.

### 2.3 Desain LRFD Struktur Baja

Secara umum, suatu struktur dikatakan aman apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i \cdot Q_i$$

Dimana:

- $\phi$  = Faktor Reduksi
- $R_n$  = Tahanan Nominal
- $\gamma_i$  = Faktor beban
- $Q_i$  = Beban yg bekerja

Bagian kiri dari persamaan tersebut mempresentasikan tahanan atau kekuatan dari sebuah komponen atau system struktur. Dan bagian kanan persamaan menyatakan beban yang harus dipikul struktur tersebut. Jika tahanan nominal  $R_n$  dikalikan suatu faktor  $\phi$  maka akan diperoleh tahanan rencana. Namun demikian, berbagai macam beban ( beban mati, beban hidup, gempa, dan

lain-lain ) pada bagian kanan persamaan dikalikan suatu faktor beban  $\gamma_i$  untuk mendapatkan jumlah beban terfaktor  $\sum \gamma_i \cdot Q_i$ .

### 2.3.1 Faktor Reduksi

Faktor reduksi dalam perencanaan struktur berdasarkan metode LRFD, ditentukan dalam tabel 6.4-2 SNI 03-1729-2002, sebagai berikut :

- |  |             |
|--|-------------|
| a) Komponen struktur memikul lentur                      | $\phi=0,90$ |
| b) Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial      | $\phi=0,85$ |
| 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  | $\phi=0,85$ |
| 2. Kuat tumpu beton                                      | $\phi=0,60$ |
| 3. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastis        | $\phi=0,85$ |
| 4. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastic        | $\phi=0,90$ |
| 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 Faktor Beban dan Kombinasi Beban

Dalam persamaan  $\phi R_n \geq \sum \gamma_i \cdot Q_i$  tampak bahwa tahanan rencana harus melebihi jumlah dari beban-beban kerja dikalikan dengan suatu faktor beban. Penjumlahan beban-beban kerja ini dinamakan sebagai kombinasi pembebanan. Menurut SNI 03-1729-2002 kombinasi beban yang harus diperhatikan adalah:

- 1,4 D
- 1,2D + 1,6L + 0,5 (  $L_a$  atau H )
- 1,2D + 1,6 (  $L_a$  atau H ) + (  $\gamma_L \cdot L$  atau 0,8W )
- 1,2D + 1,3W +  $\gamma_L \cdot L$  + 0,5 (  $L_a$  atau H )
- 1,2D ± 1,0E +  $\gamma_L \cdot L$
- 0,9D ± ( 1,3W atau 1,0E )

Dengan:

D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap.

L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.

$L_a$  = Beban hidup yang ditimbulkan selama perawatan oleh okerja, peralatan dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.

H = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.

W = Beban angin

E = Beban gempa yang ditentukan dari peraturan gempa  $\gamma_L = 0,5$  bila  $L < 5$  kPa, dan  $\gamma_L = 1$  bila  $L \geq 5$  kPa. Faktor beban untuk L harus sama dengan 1,0

untuk garasi parker, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum dan semua daerah yang memikul beban hidup lebih besar dari 5 kPa.

## 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 yang mengalami tekan sepenuhnya terkekang baik dalam arah sumbu kuat, maupun sumbu lemahnya. ( *Agus Setiawan, Desain Baja dan Perilaku. 2008* )

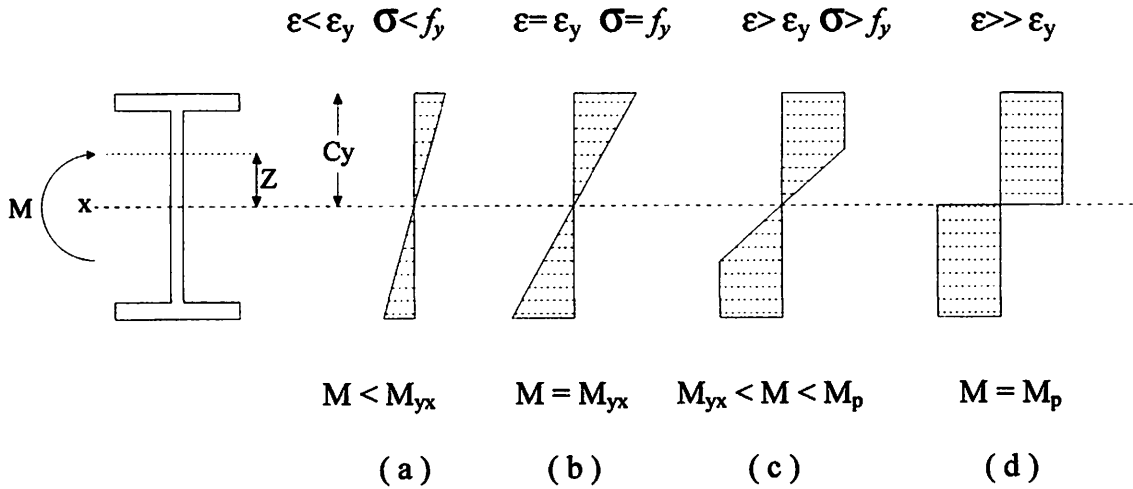
Distribusi tegangan pada profil WF akibat momen lentur diperlihatkan dalam gambar 2.1. Pada daerah beban layan, penampang masih elastis ( gambar 2.1 a ), kondisi elastis berlangsung hingga tegangan pada serat terluar mencapai kuat lelehnya (  $f_y$  ). Setelah mencapai regangan leleh (  $\epsilon_y$  ), 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:

$$M_n = M_{yx} = S_x \cdot f_y$$

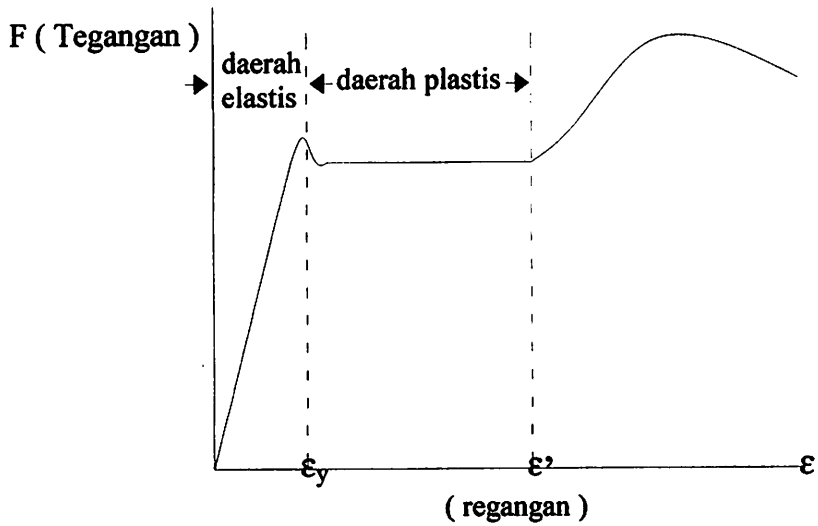
Dan pada saat kondisi pada gambar 2.1 d tercapai, semua serat dalam penampang melampaui regangan lelehnya, dan dinamakan kondisi *plastis*. Tahanan momen nominal dalam kondisi ini dinamakan momen plastis (  $M_p$  ), yang besarnya adalah:

$$M_p = f_y \cdot Z$$

Dengan  $Z$  dikenal sebagai modulus plastis.



**Gambar 2.1** Distribusi Tegangan



**Gambar 2.2** Diagram tegangan dan regangan

( Agus Setiawan, *Desain Baja dan Perilaku*. 2008 )

Struktur batang lentur dikatakan aman apabila

- Kontrol kekuatan lentur

$$\phi \cdot Mn \geq Mu$$

$$\checkmark Mn = Zx \cdot fy$$

$$\checkmark Mu = Mu_1 + Mu_2$$

Dimana:

$\phi$  = Faktor reduksi untuk lentur ( 0,9 )

$Mn$  = Momen nominal ( Nmm )

$Mu$  = Momen ultimate ( Nmm )

$Mu_1$  = Momen akibat beban sendiri baja ( Nmm )

$Mu_2$  = Momen akibat beban luar ( Nmm )

$Zx$  = Modulus plastis (  $mm^3$  )

$fy$  = Tahanan leleh baja (  $N/mm^2$  )

- Kontrol lendutan

$$\frac{1}{240} L > \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} + \frac{1}{48} \frac{P.L^3}{EI}$$

Dimana:

$L$  = Panjang gelagar

$q$  = Beban merata (  $N/mm$  )

$E$  = Modulus elastisitas baja (  $N/mm^2$  )

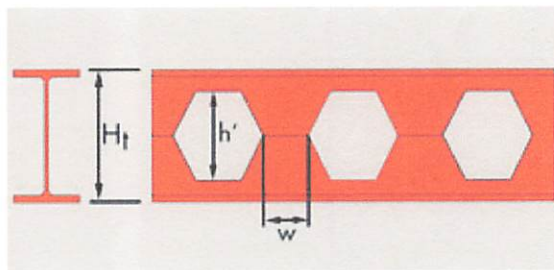
$I$  = Momen inersia profil (  $mm^4$  )

$P$  = Muatan hidup (  $N$  )

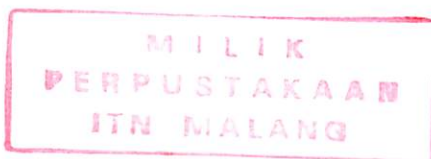
## 2.5. Profil Baja *Castellated Beam*

Sejak perang dunia kedua, berbagai penelitian dilakukan oleh para ahli konstruksi untuk menemukan 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 diperoleh nilai keuntungan yang terbaik. Oleh karena itu, beberapa metode baru ditemukan untuk meningkatkan kekakuan komponen struktur baja tanpa meningkatkan berat baja itu sendiri. Salah satu solusinya adalah penggunaan *Castellated Beam*. (Sevak Demirdjian, 1999)

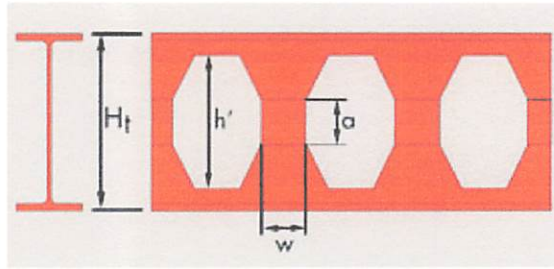
Profil baja *Castellated Beam* ialah profil baja I, H atau U yang kemudian pada bagian badannya dipotong memanjang dengan pola zig-zag. Kemudian bentuk dasar profil baja diubah dengan menggeser atau membalik setengah bagian profil baja yang telah dipotong. Penyambungan setengah bagiann profil baja dengan cara dilas pada bagian 'gigi-gigi'-nya. Sehingga terbentuk profil baja baru dengan lubang berbentuk segi enam (hexagonal), segi delapan (Octagonal) dan lingkaran (circular). (Johann Grünbauer, 2001)



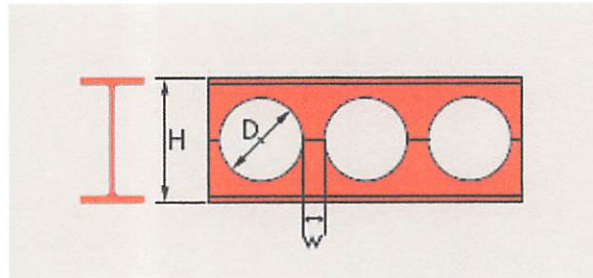
Gambar 2.3 Hexagonal *Castellated Beam*







**Gambar 2.4** Octogonal *Castellated Beam*



**Gambar 2.5** Circular *Castellated Beam*

### 2.5.1. Geometri Penampang *Castellated Beam*

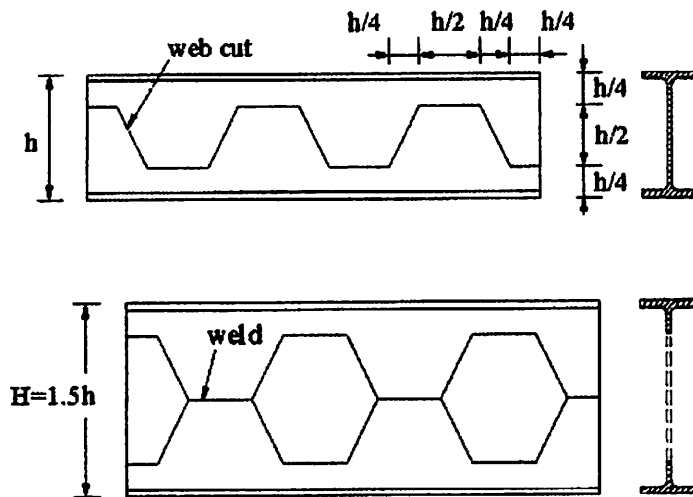
Geometri penampang *Castellated Beam* dibagi menjadi tiga parameter, yaitu : ( *L. Amayreh dan M. P. Saka, 2005* )

- **Sudut Pemotongan ( $\phi$ )**

Sudut pemotongan ( $\phi$ ) 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  $45^0$ - $70^0$

- **Expansion Ratio ( $\alpha$ )**

Expansion Ratio ( $\alpha$ ) 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 Pemotongan Baja *Castella*

- **Welding Length ( $e$ )**

Bila panjang bidang yang 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.

Dengan pendekatan rumus, sebagai berikut: (*Sevak Demirdjian, 1999*)

$$\tan \phi = \frac{h}{b}$$

$$d_x = d + h + h_p \quad (\text{bila tidak ada plat, } h_p = 0)$$

$$d_s = \frac{h_p}{2} + h$$

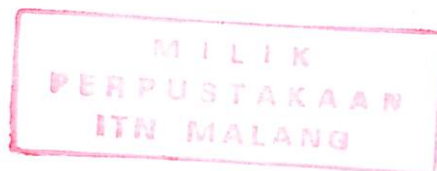
$$d_t = \frac{(d-h)}{2} \approx \left( \frac{h_o}{4} \right)$$

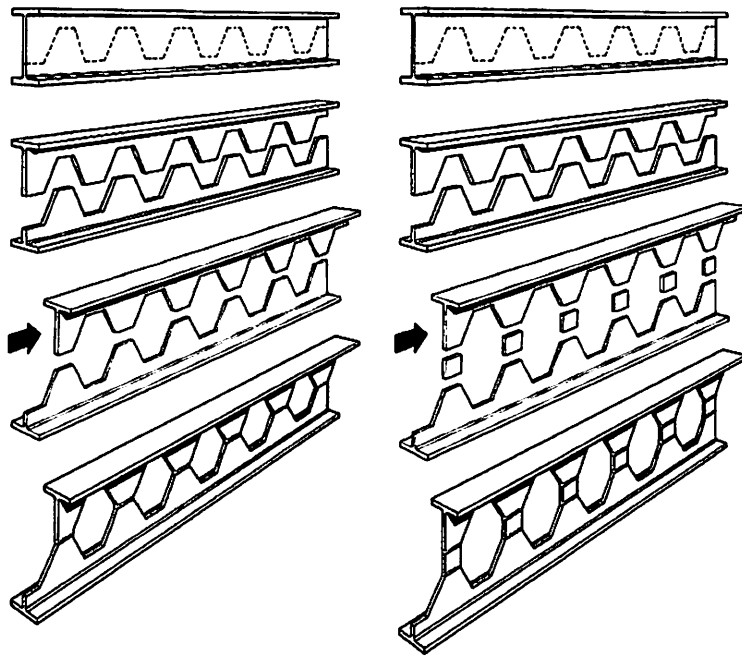
$$s = 2(b + e)$$

### 2.5.2. Proses Pabrikasi *Castellated Beam*

Proses fabrikasi *Castellated Beam* adalah sebagai berikut:

Profil baja *hot-rolled* I, atau H yang kemudian pada bagian badannya dipotong memanjang dengan pola zig-zag. Kemudian bentuk dasar profil baja diubah dengan menggeser atau membalik setengah bagian profil baja yang telah dipotong. Penyambungan setengah bagian profil baja dengan cara dilas pada bagian ‘gigi-gigi’nya. Sehingga terbentuk profil baja baru dengan lubang berbentuk segi enam (hexagonal), segi delapan (octagonal) dan lingkaran (circular). ( *Johann Grünbauer, 2001* )





Gambar 2.7. Proses pabrikasi *Castellated Beam*.

### 2.5.3. Kelebihan dan Kekurangan *Castellated Beam*

#### Kelebihan dari *Castellated Beam* :

- Keuntungan utama dari *Castellated Beam* adalah bertambahnya tinggi balok tidak menambah berat balok itu sendiri. ( *Knowles, 2003* )
- Walaupun tegangan ijin kecil, tetapi momen yang dihasilkan besar. ( *Jihad Dokali Megharief, 1997 dan Johann Grünbauer, 2001* )
- Dengan lebar profil yang lebih tinggi ( $d_g$ ), menghasilkan momen inersia dan modulus *section* yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku bila dibandingkan dengan profil asalnya. ( *Jihad Dokali Megharief, 1997 dan Johann Grünbauer, 2001* )
- Materialnya ringan, kuat serta mudah dipasang. ( *Johann Grünbauer, 2001* )

- Efisien digunakan untuk gedung tingkat tinggi, bangunan komersial dan bangunan perindustrian. (*L. Amayreh dan M. P. Saka, 2005*)
- Penggunaan profil *Castellated Beam* ini juga cocok untuk bentang panjang (untuk penggunaan *Castellated Beam* pada pelat atap mencapai 10-50 m dan bila digunakan sebagai pelat lantai 12-25 m). Sehingga dapat mengurangi jumlah kolom dan pondasi, serta mengurangi biaya pengangkatan (*erection*). (*Dougherty, 1993*)
- Penggunaan profil *Castellated Beam* lebih hemat dibandingkan penggunaan balok WF konvensional. (*Modern Steel Construction Journal, 2005*)

#### **Kekurangan dari *Castellated Beam* :**

- Profil *Castellated Beam* tidak sesuai untuk bentang pendek dengan beban yang cukup berat. (*L. Amayreh dan M. P. Saka, 2005*)
- Pada ujung-ujung bentang (di sudut-sudut profil) terjadi peningkatan pemusatan tegangan (*stress concentrations*). (*L. Amayreh dan M. P. Saka, 2005*)
- Kurang kuat menimpa gaya lateral, sehingga perlu diberi satu atau lebih plat pada ujung-ujung (dekat dengan pertemuan balok-kolom). (*Johann Grünbauer, 2001*)
- Profil *Castellated Beam* kurang tahan api. Sehingga harus ditambah dengan lapisan tahan api 20% lebih tebal agar mencapai ketahanan yang sama dengan profil awalnya. (*Johann Grünbauer, 2001*)

### 2.5.4. Kontrol Perhitungan Balok *Castellated Beam*

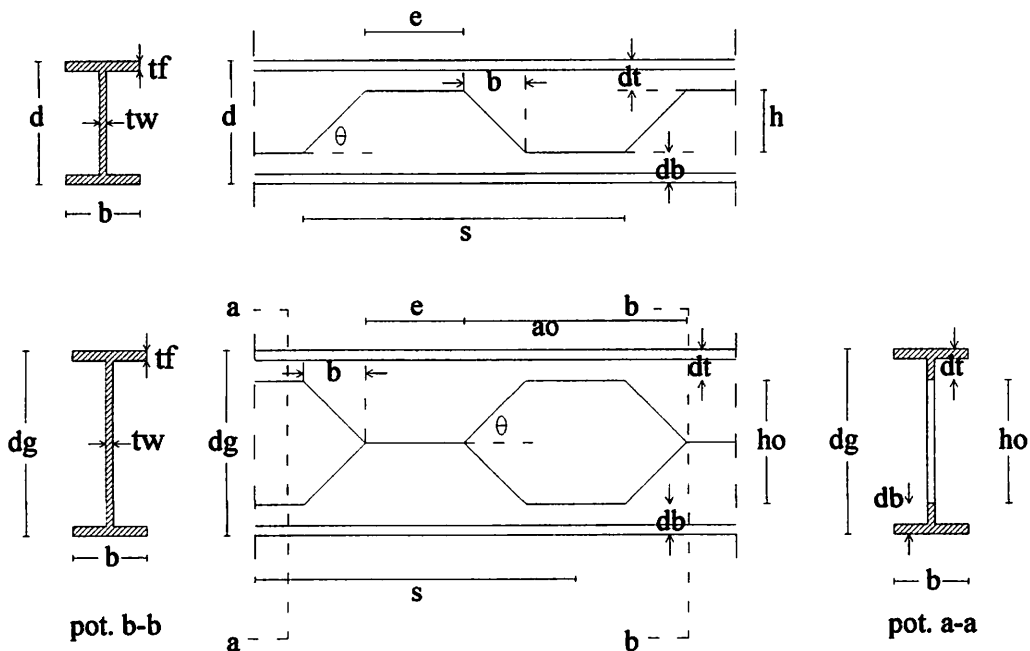
Desain *Castellated Beam* berdasar *Journal of Structural Engineering*, Vol. 118, No. 12 dari ASCE pada Desember 1992 mengenai *Proposed Specification For Structural Steel Beam with Web Opening*.

- Syarat  $h_o$  [ASCE 4.5 page 3320]

$$h_o \leq 0,7 d_g$$

- Syarat  $d_t$  &  $d_b$  [ASCE 4.6 page 3320]

$$d_t \text{ \& \ } d_b \geq 0,15 d_g$$



Gambar 2.8 Dimensi geometri penampang *Castellated Beam*

- Kontrol Kekuatan Momen Lentur

Tekuk Lokal

$$\frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

badan :

$$\frac{dt + db}{tw} \leq \frac{1365}{\sqrt{fy}}$$

dimana:

bf : Lebar Baja

dt : Tinggi penampang T atas

dt : Tinggi penampang T bawah

tw : Tebal badan

tf : Tebal sayap

fy : Kuat leleh baja

### **Kuat Beban Terfaktor**

$$\phi Mn \geq Mu \quad \rightarrow \quad \phi = 0,90$$

Syarat ASCE 3.2 page 3326-3327

$$Mn = Mp - [fy \times \Delta As (ho / 4 + e)]$$

$$\Delta As = ho \times tw = 30 \times 0,9 = 27 \text{ cm}^2$$

dimana :

Mn : Momen kapasitas penampang

fy : Kuat leleh baja

$\Delta As$  : Luas penampang lubang baja *castella*

h<sub>o</sub> : Tinggi lubang pada badan baja *castella*

- **Kontrol Kekuatan Geser**

Syarat ASCE 3.2 page 3326-3327

$$\frac{dg - 2tf}{tw} \leq \frac{1365}{\sqrt{fy}} \text{ \& } \frac{dg - 2tf}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{fy}}$$

Syarat ASCE 4.2 page 3319

$$\frac{ao}{ho} \leq 3$$

dimana :

dg : Tinggi penampang baja *castella*

tw : Tebal badan

tf : tebal sayap

ao : Panjang lubang baja *castella*

ho : Tinggi lubang baja *castella*

### **Kapasitas geser plastis balok tidak berlubang**

Syarat ASCE 4.2 page 3319

$$Vp = \frac{fy \times tw \times dg}{\sqrt{3}}$$

dimana :

fy : Kuat leleh baja

dg : Tinggi penampang baja *castella*

tw : Tebal badan baja



### Parameter lubang

Syarat ASCE 4.2 page 3319

$$P_o = \frac{a_o}{h_o} \times \frac{6 \times h_o}{d_g}$$

dimana :

$a_o$  : Panjang lubang baja *castella*

$h_o$  : Tinggi lubang baja *castella*

$d_g$  : Tinggi profil baja *castella*

### Kapasitas geser plastis penampang badan T

Syarat ASCE 3.3a page 3317

$$V_{pt} = \frac{f_y \times t_w \times d_t}{\sqrt{3}}$$

dimana :

$f_y$  : Kuat leleh baja

$d_t$  : Tinggi penampang T baja *castella*

$t_w$  : Tebal badan baja

### Ratio panjang lubang dengan tinggi T

Syarat ASCE 3.3a page 3317

$$\begin{aligned} \mu &= 0 \\ v &= \frac{a_o}{d_t} \\ \Rightarrow \frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} &\leq 1 \end{aligned}$$

### **Kapasitas nominal geser penampang T**

Syarat ASCE 3.3a page 3317

$$V_{mt} = \frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} \times V_{pt}$$
$$V_{mt} \leq V_{pt}$$

dimana :

$V_{pt}$  : Kapasitas geser plastis penampang badan T

### **Kapasitas nominal geser maksimum penampang berlubang**

Syarat ASCE 4.2 page 3319

$$V_n = \sum V_{mt}$$
$$V_n \leq \frac{2}{3} V_p$$

### **Kuat Beban Terfaktor**

$$\phi V_n \geq V_u \quad \rightarrow \quad \phi = 0,90$$

- **Persamaan Interaksi Lentur & Geser**

Syarat ASCE 3.1 page 3316

$$\left( \frac{M_u}{\phi M_n} \right)^3 + \left( \frac{V_u}{\phi V_n} \right)^3 \leq 1$$

dimana :

$M_u$  : Momen Ultimate yang terjadi

$M_n$  : Kapasitas momen penampang

$V_u$  : Gaya geser ultimate yang terjadi

$V_n$  : Kapasitas geser penampang

- **Kontrol Jarak Antar Lubang**

Syarat ASCE 4.10 page 3320-3321

$$S \geq h_o$$

$$S \geq a_o \left[ \frac{V_u / \phi V_p}{1 - V_u / \phi V_p} \right]$$

dimana :

$V_u$  : Gaya geser ultimate yang terjadi

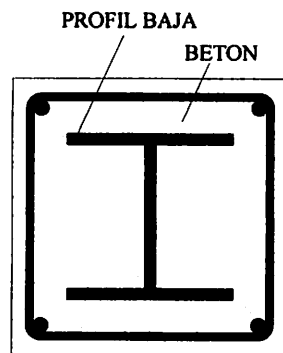
$V_n$  : Kapasitas geser penampang

$a_o$  : Panjang lubang baja *castella*

## 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 hamper sama dengan analisis komponen struktur tekan, namun dengan beberapa nilai yang dimodifikasi.



**Gambar 2.9** Profil Kolom Komposit

Persyaratan bagi suatu kolom komposit dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.3.1. Batasan-batasan berikut harus dipenuhi suatu kolom komposit :

- ✓ Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% 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 :
  - a) Tulangan longitudinal dan lateral harus digunakan, jarak antar pengikat lateral tidak boleh lebih besar dari  $\frac{2}{3}$  dimensi terkecil penampang kolom komposit. Luas penampang melintang dari tulangan longitudinal dan transversal minimum  $0,18\text{mm}^2$  per mm jarak antar tulangan longitudinal atau transversal.
  - b) Selimut beton harus diberikan minimal 40mm dari tepi terluar tulangan longitudinal dan transversal.

- c) Tulangan longitudinal harus dibuat menerus pada lantai tingkat kecuali tulangan longitudinal yang berfungsi sebagai kekangan beton.
- ✓ Kuat tekan beton  $f'c$  berkisar 21 hingga 55 Mpa untuk beton normal, dan minimal 28 Mpa untuk beton ringan.
  - ✓ Tegangan leleh profil baja dan tulangan longitudinal tidak boleh melebihi 380 Mpa.
  - ✓ Untuk mencegah tekuk local pada pipa baja atau penampang baja berongga, maka ketebalan dinding minimal diisyaratkan sebagai berikut:
    - a) Untuk penampang persegi dengan sisi  $b$ , maka  $t \geq b \sqrt{\frac{f_y}{E}}$
    - b) Untuk penampang lingkaran diameter  $D$ , maka  $t \geq D \sqrt{\frac{f_y}{8E}}$

### 2.6.2 Kekuatan Kolom Komposit

Tata cara kuat rencana kolom komposit diatur dalam SNI 03-1726-2002 pasal 12.3.2. Dalam pasal ini dinyatakan bahwa kuat tekan rencana kolom komposit adalah :

$$N_u \geq \phi N_n$$

Dimana:

$$\phi = 0,85$$

$$N_n = A_s \cdot f_{cr}$$

$$f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega}$$

Nilai  $\omega$  ditentukan sebagai berikut :

➤ Untuk  $\lambda_c < 0,25$                       maka,  $\omega = 1$

➤ Untuk  $0,25 < \lambda_c < 1,2$               maka,  $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_c}$

➤ Untuk  $\lambda_c \geq 1,2$                       maka,  $\omega = 1,25 \lambda_c^2$

Dengan,

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}}$$

$$f_{my} = f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \left( \frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f'c \cdot \left( \frac{A_c}{A_s} \right)$$

$$E_m = E + c_3 \cdot Ec \cdot \left( \frac{A_c}{A_s} \right)$$

$$Ec = 0,041 \cdot w^{1,5} \sqrt{f'c}$$

Keterangan :

$A_c$      = Luas penampang beton ( mm<sup>2</sup> )

$A_r$      = Luas penampang tulangan longitudinal ( mm<sup>2</sup> )

$A_s$      = Luas penampang profil baja ( mm<sup>2</sup> )

$E$        = Modulus elastisitas baja ( Mpa )

$Ec$      = Modulus elastisitas beton ( Mpa )

$E_m$      = Modulus elastisitas kolom komposit ( Mpa )

$f_{cr}$      = Tegangan tekan kritis ( Mpa )

$f_{ym}$     = Tegangan leleh kolom komposit ( Mpa )

$f_y$      = Tegangan leleh profil baja ( Mpa )

$f'_c$  = Kuat tekan karakteristik beton ( Mpa )

$K_c$  = Faktor panjang efektif kolom

$L$  = Panjang komponen struktur ( mm )

$r_m$  = Jari-jari girasi kolom komposit

$w$  = Berat jenis beton (  $\text{Kg/m}^3$  )

$\lambda_c$  = Parameter kelangsingan

$\phi_c$  = Faktor reduksi beban aksial tekan

$\omega$  = Faktor tekuk

Untuk koefisien  $c_1$ ,  $c_2$ , dan  $c_3$  ditentukan sebagai berikut :

- Untuk pipa baja yang diisi beton :  
 $c_1=1,0$   $c_2=0,85$  dan  $c_3=0,4$
- Untuk profil baja yang dibungkus beton :  
 $c_1=0,7$   $c_2=0,6$  dan  $c_3=0,2$

Jari-jari girasi kolom komposit diambil lebih besar daripada jari-jari girasi profil baja dan kolom beton. Pendekatan yang konservatif adalah dengan menggunakan jari-jari girasi yang terbesar antara profil baja dan kolom beton, yang diambil sebesar 0,3 kali dimensi dalam bidang tekuk.

$$r_m = r > 0,3 b$$

dengan,

$r$  = Jari-jari girasi profil baja dalam bidang tekuk

$b$  = dimensi terluar kolom beton dalam bidang tekuk

### 2.6.3 Penyaluran Beban

Bagian dari kuat rencana kolom komposit pemikul beban aksial yang diterima beton harus disalurkan melalui tumpuan langsung pada sambungan. Bila luas beton penumpu lebih besar daripada luas daerah pembebanan pada satu atau beberapa sisi, sedangkan pada sisi-sisi lainnya pergerakannya terhadap pengembangan lateral dibatasi, maka kuat rencana maksimum beton penumpu harus diambil sebesar,  $1,7\phi_c f'c Ab$ , dengan  $\phi_c = 0,60$  dan  $Ab$  adalah luas daerah pembebanan. (SNI 03 – 1729 – 2002)

### 2.6.4 Kombinasi Tekan dan Lentur

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

(SNI 03 – 1729 – 2002)

- Untuk  $\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} \geq 0,2$

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

- Untuk  $\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} \leq 0,2$

$$\frac{N_u}{2 \cdot \phi_c \cdot N_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

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- $y$

$N_n$  = kuat aksial nominal

$N_u$  = kuat aksial perlu

Nilai  $M_n$  pada persamaan-persamaan di atas dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit. Namun jika nilai  $(N_u/\phi_c N_n)$  pada persamaan-persamaan di atas kurang dari 0,3 maka kuat lentur nominal  $M_n$  dapat ditentukan berdasarkan interpolasi linear antara nilai  $M_n$  yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit disaat  $(N_u/\phi_c N_n) = 0,3$  dan nilai  $M_n$  pada saat  $N_u = 0$  sebagaimana yang ditentukan berdasarkan Butir 12.4. Jika penghubung geser dibutuhkan pada saat  $N_u = 0$  maka penghubung geser tersebut juga harus disediakan selama nilai  $(N_u/\phi_c N_n)$  kurang dari 0,3.

### 2.6.5 Gaya Geser Horizontal

Untuk aksi komposit di mana beton mengalami gaya tekan akibat lentur, gaya geser horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen positif maksimum dan momen nol yang berdekatan harus diambil sebagai nilai terkecil dari:

- 1)  $0,85 f_c' A_c$ ,
- 2)  $A_s f_y$ ,
- 3)  $\Sigma Q_n$ .

Untuk balok hibrida, gaya leleh harus dihitung secara terpisah untuk masing-masing komponen yang membentuk penampang hibrida tersebut. Nilai  $A_s f_y$  untuk seluruh penampang merupakan jumlah dari gaya leleh yang terjadi pada masing-masing komponen. (SNI 03 – 1729 – 2002)

## 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 hemat
- Ditempat yang mudah terlihat, seharusnya dibuat seindah mungkin.
- Mudah dalam pelaksanaan pemasangan dilapangan.
- Pada suatu titik sambungan sebaiknya dihindari penggunaan alat penyambung yang berbeda.
- Persyaratan keamanan yang diberikan LRFD untuk penyambung persamaannya menjadi :

$$\phi R_n \geq P_u$$

Dimana :

$\phi$  = Faktor resistensi ( 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 tumpu baut pada sisi lubang ).

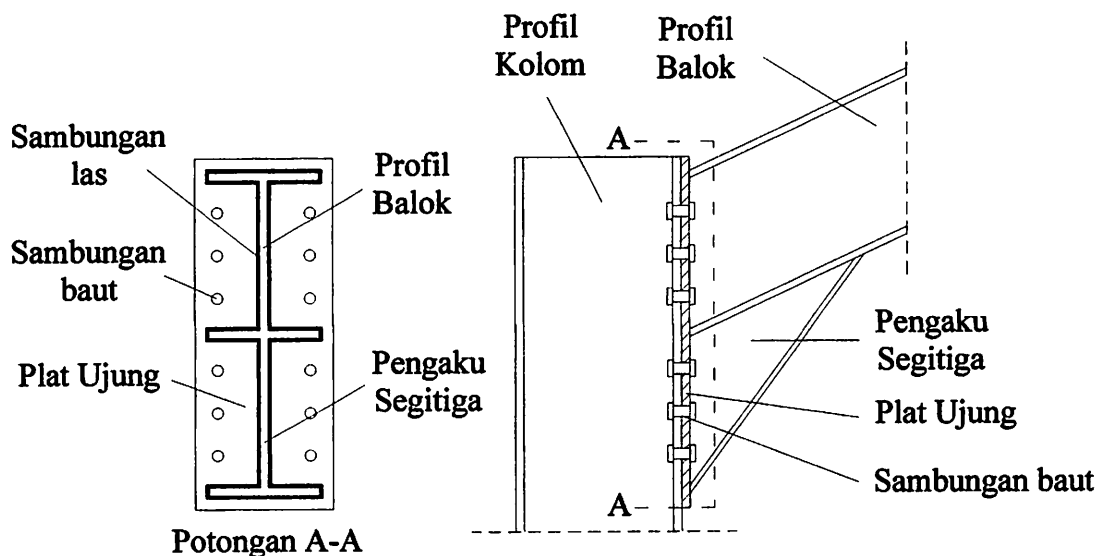
$R_n$  = Kekuatan satu penyambung

$P_u$  = Faktor beban pada satu penyambung

(CG. Salmon, JE. Jhonson. Struktur Baja desain dan Perilaku, jilid 4)

## 2.7.1 Sambungan Balok - Kolom

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



Gambar 2.10 Sambungan Kolom-Balok

### Momen dan Geser Kapasitas yang Terjadi

$$\phi M_n = \phi \cdot M_p - f_y \cdot \Delta A_s \cdot \left( \frac{h_o}{4} + e \right)$$

Dimana :

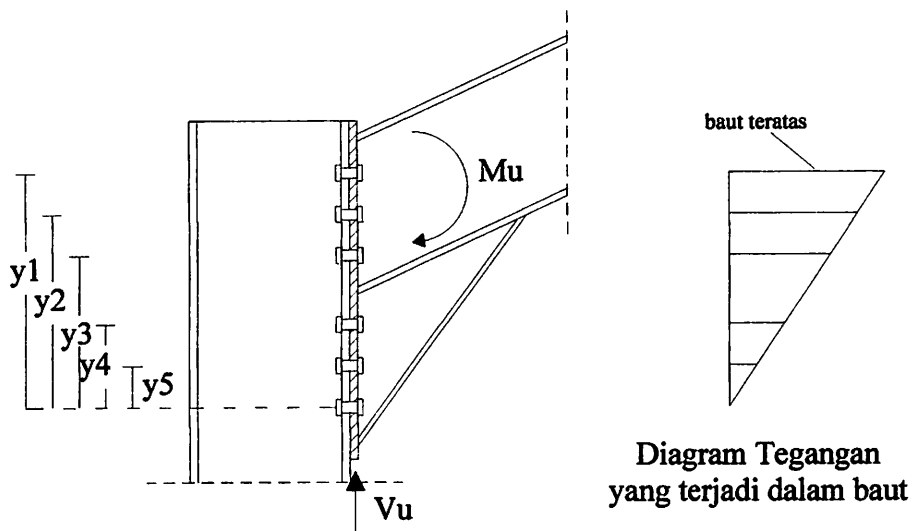
$M_n$  : Momen Kapasitas Balok *Castella*

$$\phi V_n = \phi \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv}$$

Dimana:

- $V_n$  : Gaya geser kapasitas pada baja  
 $\phi$  : Faktor resistensi untuk geser ( 0,9 )  
 $f_y$  : Kuat Leleh Baja  
 $A_{gv}$  : Panjang geser bersih baja

### Iteraksi Geser dan Tarik pada Baut



**Gambar 2.11 Iteraksi Geser dan Tarik pada Baut**

### Kontrol Geser :

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

Dimana :

$A_b$  : Luas Penampang baut

$\pi$  : 3,14

$d$  : Diameter Baut

( Agus Setiawan, *Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD. 2006* )

$$f_{uv} \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$\frac{V_n}{n} \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

dimana :

$V_n$  : Gaya geser kapasitas pada baja

$n$  : Jumlah Baut yang dipasang

$\emptyset$  : Faktor resistensi ( 0,75 )

$f_u^b$  : Kuat tarik baut

$m$  : Jumlah bidang geser

$A_b$  : Luas penampang baut

#### **Kontrol Gaya Tarik :**

$$\Sigma y^2 : 2 ( y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2 )$$

dimana :

$\Sigma y^2$  : Jumlah kuadrat dari jarak antar baut

$y$  : Jarak antar baut

#### **Gaya Tarik Baut Teratas :**

$$T_u = \frac{M_n \cdot (\text{jarak baut teratas})}{\Sigma y^2}$$

dimana :

$M_n$  : Momen Kapasitas yang terjadi

$\Sigma y^2$  : Jumlah kuadrat dari jarak antar baut

nilai  $\phi f_t$  yang dipakai :

**Tabel 2.2** Nilai  $\phi f_t$  untuk baut

| <i>Tipe Baut</i>                 | $\phi f_t$  |
|----------------------------------|---|
| A325 dengan ulir di bidang geser | $\phi \cdot ( 807 - 1,9 f_{uv} ) < \phi \cdot 621$  |
| A325 tanpa ulir di bidang geser  | $\phi \cdot ( 807 - 1,5 f_{uv} ) < \phi \cdot 621$  |
| A490 dengan ulir di bidang geser | $\phi \cdot ( 1010 - 1,9 f_{uv} ) < \phi \cdot 779$ |
| A490 tanpa ulir di bidang geser  | $\phi \cdot ( 1010 - 1,5 f_{uv} ) < \phi \cdot 779$ |

Sumber : Agus Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. 2008

**Kontrol Tarik yang terjadi :**

$$\frac{T_u}{n_{atas} \cdot A_b} \leq \phi f_t$$

dimana :

$T_u$  : Gaya tarik baut teratas

$n_{atas}$  : Jumlah baut yang diatas

$A_b$  : Luas Penampang Baut

**Tebal plat penyambung**

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4,44 T_u b'}{w \cdot f_y \cdot (1 + \alpha \cdot \delta)}}$$

Dimana:

$T_u$  = Gaya tarik terfaktor

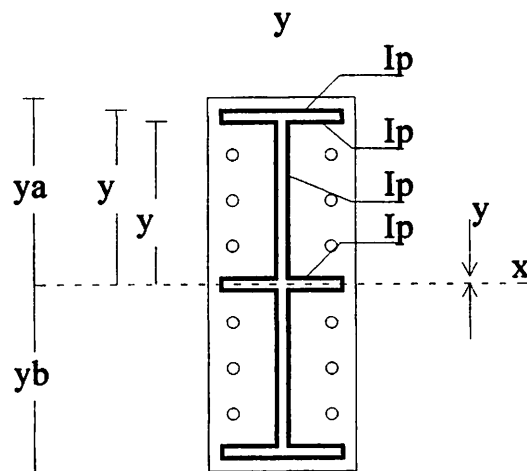
$b'$  = Jarak antara pusat baut teratas dengan plat teratas

$w$  = Lebar plat rencana

$f_y$  = Tahanan leleh baja

$(1 + \alpha \cdot \delta)$  = *Prying action force*

### Sambungan Las pada Plat Ujung



**Gambar 2.12** Momen Inersia pada Sambungan Las

## Tebal Las Sudut

**Tabel 2.3** Ukuran minimum las sudut

| <i>Tebal Plat ( t ) mm</i> | <i>Ukuran min las sudut ( mm )</i> |
|----------------------------|------------------------------------|
| $t \leq 7$                 | 3                                  |
| $7 \leq t \leq 10$         | 4                                  |
| $10 < t \leq 15$           | 5                                  |
| $15 < t$                   | 6                                  |

*Sumber : Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD. 2008*

### Momen Inersia Las

$$I_p = I_x + I_y$$

dimana:

$I_x$  = Momen Inersia terhadap sb x ( dalam  $\text{mm}^3$  )

$I_y$  = Momen Inersia terhadap sb y ( dalam  $\text{mm}^3$  )

### Gaya Geser Pada Las

$$R_v = \frac{V_n}{L_w}$$

Dimana :

$V_n$  = Gaya geser kapasitas pada baja

$L_w$  = Panjang las



### **Gaya Akibat Torsi Pada Las**

$$Rh = \frac{Mu \cdot ya}{I_{las}}$$

Dimana:

Mu = Momen Ultimate yang terjadi

ya = Jarak titik berat ke serat atas

I<sub>las</sub> = Momen Inersia Las

### **Resultan Gaya yang Terjadi pada Las**

$$R = \sqrt{Rv^2 + Rh^2}$$

Dimana:

Rv = Gaya geser pada alas

Rh = Gaya akibat torsi pada las

### **Kontrol Kekuatan Las**

$$\phi R_{mw} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 f_{uw}$$

Dimana :

$\phi$  = Faktor Reduksi ( 0,75 )

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

$f_{uw}$  = Mutu las

### **Tebal Las Perlu**

$$a = \frac{R}{\phi \cdot R_{mw}}$$

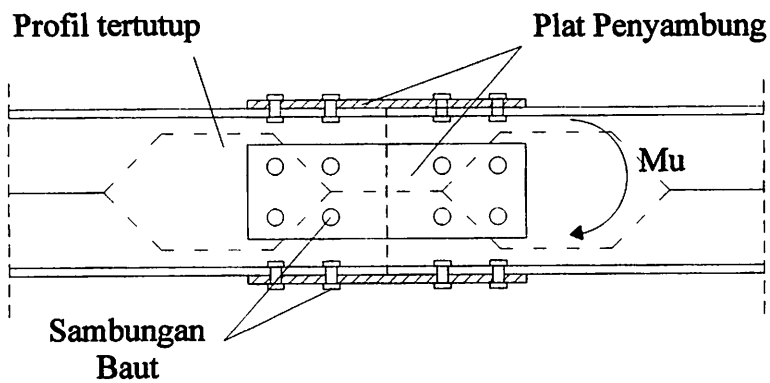
dimana :

a : Tebal las perlu

R : Resultan Gaya yang terjadi pada las

$\phi R_{nw}$  : Kekuatan las

## 2.7.2 Sambungan Balok – Balok ( Spliced Beam )



Gambar 2.13 Sambungan Balok - Balok

### • Sambungan Baut pada Sayap Balok

#### Luas Penampang Baut

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

Dimana :

$A_b$  : Luas Penampang baut

$\pi$  : 3,14

d : Diameter Baut

**Kuat Geser Baut :**

$$\emptyset R_n = \emptyset \cdot m \cdot 0,5 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

dimana:

$\emptyset$  : Faktor resistensi untuk baut ( 0,75 )

m : Jumlah bidang geser

$f_u^b$  : Kuat tarik baut

**Kuat Tumpu Baut:**

$$\emptyset R_n = \emptyset \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

dimana :

$\emptyset$  : Faktor resistensi untuk baut ( 0,75 )

$d_b$  : Diameter baut

$t_p$  : Tebal plat penyambung

$f_u$  : Kuat tarik plat penyambung

Nilai  $\emptyset R_n$  diambil yang terkecil dari kuat geser baut dan kuat tumpu baut

**Gaya Tarik yang terjadi pada sayap :**

$$T_n = \frac{M_n}{d}$$

dimana :

$M_n$  : Momen Kapasitas yang terjadi

d : Tinggi profil baja

**Jumlah baut yang dipakai :**

$$n = \frac{T_n}{\phi R_n}$$

dimana :

$T_n$  : Gaya tarik yang terjadi pada sayap

$\phi R_n$  : Kuat baut

• **Sambungan Baut pada Badan Balok**

**Luas Penampang Baut**

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

Dimana :

$A_b$  : Luas Penampang baut

$\pi$  : 3,14

$d$  : Diameter Baut

**Kuat Geser Baut :**

$$\phi R_n = \phi \cdot m \cdot 0,5 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

dimana:

$\phi$  : Faktor resistensi untuk baut ( 0,75 )

$m$  : Jumlah bidang geser

$f_u^b$  : Kuat tarik baut

**Kuat Tumpu Baut:**

$$\phi R_n = \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

dimana :

$\phi$  : Faktor resistensi untuk baut ( 0,75 )

$d_b$  : Diameter baut

$t_p$  : Tebal plat penyambung

$f_u$  : Kuat tarik plat penyambung

Nilai  $\phi R_n$  diambil yang terkecil dari kuat geser baut dan kuat tumpu baut

**Jumlah baut yang dipakai :**

$$n = \frac{V_n}{\phi R_n}$$

dimana :

$V_n$  : Gaya geser kapasitas pada baja

$\phi R_n$  : Kuat baut

**Kontrol Block Shear :**

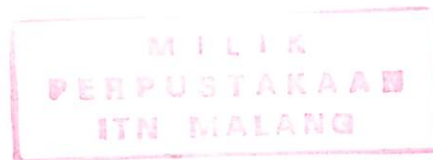
**Akibat beban Sentris :**

$$R_v = \frac{V_n}{n}$$

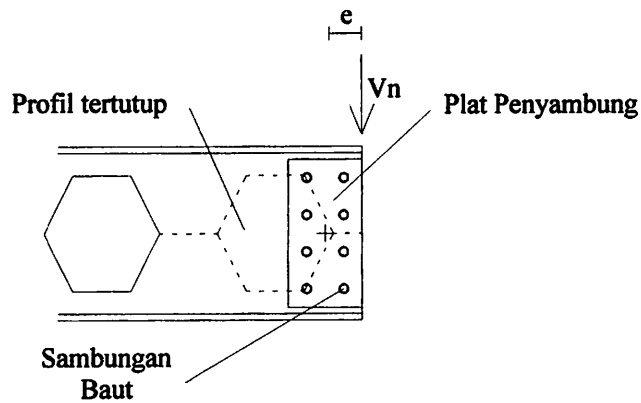
dimana :

$V_n$  : Gaya geser kapasitas pada baja

$n$  : Jumlah baut



### Akibat Beban Eksentris :



Eksentrisitas = jarak baut tepi +  $\frac{1}{2}$  . jarak antar baut

Momen yang terjadi akibat eksentrisitas:

$$M = V_n \cdot e$$

dimana :

$V_n$  : Gaya geser kapasitas pada baja

$e$  : eksentrisitas

$$R_{h_x} = \frac{M \cdot x}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2}$$

dimana :

$M$  : Momen yang terjadi akibat eksentrisitas

$x$  : Jarak baut terluar dengan titik berat susunan baut dengan sb  $x$

$\Sigma x^2$  : Jumlah kuadrat jarak titik berat baut dengan sb  $x$

$\Sigma y^2$  : Jumlah kuadrat jarak titik berat baut dengan sb  $y$

$$R_{h_y} = \frac{M \cdot y}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2}$$

dimana :

M : Momen yang terjadi akibat eksentrisitas

y : Jarak baut terluar dengan titik berat susunan baut dengan sb y

$\Sigma x^2$  : Jumlah kuadrat jarak titik berat baut dengan sb x

$\Sigma y^2$  : Jumlah kuadrat jarak titik berat baut dengan sb y

Resultan Gaya yang terjadi pada 1 baut :

$$R = \sqrt{R_v^2 + (R_{h_x}^2 + R_{h_y}^2)}$$

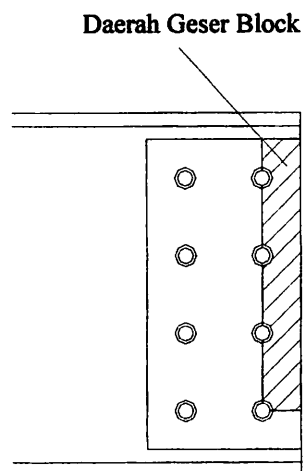
dimana :

$R_v$  : Gaya yang terjadi akibat geser

$R_{h_x}$  : Gaya yang terjadi akibat eksentrisitas pada sb x

$R_{h_y}$  : Gaya yang terjadi akibat eksentrisitas pada sb y

**Kontrol Geser :**



Luas bruto penampang akibat geser

$$A_{gv} = \text{Panjang penampang geser} \times \text{tebal plat}$$

Luas Netto penampang akibat geser

$$A_{nv} = (\text{Panjang penampang geser} - \text{jumlah lubang baut}) \times \text{tebal plat}$$

Luas bruto penampang akibat tarik

$$A_{gt} = \text{Panjang penampang tarik} \times \text{tebal plat}$$

Luas netto penampang akibat tarik

$$A_{nt} = (\text{Panjang penampang tarik} - \text{jumlah lubang baut}) \times \text{tebal plat}$$

Cek terhadap geser balok

$$f_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$$

dimana :

$f_u$  : Kuat tarik baja

$A_{nt}$  : Luas netto penampang akibat tarik

$A_{nv}$  : Luas bruto penampang akibat geser

maka

$$T_n = (0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}) + (f_y \cdot A_{gt})$$

dimana :

$f_u$  : Kuat tarik baja



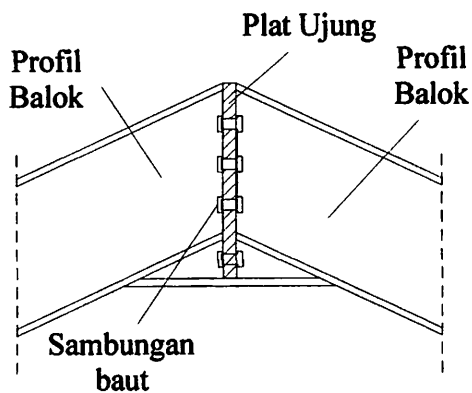
$f_u$  : Kuat leleh baja

$A_{nv}$  : Luas bruto penampang akibat geser

$A_{gv}$  : Luas bruto penampang akibat tarik

### 2.7.3 Sambungan Balok Ujung – Balok Ujung

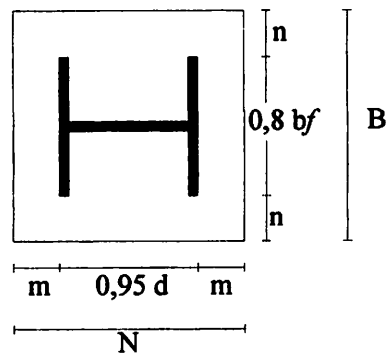
#### Sambungan Momen Plat Ujung ( End-plate moment connection )



**Gambar 2.14** 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.

## 2.7.4 Sambungan Base Plate



Gambar 2.15 Sambungan Kolom - Pondasi

### Luas Bidang Plat Dasar

Desain luas plat dasar harus lebih besar dari luas baja yang ada.

$$\phi \cdot P_p \geq P_u$$

$$\phi \cdot (0,85 \cdot f_c \cdot A) \geq P_u$$

Dimana :

$P_p$  = Kekuatan Penampang Profil

$P_u$  = Beban Ultimate

$f_c$  = Kuat tekan beton

$A$  = Luas penampang plat baja

### Dimensi Plat Dasar

$$\Delta = \frac{0,95 \cdot d - 0,80 \cdot bf}{2}$$

$$N = \sqrt{A} + \Delta$$

$$B = \frac{A}{N}$$

Dimana :

$\Delta$  = Jarak antara ujung terluar baja dengan tepi plat dasar

$N$  = Tinggi plat dasar

$B$  = Lebar plat dasar

$d$  = Tinggi profil baja

$bf$  = Lebar profil baja

$A$  = Luas penampang plat dasar

### Tebal Plat Dasar

$$m = \frac{N - 0,95d}{2}$$

$$n = \frac{B - 0,8bf}{2}$$

$$x = \frac{4 \cdot d \cdot bf}{(d + bf)^2} \cdot \frac{Pu}{\phi_c \cdot P_p}$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1 - x}}$$

$$\lambda_n = \frac{\lambda \sqrt{d \cdot bf}}{4}$$

Maka :

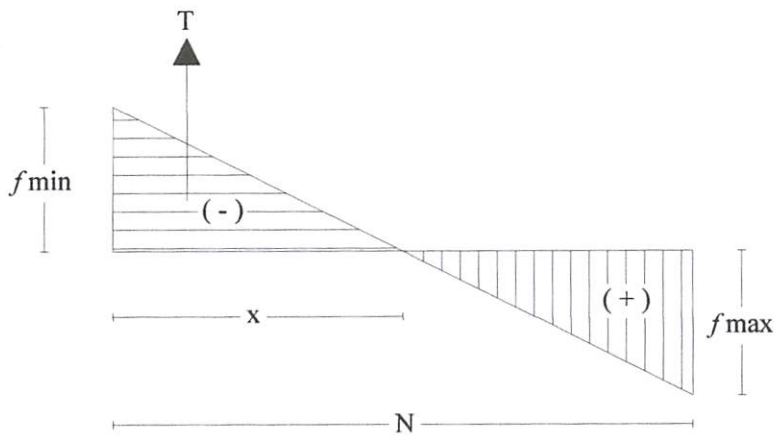
$$tp = \ell \sqrt{\frac{2 \cdot Pu}{0,9 \cdot F_y \cdot B \cdot N}}$$

Dimana :

- $\Delta$  = Jarak antara ujung terluar baja dengan tepi plat dasar
- $N$  = Tinggi plat dasar
- $B$  = Lebar plat dasar
- $d$  = Tinggi profil baja
- $bf$  = Lebar profil baja
- $A$  = Luas penampang plat dasar
- $\ell$  = Nilai terbesar dari  $m, n, \lambda_n$ .

**Perhitungan jangkar**

$$f = \frac{Pu}{A} \pm \frac{Mu}{W}$$



- Gaya jangkar yang terjadi

$$T = 0,5 ( x \cdot f \cdot N )$$

Dimana :

$T$  = Gaya yang terjadi / Luas diagram tegangan

x = Jarak dimana  $f=0$

N = Panjang plat dasar

- Luas penampang baut jangkar

$$A = \frac{T}{\phi \cdot 0,75 \cdot f_y}$$

Dimana:

A = Luas penampang jangkar

T = Gaya yang terjadi pada jangkar

$\phi$  = Faktor resistensi ( 0,75 )

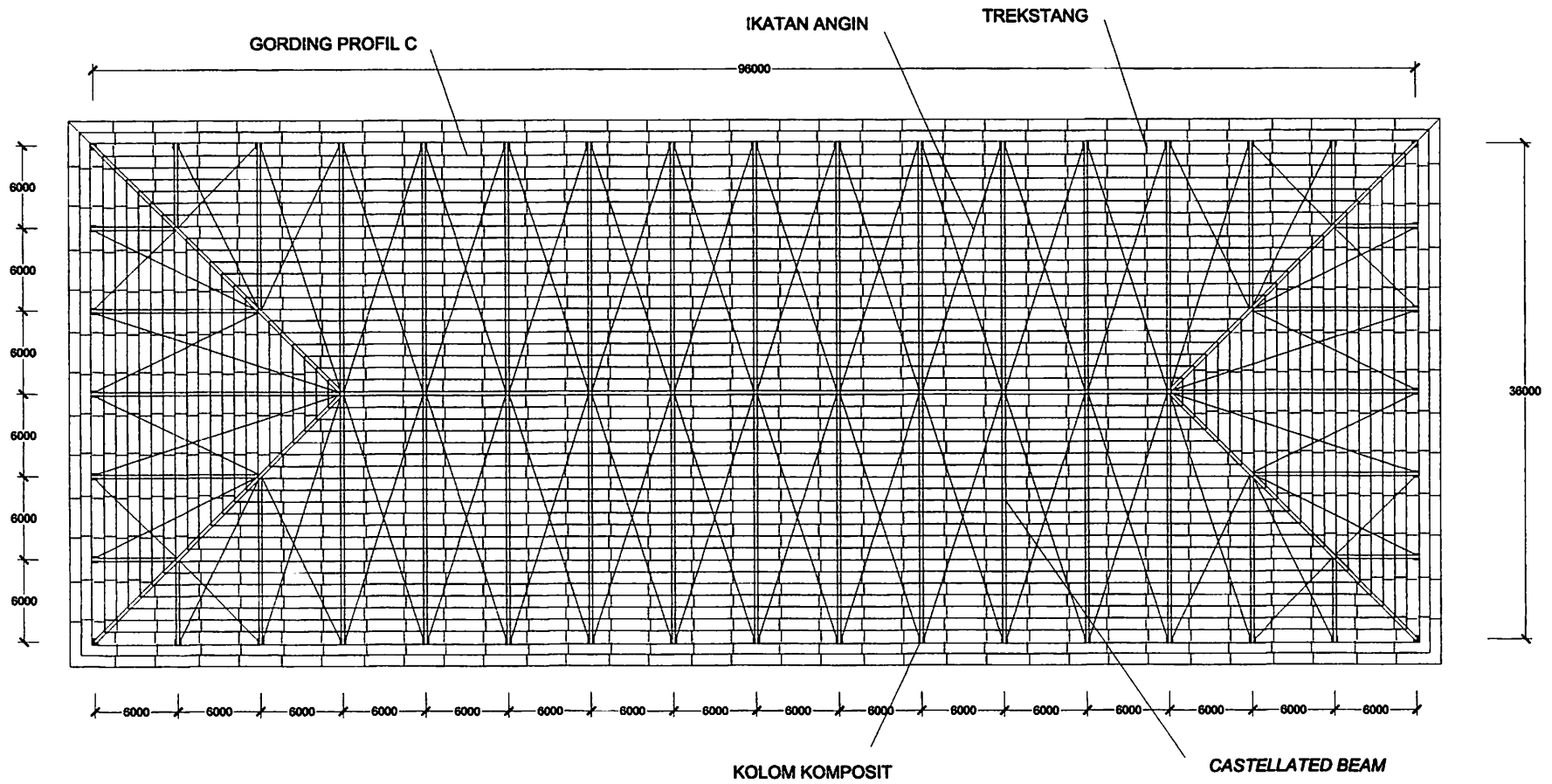
$f_y$  = Tegangan leleh baja

## **BAB III**

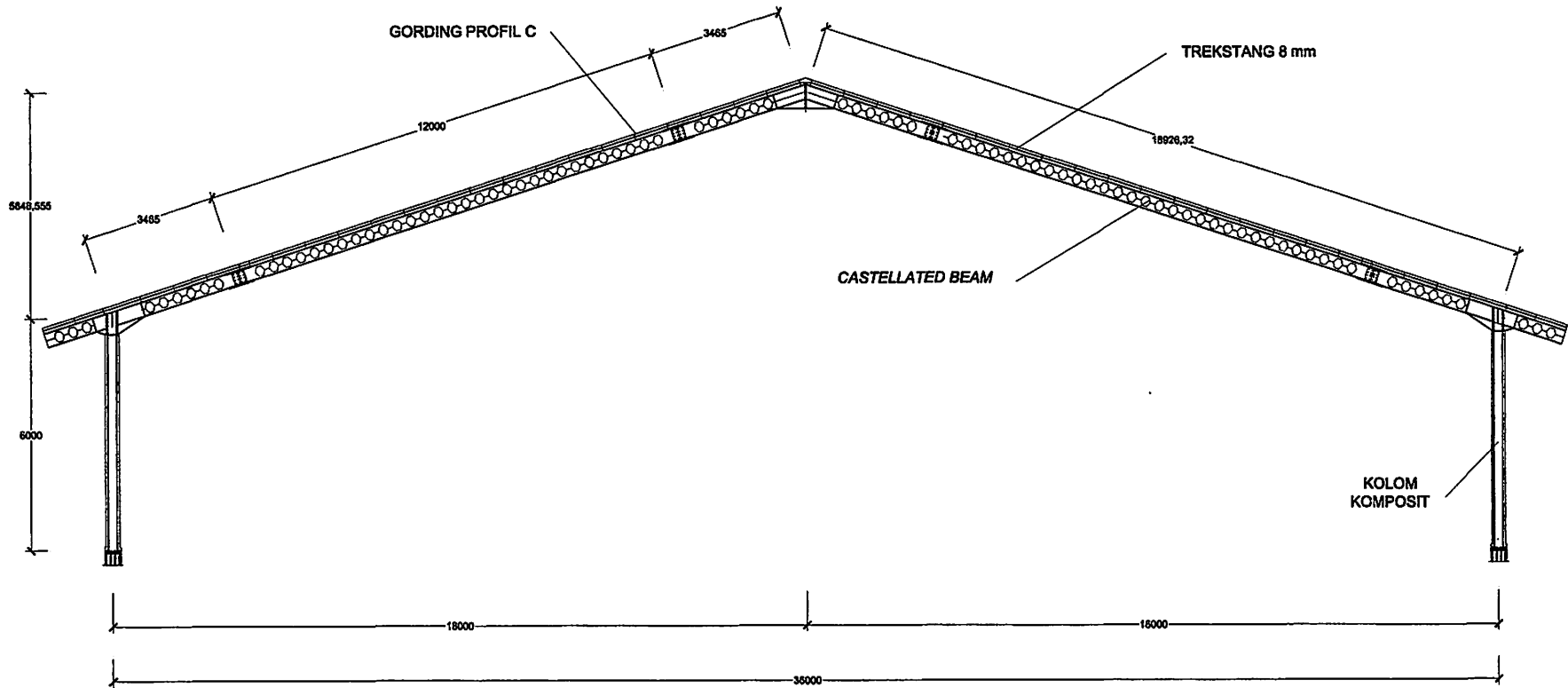
### **ANALISA PEMBAHASAN**

#### **3.1 Data Perencanaan :**

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Lebar bangunan ( L )    | : 36 meter  |
| Tinggi kolom ( h )      | : 6 meter   |
| Kemiringan ( $\Theta$ ) | : 18°   |
| Jarak antar portal      | : 6 meter   |
| Jenis Baja              | : BJ 41<br><br>( $f_y = 250$ Mpa )<br><br>( $f_u = 410$ Mpa ) |
| Tipe Baut               | : A325<br><br>( $f_u^b = 825$ Mpa )                           |
| Jenis Las               | : Elektroda 70<br><br>( $f_{u_w} = 485$ Mpa )                 |
| Profil Balok            | : Profil hexagonal <i>castellated beam</i>                    |
| Profil Kolom            | : Kolom komposit  |
| Profil Gording          | : Profil kanal dengan lips                                    |
| Penutup atap            | : Galvalum tipe Spanrib                                       |



**Gambar 3.1** Tampak Atas Struktur Bangunan



**Gambar 3.2** Tampak Atas Struktur Bangunan



## Jarak Antar Gording

Diketahui :

|                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| Diasumsikan profil kolom | = 35 cm x 35 cm                |
| Lebar bangunan           | = 36 m                         |
| Tinggi kolom             | = 6 m                          |
| Panjang atap galvalum    | = 2,1 m (bluescop steel corp.) |
| Lewatan untuk tiap atap  | = 30 cm                        |

Panjang balok miring

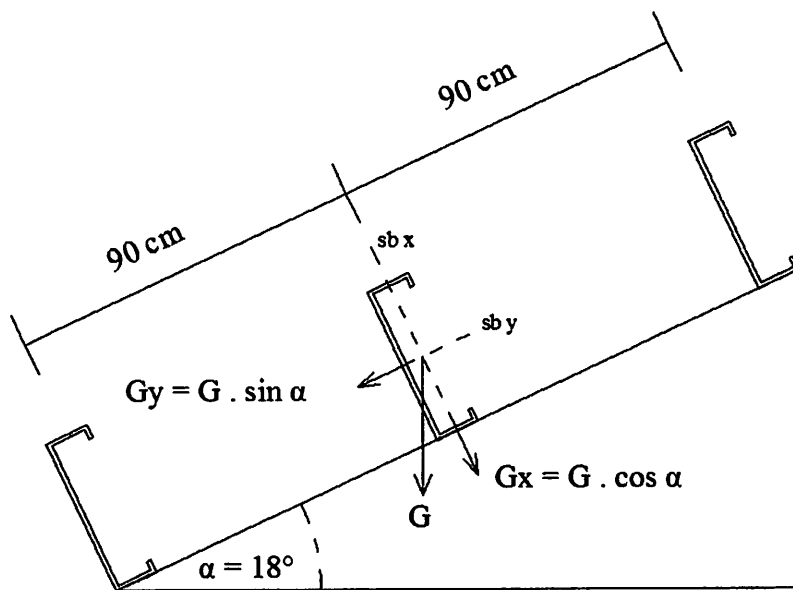
$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} L / \cos \alpha \\ &= ( \frac{1}{2} \cdot 36 ) / \cos 18 \\ &= 18,93 \text{ m} \end{aligned}$$



Jarak Antar Gording

$$\begin{aligned} &= ( \text{Panjang Atap} - \text{Lewatan atap} ) / 2 \\ &= ( 2,1 - 0,3 ) / 2 \\ &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

### 3.2 Perencanaan Gording



Gambar 3.3 Arah Gaya Pada Gording

**Diketahui :**

- Berat gording diasumsikan = 10 kg/m
- Berat galvalum tipe spanrib = 4,69 kg/m<sup>2</sup> (*bluescop steel corp.*)
- Beban angin = 30 kg/m<sup>2</sup> (*PPIUG'83*)
- Beban Kebetulan = 100 kg (*PPIUG'83*)
- jarak antar gording = 0,9 m
- jarak antar portal = 6 m

**Akibat Beban Mati ( G ):**

- Asumsi Berat sendiri gording = 10 kg/m

- Berat atap

$$0,9\text{m} \times 4,69 \text{ kg/m}^2 = \frac{4,221 \text{ kg/m} +}{14,221 \text{ kg/m}}$$

- Berat Sambungan ( 10% )=  $\frac{1,422 \text{ kg/m} +}{g = 15,643 \text{ kg/m}}$

$$\begin{aligned} g_y &= g \cdot \sin \alpha \\ &= 15,643 \cdot \sin 18 \\ &= 4,83 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_x &= g \cdot \cos \alpha \\ &= 15,643 \cdot \cos 18 \\ &= 13,81 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

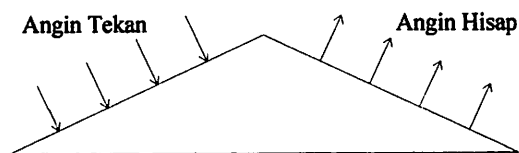
**Akibat Beban angin ( W ):**

- Angin Tekan (  $W_1$  )

$$W \text{ tekan angin} = 30 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} C_1 &= (0,02 \cdot \alpha) - 0,4 \\ &= (0,02 \cdot 18) - 0,4 \\ &= -0,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= C_1 \times \text{Tekanan Angin} \times \text{Jarak Gording} \\ &= -0,04 \cdot 30 \cdot 0,9 \\ &= -1,08 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



- Angin Hisap (  $W_2$  )

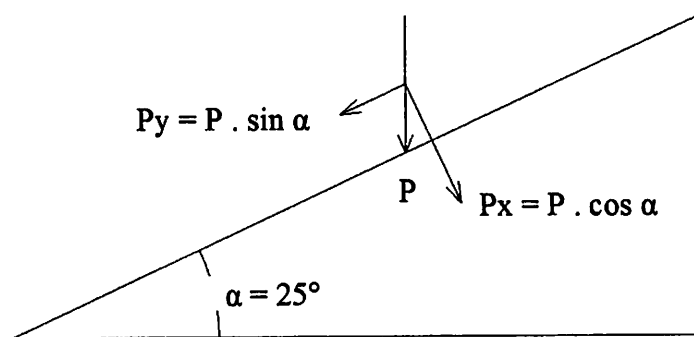
$$C_2 = -0,40$$

$$W_2 = C_2 \times \text{Tekanan Angin} \times \text{Jarak Gording}$$

$$= -0,40 \cdot 30 \cdot 0,9$$

$$= -10,8 \text{ kg/m}$$

### Akibat Beban Kebetulan ( $P$ )



Gambar 3.4 Arah Gaya Pada Beban Kebetulan pada Gording

$$P = 100 \text{ Kg}$$

$$P_y = P \cdot \sin \alpha$$

$$= 100 \cdot \sin 18$$

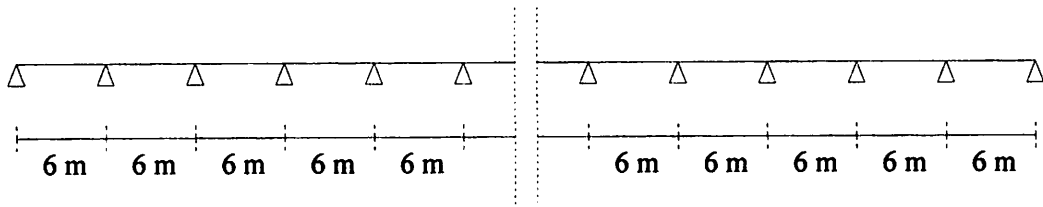
$$= 30,9 \text{ kg}$$

$$P_x = P \cdot \cos \alpha$$

$$= 100 \cdot \cos 18$$

$$= 95,1 \text{ kg}$$

**Perhitungan statika :**



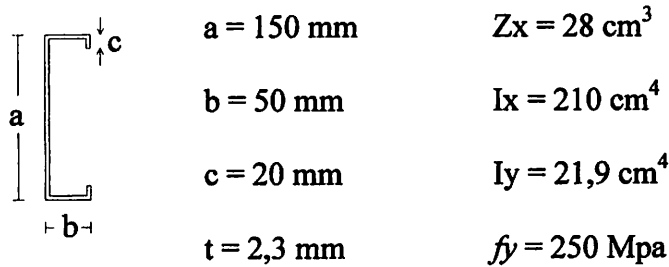
**Gambar 3.5** Perhitungan statika gording sejarak 6 m

Dengan menggunakan program STAAD PRO 2004 didapat :

$$M_x \text{ maks} = 2,001 \text{ kNm} = 2,001 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_y \text{ maks} = 0,676 \text{ kNm} = 0,676 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Dicoba profil C 150 . 50 . 20 . 2,3



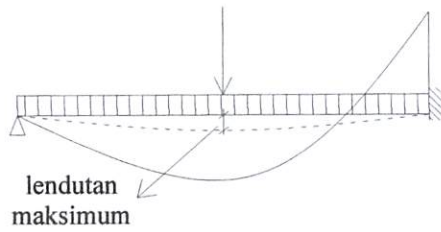
$$\phi \cdot Mn \geq Mu \text{ ( Charles G salmon, desain baja dan perilaku edisi ketiga )}$$

$$\phi Mn = \phi \cdot Z_x \cdot fy$$

$$= 0,9 \cdot 28 \cdot 10^3 \cdot 250$$

$$= 6300000 \text{ Nmm} > Mu = 2011000 \text{ Nmm} \longrightarrow \underline{\text{AMAN}}$$

**Kontrol Lendutan :**



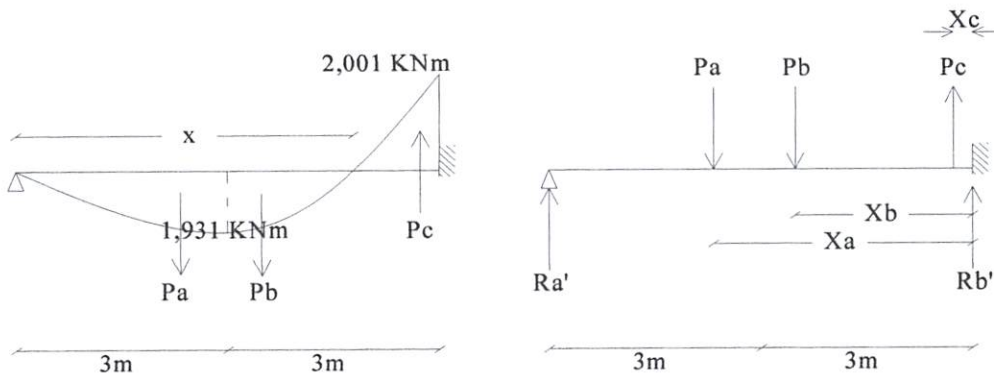
**Gambar 3.6** Lendutan Maksimum yang terjadi pada gording

$$\begin{aligned} \delta_{ijm} &= \frac{1}{240} L \quad (\text{sumber: SNI-03-1729-2002}) \\ &= \frac{1}{240} 6000 \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$



Lendutan arah x :

Menggunakan Metode Momen Area :



**Gambar 3.7** Perhitungan gaya lendutan gording dengan metode Momen Area ( Arah X )

x ( Momen=0 ) : ( menggunakan iteraksi )

$$4,2 \text{ m} \longrightarrow M = 0,520 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

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

$$4,8 \text{ m} \longrightarrow M = -0,266 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

$$x = \left[ \left( \frac{0 - 0,520}{-0,266 - 0,520} \right) \cdot (4,8 - 4,2) \right] + 4,2$$

$$= 4,597 \text{ m}$$

$$P_a = 2/3 \times 1,931 \times 3 = 3,862 \text{ KNm}^2 \quad X_a = 3 + (3/8 \times 3) = 4,125 \text{ m}$$

$$P_b = 2/3 \times 1,931 \times 1,597 = 2,056 \text{ KNm}^2 \quad X_b = (5/8 \times 1,59) + 1,4 = 2,4 \text{ m}$$

$$P_c = 1/3 \times -2,001 \times 1,403 = -0,936 \text{ KNm}^2 \quad X_c = 1/4 \times 1,403 = 0,35 \text{ m}$$

$$\sum M_b' = 0$$

$$(R_a' \cdot 6) - (3,862 \cdot 4,125) - (2,056 \cdot 2,4) + (0,936 \cdot 0,35) = 0$$

$$R_a' = 3,423 \text{ KNm}^2$$

$$M_{\max} = (R_a' \cdot 3) - (P_1 \cdot 3/8 \times 3)$$

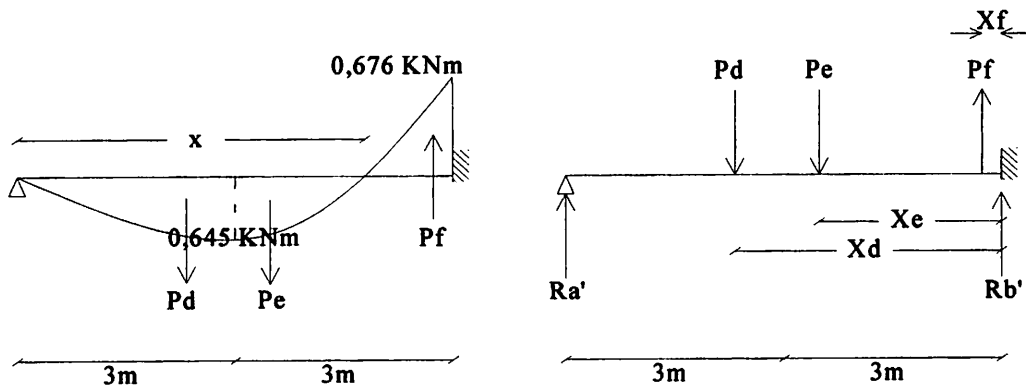
$$= 5,925 \text{ KNm}^3$$

$$= 5,925 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^3$$

$$\delta_x = \frac{M_{\max}}{E \cdot I_x} = \frac{5,925 \cdot 10^{12}}{200000 \cdot 210 \cdot 10^4} = 14,1 \text{ mm}$$

Lendutan arah y :

Menggunakan Metode Momen Area :



Gambar 3.8 Perhitungan gaya lendutan gording dengan metode Momen Area ( Arah Y )

x ( Momen=0 ) : ( menggunakan iteraksi )

$$4,2 \text{ m} \longrightarrow M = 0,176 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

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

$$4,8 \text{ m} \longrightarrow M = -0,088 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

$$x = \left[ \left( \frac{0 - 0,176}{-0,088 - 0,176} \right) (4,8 - 4,2) \right] + 4,2$$

$$= 4,6 \text{ m}$$

$$Pd = 2/3 \times 0,645 \times 3 = 1,29 \text{ KNm}^2 \quad Xd = 3 + (3/8 \times 3) = 4,125 \text{ m}$$

$$Pe = 2/3 \times 0,645 \times 1,6 = 0,688 \text{ KNm}^2 \quad Xe = (5/8 \times 1,6) + 1,4 = 2,4 \text{ m}$$

$$Pf = 1/3 \times -0,676 \times 1,4 = -0,315 \text{ KNm}^2 \quad Xf = 1/4 \times 1,4 = 0,35 \text{ m}$$



$$\sum Mb' = 0$$

$$(Ra' \cdot 6) - (1,29 \cdot 4,125) - (0,688 \cdot 2,4) + (0,315 \cdot 0,35) = 0$$

$$Ra' = 1,144 \text{ KNm}^2$$

$$M_{\max} = (Ra' \cdot 3) - (P1 \cdot 3/8 \times 3)$$

$$= 1,9797 \text{ KNm}^3$$

$$= 1,9797 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^3$$

$$\delta_y = \frac{M_{\max}}{E \cdot I_y} = \frac{1,9797 \cdot 10^{12}}{200000 \cdot 26,6 \cdot 10^4} = 45,2 \text{ mm}$$

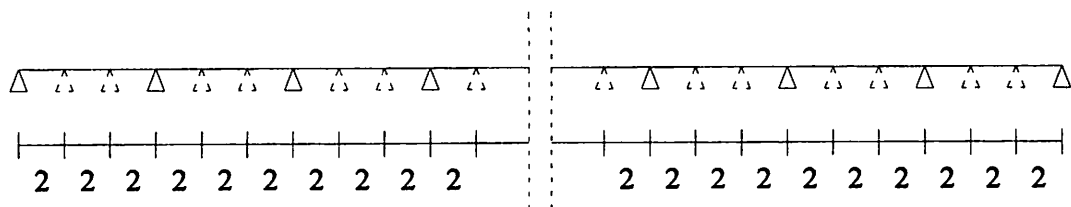
$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$$

$$= \sqrt{14,1^2 + 45,2^2}$$

$$= 47,35 \text{ mm} \longrightarrow > \delta_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm} \quad \underline{\text{TIDAK AMAN}}$$

Karena lendutan tidak aman, maka perlu dipasang trekstang

**Perhitungan statika setelah dipasang trekstang sejarak 2m: ( arah Y )**

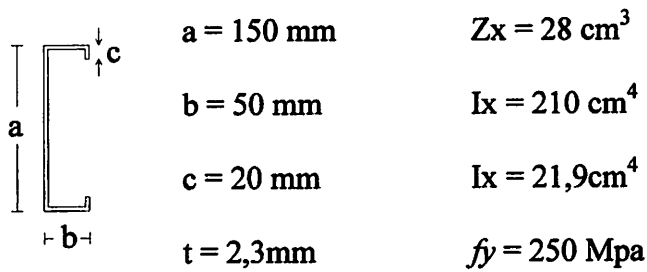


**Gambar 3.9** Perhitungan statika gording sejarak 2 m

Dengan menggunakan program STAAD PRO 2004 didapat :

$$M_y \text{ maks} = 0,257 \text{ kNm} = 0,257 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

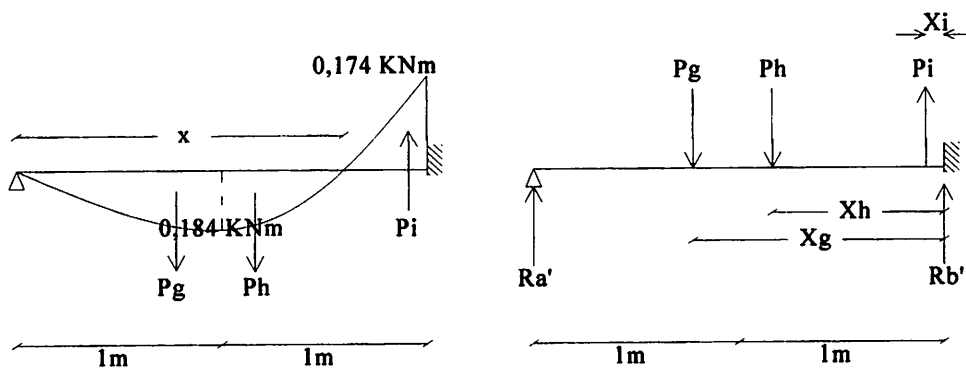
Dipakai profil C 150 . 50 . 20 . 2,3



**Kontrol Lendutan :**

Lendutan arah y :

Menggunakan Metode Momen Area :



**Gambar 3.10** Perhitungan gaya lendutan gording dengan metode Momen Area ( Arah Y ; 2m )

x ( Momen=0 ) : ( menggunakan iteraksi )

$$1,4 \text{ m} \longrightarrow M = 0,047 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

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

$$1,6 \text{ m} \longrightarrow M = -0.025 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

$$x = \left[ \left( \frac{0 - 0,047}{-0,025 - 0,047} \right) (1,6 - 1,4) \right] + 1,4$$

$$= 1,53 \text{ m}$$

$$P_g = 2/3 \times 0,184 \times 1 = 0,123 \text{ KNm}^2 \quad X_g = (3/8 \times 1) + 1 = 1,375 \text{ m}$$

$$P_h = 2/3 \times 0,184 \times 0,53 = 0,065 \text{ KNm}^2 \quad X_h = (5/8 \times 0,53) + 0,47 = 0,801 \text{ m}$$

$$P_i = 1/3 \times -0,174 \times 0,47 = -0,027 \text{ KNm}^2 \quad X_i = 1/4 \times 0,47 = 0,117 \text{ m}$$

$$\sum Mb' = 0$$

$$(Ra' \cdot 2) - (0,123 \cdot 1,375) - (0,065 \cdot 0,801) + (0,027 \cdot 0,117) = 0$$

$$Ra' = 0,109 \text{ KNm}^2$$

$$M_{\max} = (Ra' \cdot 1) - (P1 \cdot 1/3 \times 1)$$

$$= 0,0628 \text{ KNm}^3$$

$$= 0,0628 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^3$$

$$\delta_y = \frac{M_{\max}}{E \cdot I_y} = \frac{0,0628 \cdot 10^{12}}{200000 \cdot 21,9 \cdot 10^4} = 1,43 \text{ mm}$$

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$$

$$= \sqrt{14,1^2 + 1,43^2}$$

$$= 14,17 \text{ mm} \longrightarrow < \delta_{ijin} = 25 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

Beban yang dipikul 1 trekstang

$$\begin{aligned}T &= M_y / L \\ &= 184 \text{ Nm} / 2\text{m} \\ &= 92 \text{ N}\end{aligned}$$

Luas Penampang perlu

$$\begin{aligned}A &= \frac{T}{\phi \cdot 0,75 \cdot f_u} && \text{( Charles G salmon, desain baja dan perilaku edisi keempat )} \\ &= \frac{92}{0,75 \cdot 0,75 \cdot 410} \\ &= 0,4 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{4} \cdot \pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,4}{\frac{1}{4} \cdot \pi}}$$

$$= 0,7 \text{ mm}$$

$$= 8 \text{ mm}$$

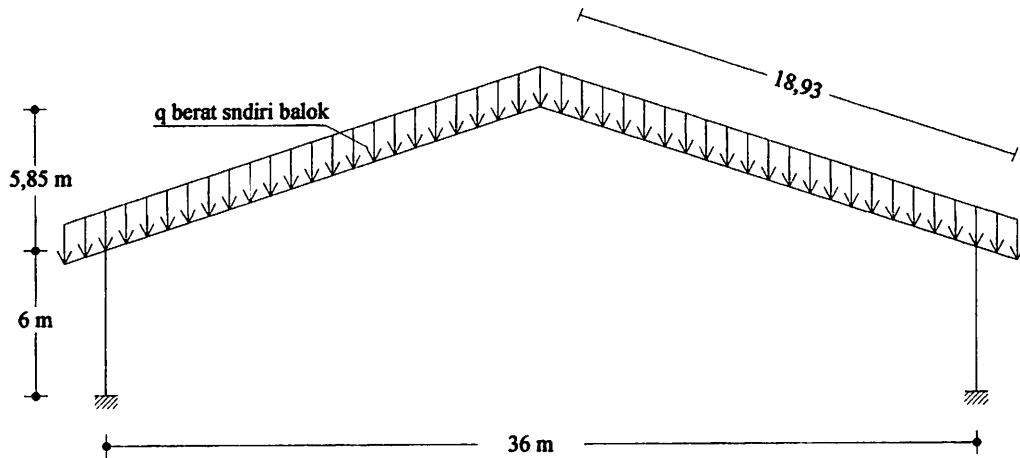
Jadi, digunakan trekstang dengan diameter 8 mm

### 3.3 Perhitungan Analisa Pembebanan Portal 3 Dimensi

#### 3.3.1 Pembebanan Portal

- **Beban Mati**

Akibat beban sendiri balok *castella*



Gambar 3.11 Pembebanan beban mati merata portal

Asumsi dipakai profil WF 250.250.9.14

|  |                       |                            |
|--|-----------------------|----------------------------|
|  | $d = 250 \text{ mm}$  | $A = 92,18 \text{ cm}^2$   |
|  | $bf = 250 \text{ mm}$ | $g = 72,4 \text{ kg/m}$    |
|  | $tw = 9 \text{ mm}$   | $I_x = 10800 \text{ cm}^4$ |
|  | $tf = 14 \text{ mm}$  |                            |

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

$q_1$  berat sendiri balok = 72,4 kg/m

### **Akibat beban atap**

Berat galvalum tipe spanrib = 4,69 kg/m<sup>2</sup> ( *bluescop steel corp.* )

### **Akibat beban gording**

Berat gording C 150.50.20.2,3 = 6,13 kg/m

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

### **Akibat beban kolom**

Berat Beton Pada Kolom:

= ( Luas Penampang Kolom – Luas Penampang Baja ) x Berat Jenis Beton

= (( 0,35 x 0,35 ) – 0,009218 ) x 2400 Kg/m<sup>3</sup>

= 271,878 Kg/m



Berat Baja Pada Kolom :

= Panjang Penampang Baja x Berat Profil

= 6 x 72,4 Kg/m

= 434,4 Kg/m

Total Berat Kolom :

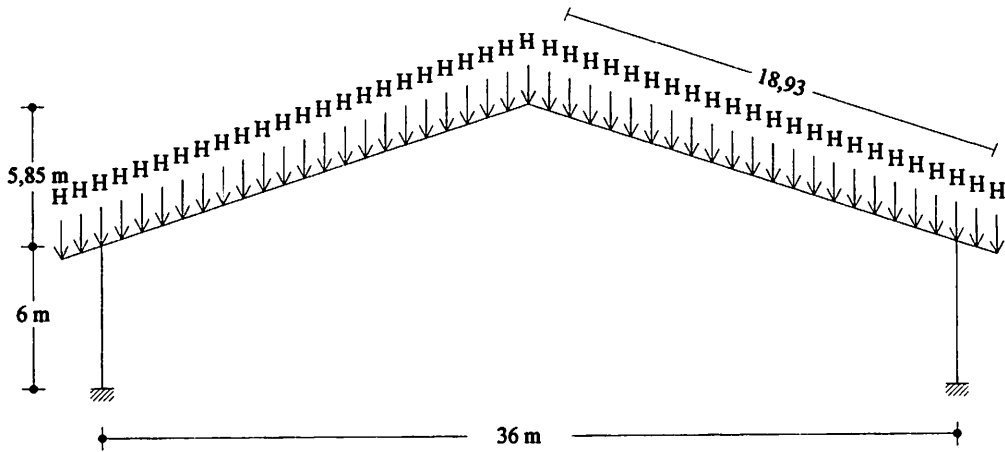
= Berat Beton Pada Kolom + Berat Baja Pada Kolom

= 271,878 + 434,4

= 315,278 Kg/m

- Akibat Beban Kebetulan

( Beban Orang Bekerja Pada Atap )



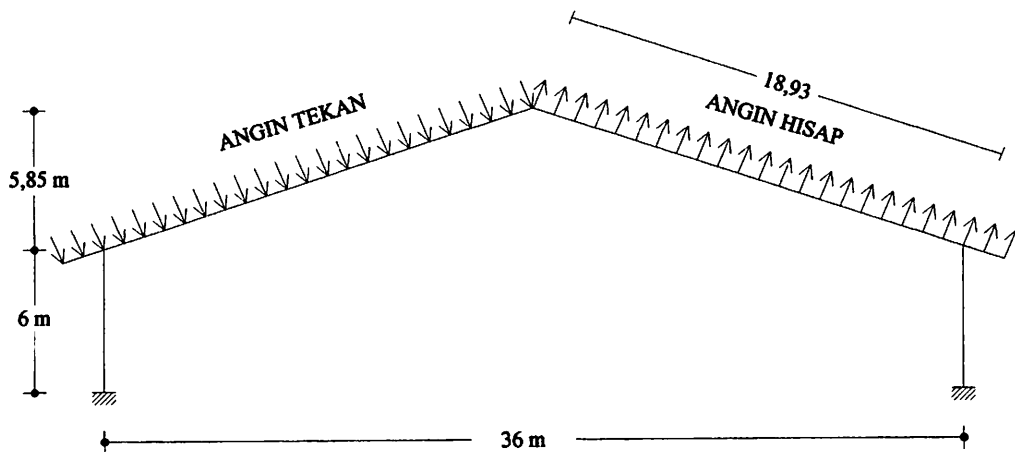
Gambar 3.12 Pembebanan beban hidup portal

Beban Hidup / Kebetulan = 100 kg (PPIUG'83)

H = Beban Kebetulan

= 100 kg

- Akibat Beban Angin



Gambar 3.13 Pembebanan beban angin portal

Angin Tekan

$$W_{\text{tekan angin}} = 30 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{PPIUG}'83)$$

$$\begin{aligned} C_1 &= (0,02 \cdot \alpha) - 0,4 \\ &= (0,02 \cdot 18) - 0,4 \\ &= -0,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{tekan}} &= C_1 \times \text{Tekanan angin} \\ &= -0,04 \times 30 \\ &= -1,2 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Angin Hisap

$$C_2 = -0,40 \quad (\text{PPIUG}'83)$$

$$\begin{aligned} W_{\text{hisap}} &= C_2 \times \text{Tekanan angin} \\ &= -0,40 \times 30 \\ &= -12 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

### 3.3.2 Kombinasi Beban

Kombinasi Beban SNI 03-1729-2002

- a. 1,4 D
- b. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L<sub>a</sub> atau H)
- c. 1,2 D + 1,6 (L<sub>a</sub> atau H) + (γ<sub>L</sub> atau 0,8 W)
- d. 1,2 D + 1,3 W + γ<sub>L</sub> · L + 0,5 (L<sub>a</sub> atau H)
- e. 1,2 D ± 1,0 E + γ<sub>L</sub> · L



f.  $0,9 D \pm ( 1,3 W \text{ atau } 1,0 E )$

Beban yang ada pada perencanaan bangunan :

- 1) Beban Mati ( D )
- 2) Beban Hidup Atap (  $L_a$  )
- 3) Beban Angin Tekan Kiri (  $W_{kiri}$  )
- 4) Beban Angin Tekan Kanan (  $W_{kanan}$  )

Kombinasi Beban yang dipakai :

- i)  $1,4 D$
- ii)  $1,2 D + 0,5 L_a$
- iii)  $1,2 D + 1,6 L_a + 0,8 W_{kiri}$
- iv)  $1,2 D + 1,6 L_a + 0,8 W_{kanan}$
- v)  $1,2 D + 1,3 W_{kiri} + 0,5 L_a$
- vi)  $1,2 D + 1,3 W_{kanan} + 0,5 L_a$
- vii)  $0,9 D + 1,3 W_{kiri}$
- viii)  $0,9 D + 1,3 W_{kanan}$

### 3.4 Perencanaan Balok Castela

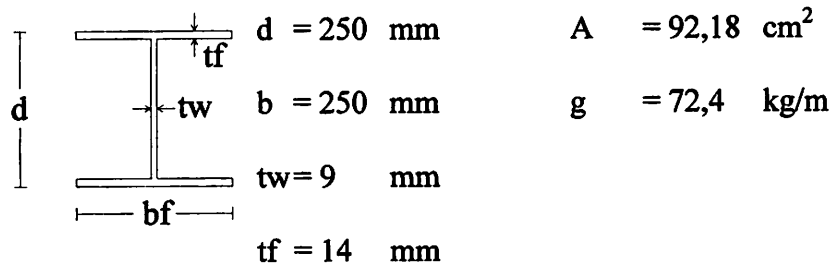
➤ Hasil Analisa Struktur :

$$M_u = 141,824 \text{ KNm} = 141,824 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 3593 \text{ Kg}$$

➤ Data Profil Balok ( Sebelum dipotong )

Dipakai profil WF 250.250.9.14



( Ir. Rudi Gunawan. Tabel Profil Konstruksi Baja )

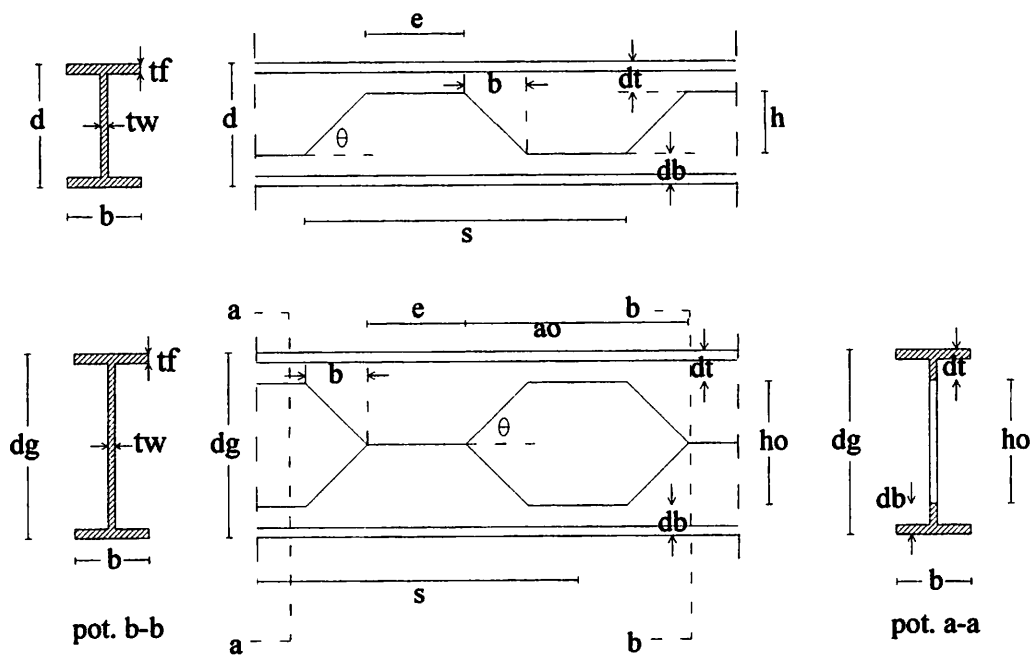
➤ Data Material :

Mutu Baja : BJ41 ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ )

( $f_u = 410 \text{ MPa}$ )

Modulus Elastisitas: 200000 MPa

➤ Modifikasi baja WF biasa ke dalam bentuk *Castellated Beam*



Gambar 3.14 Modifikasi *Castellated Beam*

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| $dg = 375 \text{ mm}$  | $dt = 62,5 \text{ mm}$ |
| $\theta = 63^\circ$    | $db = 62,5 \text{ mm}$ |
| $h = 125 \text{ mm}$   | $ao = 250 \text{ mm}$  |
| $h_o = 250 \text{ mm}$ | $e = 125 \text{ mm}$   |
| $bf = 250 \text{ mm}$  | $S = 375 \text{ mm}$   |

Syarat  $H_o$  : (ASCE 4.5 PAGE 3320)

$$h_o \leq 0,7 dg$$

$$250 \text{ mm} \leq 0,7 \times 375 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} \leq 262,5 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

Syarat dt dan db : (ASCE 4.6 PAGE 3320)

$$dt \text{ \& \; } db \geq 0,15 dg$$

$$62,5 \text{ mm} \geq 0,15 \times 375 \text{ mm}$$

$$62,5 \text{ mm} \geq 56,25 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

$I_x$  dan  $Z_x$  profil *castellated beam*

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{1}{12} \cdot tw \cdot dg^3 + \frac{1}{2} \cdot bf \cdot tf \cdot dg^2 - \frac{1}{24} \cdot tw \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot dg\right)^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 9 \cdot 375^3 + \frac{1}{2} \cdot 250 \cdot 14 \cdot 375^2 - \frac{1}{24} \cdot 9 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 375\right)^3 \\ &= 279785156,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_x &= \left(\frac{1}{4} \cdot bf \cdot dg^2\right) + 2 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot \left(\frac{bf - tw}{2}\right) \cdot (dg - 2tf)^2\right] \\ &= \left(\frac{1}{4} \cdot 250 \cdot 375^2\right) + 2 \cdot \left[\frac{1}{4} \cdot \left(\frac{250 - 9}{2}\right) \cdot (375 - 2 \cdot 14)^2\right] \\ &= 1534420,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



➤ **Kontrol Profil :**

**1. Kontrol Kekuatan Momen Lentur:**

**Tekuk Lokal ( penampang lubang )**

Sayap :

$$\frac{bf}{2 \cdot tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{250}{2.14} \leq \frac{170}{\sqrt{250}}$$

$$8,92 \leq 10,75$$

badan :

$$\frac{dt + db}{tw} \leq \frac{1365}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{62,5 + 62,5}{9} \leq \frac{1365}{\sqrt{250}}$$

$$13,87 \leq 83,8$$

Maka Penampang Kompak

#### **Kuat Beban Terfaktor:**

$$\begin{aligned} \Delta A_s &= h_o \cdot t_w \\ &= 250 \cdot 9 \\ &= 2250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot f_y \\ &= 1534420,25 \cdot 250 \\ &= 383605062,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_p - f_y \cdot \Delta A_s \cdot \left( \frac{h_o}{4} + e \right) \\ &= 383605062,5 - 250 \cdot 2250 \cdot \left( \frac{300}{4} + 0 \right) \\ &= 341,418 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Maksimal pada Daerah Tumpuan

$$\phi M_n \geq \text{Mu Tumpuan}$$

$$0,9 \cdot 341,418 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \geq 141,824 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$307,276 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \geq 141,824 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

Kontrol Momen Maksimal pada Daerah Lapangan

$$\phi M_n \geq \text{Mu Lapangan}$$

$$0,9 \cdot 341,418 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \geq 64,33 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$307,276 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \geq 64,33 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

## 2. Kontrol Kekuatan Geser

$$\longrightarrow \frac{dg - 2.tf}{tw} = \frac{375 - 2 \cdot 14}{9} = 38,56$$

$$\longrightarrow \frac{1365}{\sqrt{fy}} = \frac{1365}{\sqrt{250}} = 86,33$$

$$\longrightarrow \frac{1100}{\sqrt{fy}} = \frac{1100}{\sqrt{250}} = 68,57$$

$$\text{karena } \frac{dg - 2.tf}{tw} \leq \frac{1365}{\sqrt{fy}} \text{ dan } \frac{dg - 2.tf}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{fy}}$$

Maka plat badan leleh / plastis :

$$\frac{a_o}{h_o} \leq 3 \quad (\text{ASCE 4.2 page 3319})$$

$$\frac{250}{250} \leq 3$$

$$1 \leq 3 \quad \underline{\text{AMAN}}$$

**Kapasitas geser plastis balok tidak berlubang :**

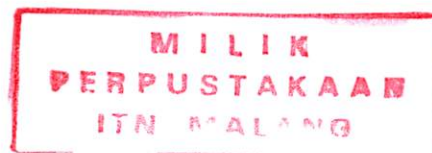
$$\begin{aligned}V_p &= \frac{f_y \cdot t_w \cdot d_g}{\sqrt{3}} \quad (\text{ASCE 4.2 page 3319}) \\&= \frac{2500 \cdot 0,9 \cdot 37,5}{\sqrt{3}} \\&= 48713,93 \text{ Kg} \\&= 487139,3 \text{ N}\end{aligned}$$

**Parameter Lubang :**

$$\begin{aligned}P_o &= \frac{a_o}{h_o} \times \frac{6 \cdot h_o}{d_g} \quad (\text{ASCE 4.2 page 3319}) \\&= 1 \cdot \frac{6,25}{37,5} \\&= 4 \leq 5,6 \quad \underline{\text{AMAN}}\end{aligned}$$

**Kapasitas geser plastis pada penampang T :**

$$\begin{aligned}V_{pt} &= \frac{f_y \cdot t_w \cdot d_t}{\sqrt{3}} \quad (\text{ASCE 4.2 page 3319}) \\&= \frac{2500 \cdot 0,9 \cdot 6,25}{\sqrt{3}} \\&= 8188,988 \text{ Kg} \\&= 81889,88 \text{ N}\end{aligned}$$



**Rasio panjang lubang dengan tinggi T :**

$$\mu = 0$$

$$v = \frac{ao}{dt} = \frac{25}{6,25} = 4$$

$$\longrightarrow = \frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} \quad (\text{ASCE 3.3a page 3379})$$

$$= \frac{\sqrt{6} + 0}{4 + \sqrt{3}} = 0,427 \leq 1 \quad \underline{\text{AMAN}}$$

**Kapasitas nominal geser penampang T :**

$$V_{mt} = \frac{\sqrt{6} + 0}{1,78 + \sqrt{3}} \times V_{pt} \quad (\text{ASCE 3.3a page 3379})$$

$$= 0,427 \times 8188,988$$

$$= 3496,698 \text{ Kg}$$

$$= 34966,98 \text{ N}$$

$$V_{mt} \leq V_{pt} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

**Kapasitas nominal geser maksimum penampang berlubang**

$$V_m = \sum V_{mt}$$

$$= 2 \times 34966,98$$

$$= 69933,96 \text{ N}$$

cek :

$$V_m \leq \frac{2}{3} v_p = \frac{2}{3} \cdot 487139,3 = 324759,5 \text{ N} \quad \underline{\text{AMAN}}$$



**Kuat Beban Terfaktor :**

$$\begin{aligned}\phi V_n &\geq V_u \\ 0,9 \cdot 69933,96 &\geq 35350 \text{ N} \\ 62940,56 \text{ N} &\geq 35350 \text{ N} \quad \underline{\text{AMAN}}\end{aligned}$$

**3. Pengaku Vertikal**

Syarat

*( Agus Setiawan, perencanaan struktur baja dengan metode LRFD. 2006. Hal 223)*

1.  $\frac{dg}{tw} \leq 260$

$$\frac{375}{9} \leq 260$$

$$41,67 < 260$$

2.  $V_u \leq C_v \cdot \phi \cdot V_n$

$$\frac{dg}{tw} = 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}}$$

$$\frac{375}{9} = 1,10 \sqrt{\frac{5.200000}{250}}$$

$$41,67 < 69,57$$

karena nilai  $\frac{dg}{tw} < 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}}$ , maka  $C_v = 1$

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq C_v \cdot \phi \cdot V_n \\
 35350 \text{ N} &\leq 1 \cdot 0,9 \cdot 69933,96 \\
 35350 \text{ N} &< 62940,56 \text{ N}
 \end{aligned}$$

karena syarat 1 dan 2 terpenuhi, maka tidak diperlukan pengaku vertikal.

#### 4. Iteraksi Lentur dan Geser

$$\begin{aligned}
 \left( \frac{M_u}{\phi M_n} \right)^3 + \left( \frac{V_u}{\phi V_n} \right)^3 &\leq 1 \\
 \left( \frac{129,211 \cdot 10^6}{307,276 \cdot 10^6} \right)^3 + \left( \frac{3535}{6294,056} \right)^3 &\leq 1 \\
 0,0744 + 0,177 &\leq 1 \\
 0,2514 &\leq 1 \quad \underline{\text{AMAN}}
 \end{aligned}$$

#### 5. Kontrol Jarak Antar Lubang

$$S = 375 \text{ mm}$$

$$S \geq h_o \quad (\text{ASCE 4.10 page 3320})$$

$$375 \geq 300 \quad \underline{\text{AMAN}}$$

$$S \geq a_o \left[ \frac{Vu/\phi Vp}{1 - Vu/\phi Vp} \right] \quad (\text{ASCE 4.10 page 3320})$$

$$\geq 250 \left[ \frac{3535/\phi 48713,93}{1 - (3535/\phi 48713,93)} \right]$$

$$\geq 21,925 \text{ mm}$$

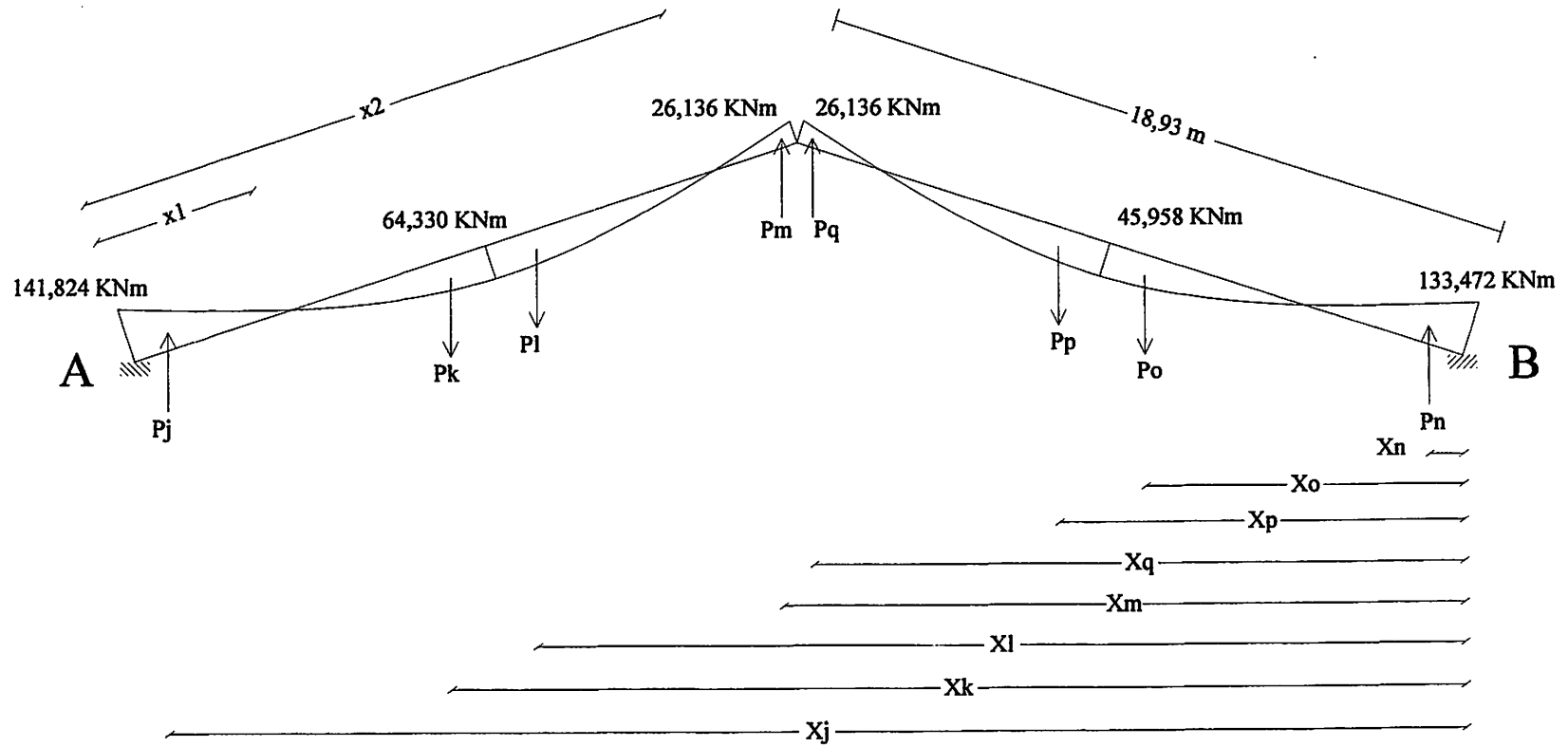
AMAN

## 6. Kontrol Lendutan

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

$$= \frac{1}{240} \cdot 36000$$

$$= 150 \text{ mm}$$



Gambar 3.15 Perhitungan gaya lendutan balok dengan metode Momen Area

x1 ( Momen=0 ) : ( menggunakan iteraksi )

$$5,216 \text{ m} \longrightarrow M = -0,48 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

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

$$5,305 \text{ m} \longrightarrow M = 0,548 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

$$\begin{aligned} x1 &= \left[ \left( \frac{0 - (-0,48)}{0,548 - (-0,48)} \right) (5,305 - 5,216) \right] + 5,216 \\ &= 5,258 \text{ m} \end{aligned}$$

x2 ( Momen=0 ) : ( menggunakan iteraksi )

$$17,672 \text{ m} \longrightarrow M = 1,364 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

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

$$17,763 \text{ m} \longrightarrow M = -0,421 \text{ KNm} \quad (\text{staad pro 2004})$$

$$\begin{aligned} x2 &= \left[ \left( \frac{0 - 1,364}{-0,421 - 1,364} \right) (17,763 - 17,672) \right] + 17,672 \\ &= 17,742 \text{ m} \end{aligned}$$

Luas Momen ( Beban )

$$Pj = 1/3 \cdot 141,824 \cdot 5,258 = 248,549 \text{ KNm}^2$$

$$Pk = 2/3 \cdot 64,330 \cdot (11,7 - 5,258) = 276,295 \text{ KNm}^2$$

$$Pl = 2/3 \cdot 64,330 \cdot (7,23 - 1,188) = 259,101 \text{ KNm}^2$$

$$Pm = 1/3 \cdot 26,136 \cdot (18,93 - 17,742) = 10,354 \text{ KNm}^2$$

$$Pn = 1/3 \cdot 133,472 \cdot 5,258 = 233,912 \text{ KNm}^2$$

$$Po = 2/3 \cdot 45,958 \cdot (11,7 - 5,258) = 197,338 \text{ KNm}^2$$

$$Pp = 2/3 \cdot 45,958 \cdot (7,23 - 1,188) = 185,105 \text{ KNm}^2$$

$$Pq = 1/3 \cdot 26,136 \cdot (18,93-17,742) = 10,354 \text{ KNm}^2$$

Jarak horisontal terhadap titik B

$$Xj = 18,93 - (1/4 \cdot 5,258) \times \cos(18) = 34,753 \text{ m}$$

$$Xk = (3/8 \cdot 6,442) + 7,23 \times \cos(18) = 27,174 \text{ m}$$

$$Xl = (5/8 \cdot 6,042) + 1,188 \times \cos(18) = 22,721 \text{ m}$$

$$Xm = (1/4 \cdot 1,188) \times \cos(18) = 18,283 \text{ m}$$

$$Xn = (3/4 \cdot 5,258) \times \cos(18) = 3,75 \text{ m}$$

$$Xo = (5/8 \cdot 6,442) + 5,258 \times \cos(18) = 8,83 \text{ m}$$

$$Xp = (3/8 \cdot 6,042) + 11,7 \times \cos(18) = 13,282 \text{ m}$$

$$Xq = (3/4 \cdot 1,188) + 17,742 \times \cos(18) = 17,721 \text{ m}$$

$$\sum Mb' = 0$$

$$(Ra' \cdot 36) + (Pj \cdot Xj) - (Pk \cdot Xk) - (Pl \cdot Xl) + (Pm \cdot Xm) + (Pn \cdot Xn)$$

$$- (Po \cdot Xo) - (Pp \cdot Xp) + (Pq \cdot Xq) = 0$$

$$36 Ra' = 7708,659 \text{ KNm}^3$$

$$Ra' = 214,129 \text{ KNm}^2$$

Jarak horisontal terhadap Momen Maksimal (pada tengah bentang = 18 m)

$$Xj' = 36 - 34,753 - 18 = 16,753 \text{ m}$$

$$Xk' = 36 - 27,174 - 18 = 9,174 \text{ m}$$

$$Xl' = 36 - 22,721 - 18 = 4,721 \text{ m}$$

$$Xm' = 36 - 18,283 - 18 = 0,283 \text{ m}$$

Momen Maksimal yang terjadi ditengah bentang

$$\begin{aligned}M_{\max}' &= (Ra' \cdot 18) + (Pj \cdot 16,753) - (Pk \cdot 9,174) - (Pl \cdot 4,721) + \\ &\quad (Pm \cdot 0,283) \\ &= 4623,299 \text{ KNm}^3 \\ &= 4623,299 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^3\end{aligned}$$

$$\delta_x = \frac{M_{\max}'}{E \cdot I_x} = \frac{4623,299 \cdot 10^{12}}{200000 \cdot 279785156,3} = 76,189 \text{ mm} \leq \delta_{ijin} = 150 \text{ mm}$$

AMAN

### 3.5 Perencanaan Kolom Komposit

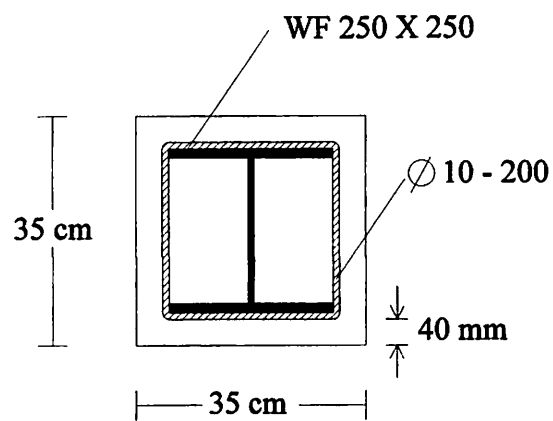
➤ Hasil Analisa Struktur :

$$N_u = 7929 \text{ Kg}$$

$$M_u = 135,134 \text{ KNm}$$

$$V_u = 3300 \text{ Kg}$$

➤ Data Profil kolom



Gambar 3.16 Perencanaan Kolom Komposit

Dimensi kolom komposit : 35cm x 35cm

Selimut Beton : 40 mm

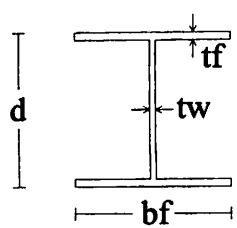
Tulangan Sengkang : Ø10 - 200

Panjang Kolom : 6 m

Pengubung Geser : Ø16



Profil WF dipakai WF 250.250.9.14

|   |      |                    |       |           |               |
|---|------|--------------------|-------|-----------|---------------|
|  | $bf$ | $= 250 \text{ mm}$ | $A$   | $= 92,18$ | $\text{cm}^2$ |
|   | $d$  | $= 250 \text{ mm}$ | $g$   | $= 72,4$  | $\text{kg/m}$ |
|   | $tw$ | $= 9 \text{ mm}$   | $I_x$ | $= 11500$ | $\text{cm}^4$ |
|   | $tf$ | $= 14 \text{ mm}$  |       |           |               |

( Ir. Rudi Gunawan. Tabel Profil Konstruksi Baja )

➤ **Data Material :**

Mutu Baja : BJ41 ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ )

( $f_u = 410 \text{ MPa}$ )

Kuat Tekan Beton : 25 MPa

E baja : 200000 MPa

E beton :  $4700\sqrt{f'_c} = 23500 \text{ MPa}$

Mutu Tul. sengkang: 240 MPa

➤ **Kontrol SNI 03-1729-2002 :**

**1. Kontrol Luas Minimum Baja**

$$\begin{aligned} \text{Luas Beton ( } A_c \text{ )} &= 350 \times 350 \\ &= 122500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas profil ( } A_s \text{ )} = 9218 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{9218}{122500} \cdot 100\% = 7,52\% > 4\% \quad \underline{\text{OK}}$$

## 2. Kontrol Jarak Sengkang, Luas Tulangan Longitudinal dan Lateral

### i) Jarak Sengkang / Pengikat Lateral

$$\text{Jarak sengkang} = 200\text{mm} < \frac{2}{3} \cdot 350 = 233,33\text{mm} \quad \underline{\text{OK}}$$

### ii) Luas Tulangan Lateral

Luas tulangan sengkang

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2$$

$$= 78,571 \text{ mm}^2 > 0,18 (250) = 45 \text{ mm}^2 \quad \underline{\text{OK}}$$

## 3. Kontrol Kuat Tekan Beton

$$\text{Kuat tekan beton rencana } (f'c) = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Syarat SNI} = 21 - 55 \text{ MPa} \quad \underline{\text{OK}}$$

## 4. Kontrol Tegangan Leleh Baja dan Tulangan Longitudinal

$$\text{Mutu Baja rencana} = 250 \text{ MPa} < 380 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu tul sengkang} = 240 \text{ MPa} < 380 \text{ MPa} \quad \underline{\text{OK}}$$

### ➤ Kontrol Profil : (SNI 03-1729-2002)

#### 1. Kontrol Kekuatan Tekan Kolom Komposit

Luas netto beton :

$$A_c = A_{\text{bruto}} - A_s$$

$$= 122500 - 9218$$

$$= 113282 \text{ mm}^2$$

Untuk Profil baja yang diselimuti beton, maka :

$$c_1 = 0,7 \quad ; \quad c_2 = 0,6 \quad ; \quad c_3 = 0,2$$

$$\begin{aligned} f_{my} &= f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \frac{A_r}{A_s} + c_2 \cdot f'c \cdot \frac{A_c}{A_s} \\ &= 240 + 0,7 \cdot 250 \cdot \frac{0}{9218} + 0,6 \cdot 25 \cdot \frac{113282}{9218} \\ &= 424,338 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Modulus Elastisitas Modifikasi :

$$\begin{aligned} E_m &= E + c_3 \cdot E_c \cdot \frac{A_c}{A_s} \\ &= 200000 + 0,2 \cdot 23500 \cdot \frac{113282}{9218} \\ &= 257759,3187 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jari – jari kolom komposit diambil terbesar dari nilai :

$$\longrightarrow 0,3 \cdot b = 0,3 \cdot 350 = 105 \text{ mm}$$

$$\longrightarrow r_y = 105 \text{ mm}$$

dipakai jari-jari girasi  $r_m = 105 \text{ mm}$

Faktor panjang efektif kolom untuk portal atap pelana :

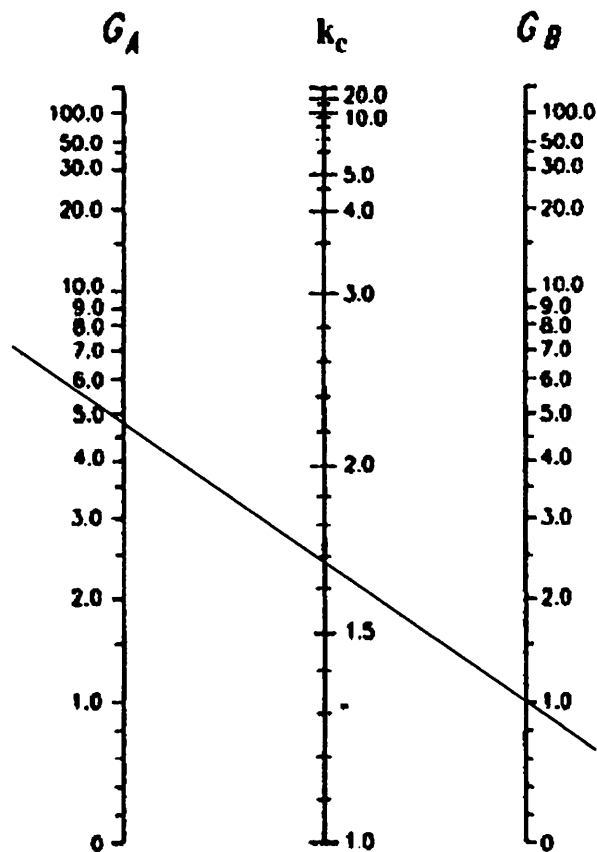
nilai G dilakukan pendekatan dengan rumus :

$$G_A = \frac{I_c/h \text{ (kolom)}}{I_g/2q \text{ (gelagar)}} \quad (\text{Charles G salmon, desain baja dan perilaku edisi kedua})$$

$$= \frac{20629,22347 / 600}{27978,516 / 2.1986}$$

$$= 4,88$$

$$G_B = 1 \text{ (tumpuan jepit)}$$



Komponen struktur bergoyang  
(b)

Gambar 3.17 Nomogram nilai k

dari grafik didapat nilai  $k = 1,7$

maka:

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{k.L}{r_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \\ &= \frac{1,7 \cdot 6000}{105 \cdot \pi} \sqrt{\frac{424,338}{257759,3187}} \\ &= 1,2546\end{aligned}$$

karena  $\lambda_c \geq 1,2$  maka :

$$\begin{aligned}\omega &= 1,25 \cdot \lambda_c^2 \\ &= 1,25 \cdot 1,2546^2 \\ &= 1,968\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{cr} &= \frac{f_{my}}{\omega} \\ &= \frac{424,338}{1,968} \\ &= 215,619 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset N_n &\geq N_u \\ \emptyset \cdot A_s \cdot f_{cr} &\geq 7929 \text{ Kg} \\ 0,85 \cdot 9218 \cdot 215,619 &\geq 7929 \text{ Kg} \\ 1689439 \text{ Kg} &\geq 7929 \text{ Kg} \quad \underline{\text{AMAN}}\end{aligned}$$

## 2. Penghubung Geser

$$\text{Penghubung Geser} = \text{Ø16}$$

$$\text{Mutu Baja} = 250 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Beton} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat Jenis Beton} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

### Luas Penampang Penghubung Geser

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \\ &= 201,142 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### Modulus Elastisitas Beton

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{25} \\ &= 23500 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

### Kuat Geser 1 buah Stud

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \\ &= 0,5 \cdot 201,142 \cdot \sqrt{25 \cdot 23500} \\ &= 77086,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya Geser Horizontal yang Terjadi :

$$\begin{aligned}V_h &= A_s \cdot f_y \\ &= 9218 \cdot 250 \\ &= 2304500 \text{ N}\end{aligned}$$

Jumlah Penghubung Geser yang Diperlukan :

$$N = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{2304500}{77086,2} = 29,8 = 30 \text{ buah}$$

Penghubung Geser 30 buah untuk  $\frac{1}{2}$  bentang ( 300 cm ) dan 2 sisi.

Tiap sisi terdapat 15 buah.

Dipasang 2 penghubung geser setiap baris.

$$\text{jarak antar penghubung geser} = \frac{300}{8} = 37,5 \text{ cm}$$

Jadi dipakai Penghubung Geser  $\emptyset 16 - 37,5 \text{ cm}$

### 3. Iteraksi Aksial dan Momen Kolom

$$N_u = 7929 \text{ Kg}$$

$$M_u = 135,134 \text{ KNm}$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} = \frac{7929}{1689439} = 0,0047 < 1,0$$

sehingga :

$$\frac{Nu}{\phi Nn} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi \cdot M_{ny}} \right)$$

$$\begin{aligned} M_{nx} &= Z_x \cdot f_y \\ &= 867000 \cdot 250 \\ &= 216,75 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\frac{7929}{1689439} + \frac{8}{9} \left( \frac{135,134 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 216,75 \cdot 10^6} + \frac{0}{\phi \cdot M_{ny}} \right) < 1,0$$

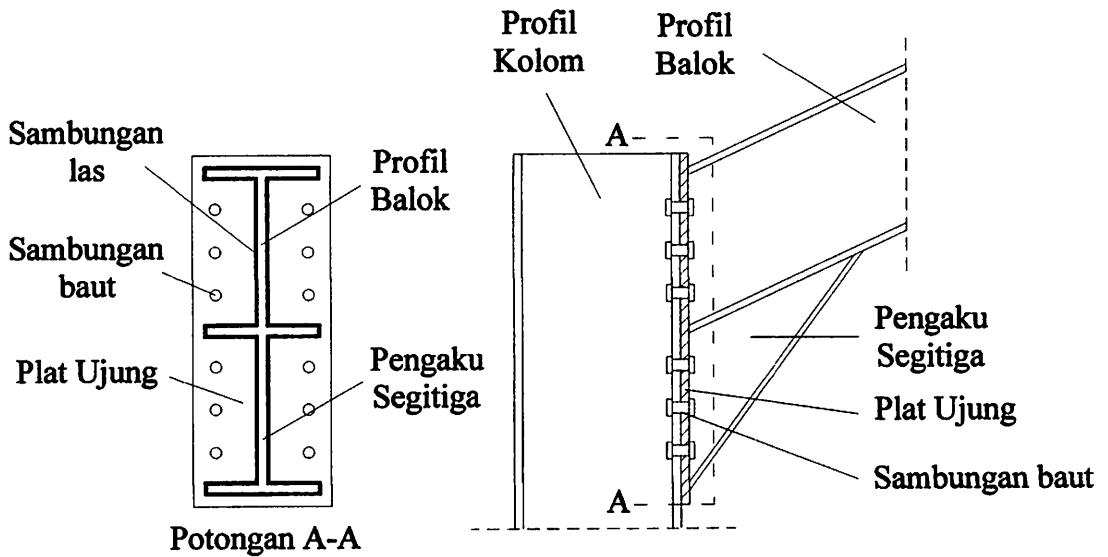
$$0,62 < 1,0$$





### 3.6 Perencanaan Sambungan Balok – Kolom

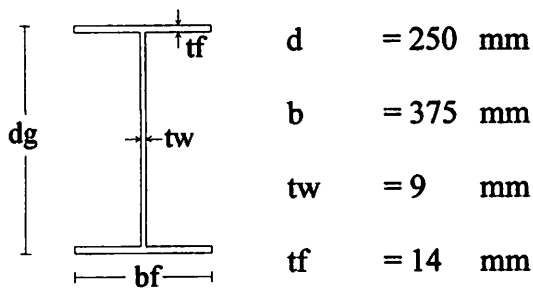
Menggunakan sambungan momen plat ujung ( End-plate moment connection )



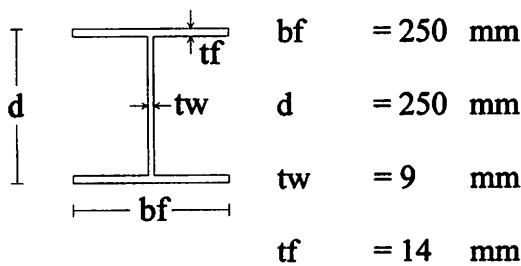
Gambar 2.10 Sambungan Balok-Kolom

#### ➤ Data Profil

Profil balok *castella* 375.250.9.14



Profil kolom WF 250.250.9.14



➤ **Data Material**

Mutu Baja : BJ41 (  $f_y = 250 \text{ MPa}$  )

Tipe baut : A325 (  $f_u^b = 825 \text{ MPa}$  )

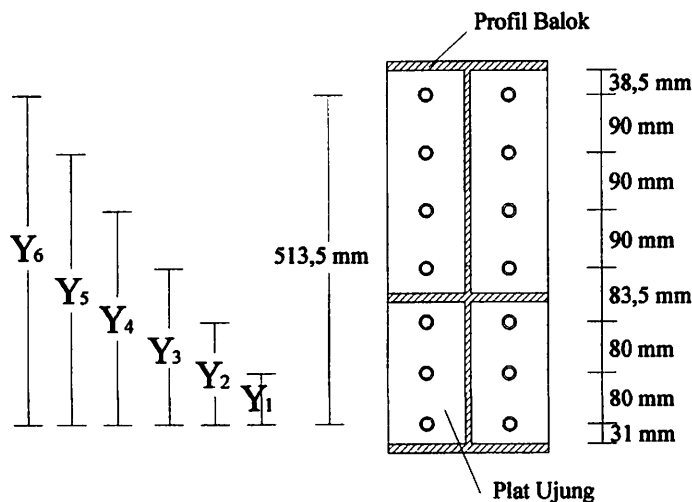
➤ **Kapasitas Momen dan Geser Penampang**

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \cdot M_p - f_y \cdot \Delta A_s \cdot \left( \frac{h_o}{4} + e \right) \\ &= 307,276 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 250 \cdot ( 375 - 2 \cdot 14 ) \\ &= 46845 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ **Perencanaan sambungan baut**

direncanakan menggunakan 14 baut A324 Ø 5/8" ( 16 mm ) sebagai berikut :



**Gambar 3.18 Perencanaan Baut Sambungan Balok-Kolom**

### Kontrol jarak antar baut

jarak baut ke tepi

$$1,5 \text{ db} < \text{jarak baut tepi} < 3 \text{ db}$$

$$1,5 (16) < 31 \text{ mm} < 3 (16)$$

$$24 \text{ mm} < 31 \text{ mm} < 48 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

jarak antar baut

$$3 \text{ db} < \text{jarak antar baut} < 7 \text{ db}$$

$$3 (16) < 90 \text{ mm} < 7 (16)$$

$$48 \text{ mm} < 90 \text{ mm} < 112 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

### Kombinasi Geser dan tarik

- Kontrol gaya geser :

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \\ &= 201,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

( agus setiawan, *Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD. 2006* )

$$f_{uv} \leq 0,5 \cdot \phi \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$\frac{V_n}{n} \leq 0,5 \cdot \phi \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$\frac{46845}{14} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 825 \cdot 1 \cdot 201,062$$

$$3346,072 \text{ N} \leq 62228 \text{ N} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

• **Kontrol gaya tarik :**

$$\begin{aligned}\Sigma y^2 &= 2 ( y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2 + y_6^2 ) \\ &= 2 ( 80^2 + 160^2 + 243,5^2 + 333,5^2 + 423,5^2 + 513,5^2 ) \\ &= 1291098 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Gaya tarik baut teratas :

$$\begin{aligned}T_u &= \frac{Mn.(jarak.baut.teratas)}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{307,276.10^6.513,5}{1291098} \\ &= 122210,883 \text{ N}\end{aligned}$$

nilai  $\phi f_t$  untuk baut A325 dengan ulir :

( *agus setiawan, Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD. 2006* )

$$\phi . ( 807 - 1,9 f_{uv} ) < \phi 621$$

$$0,75 ( 807 - 1,9 \cdot \frac{3346,072}{201,062} ) < 0,75 \cdot 621$$

$$782 \text{ MPa} > 465,75 \text{ MPa}$$

dpakai nilai  $\phi f_t = 465,75 \text{ MPa}$

$$\frac{T_u}{n_{atas} \cdot A_b} \leq \phi f_t$$

$$\frac{122210,883}{2.201,062} \leq 465,75 \text{ MPa}$$

$$303,9 \text{ MPa} \leq 465,75 \text{ MPa} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

➤ **Perencanaan plat ujung**

dicoba plat dengan lebar 250 mm dan tinggi 620 mm.

tebal plat diperlukan dengan *prying action force*  $Q = 0$ , maka jarak  $b'$  ( jarak antara pusat baut teratas dengan plat ujung teratas ) menjadi:

$$\begin{aligned} b' &= 38,5 + t_f \\ &= 38,5 + 14 \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

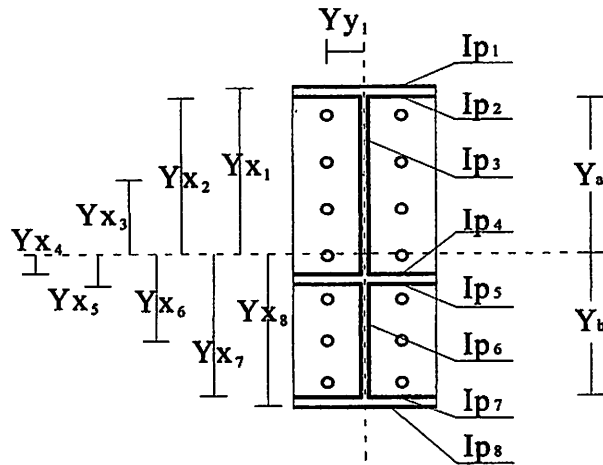
$$\begin{aligned} t_p &= \sqrt{\frac{4,44.T_u.b'}{w.f_y.(1+\alpha\delta)}} \\ &= \sqrt{\frac{4,44.122210,883.52,5}{250.250.(1+0)}} \\ &= 21,35 \text{ mm} \\ &= 3 \text{ cm} \end{aligned}$$

➤ **Perencanaan sambungan las**

**Data Perencanaan Las Sudut**

Tipe Las = Elektroda 70

Kuat tarik las ( $f_{uw}$ ) = 485 MPa



$$Y_a = 319 \text{ mm}$$

$$Y_b = 292 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y_{x_1} &= y_a \\ &= 319 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{x_2} &= y_a - t_f \\ &= 319 - 14 \\ &= 305 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{x_3} &= y_a - \frac{dg}{2} \\ &= 319 - \frac{375}{2} \\ &= 131,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_4} &= y_b - dg' \\
 &= 292 - 250 \\
 &= 42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_5} &= y_b - dg' + tf \\
 &= 292 - 250 + 14 \\
 &= 56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_6} &= y_b - \frac{dg'}{2} \\
 &= 292 - \frac{250}{2} \\
 &= 167 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_7} &= y_b - tf \\
 &= 292 - 14 \\
 &= 278 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_1} &= y_b \\
 &= 292 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Y_{y_1} = \left( \frac{b - tw}{2} : 2 \right) + \frac{1}{2} tw$$

$$= \left( \frac{250-9}{2} : 2 \right) + \frac{1}{2} \cdot 9$$

$$= 64,75 \text{ mm}$$

$$Y_{y_2} = \frac{1}{2} \cdot tw$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 9$$

$$= 4,5 \text{ mm}$$

### **Momen Inersia Las**

$$I_{p_1} = I_{x_1} + I_{y_1}$$

$$= b \cdot Y_{x_1}^2 + \frac{1}{12} \cdot b^3$$

$$= 250 \cdot 319^2 + \frac{1}{12} \cdot 250^3$$

$$= 26.742.333,33 \text{ mm}^3$$

$$I_{p_2} = 2(I_{x_2} + I_{y_2})$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{b-tw}{2} \cdot Y_{x_2}^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{b-tw^3}{2} \right) + \left( \frac{b-tw}{2} \cdot Y_{y_1}^2 \right) \right]$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{250-9}{2} \cdot 305^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{250-9^3}{2} \right) + \left( \frac{250-9}{2} \cdot 64,75^2 \right) \right]$$

$$= 23.721.047,58 \text{ mm}^3$$



$$\begin{aligned}
I_{p3} &= 2(I_{x_3} + I_{y_3}) \\
&= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (dg - 2tf)^3 \right) + \left( (dg - 2tf) \cdot Yx_3^2 \right) + \left( (dg - 2tf) \cdot Yy_2^2 \right) \right] \\
&= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (375 - 2 \cdot 14)^3 \right) + \left( (375 - 2 \cdot 14) \cdot 131,5^2 \right) + \left( (375 - 2 \cdot 14) \cdot 4,5^2 \right) \right] \\
&= 18.978.528,83 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{p4} &= 2(I_{x_4} + I_{y_4}) \\
&= 2 \left[ \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Yx_4^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{b - tw^3}{2} \right) + \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Yy_1^2 \right) \right] \\
&= 2 \left[ \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 42^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{250 - 9^3}{2} \right) + \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 64,75^2 \right) \right] \\
&= 1.727.146,58 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{p5} &= 2(I_{x_5} + I_{y_5}) \\
&= 2 \left[ \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Yx_5^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{b - tw^3}{2} \right) + \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Yy_1^2 \right) \right] \\
&= 2 \left[ \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 56^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{250 - 9^3}{2} \right) + \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 64,75^2 \right) \right] \\
&= 2.057.798,58 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{p6} &= 2(I_{x_6} + I_{y_6}) \\
&= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (dg - 2tf)^3 \right) + ((dg - 2tf) \cdot Yx_6^2) + ((dg - 2tf) \cdot Yy_2^2) \right] \\
&= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (375 - 2.14)^3 \right) + ((375 - 2.14) \cdot 167^2) + ((375 - 2.14) \cdot 4,5^2) \right] \\
&= 9.510.258 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{p7} &= 2(I_{x_7} + I_{y_7}) \\
&= 2 \left[ \left( \frac{b-tw}{2} \cdot Yx_7^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{b-tw^3}{2} \right) + \left( \frac{b-tw}{2} \cdot Yy_1^2 \right) \right] \\
&= 2 \left[ \left( \frac{250-9}{2} \cdot 278^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{250-9^3}{2} \right) + \left( \frac{250-9}{2} \cdot 64,75^2 \right) \right] \\
&= 19.927.466,58 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{p8} &= I_{x_8} + I_{y_8} \\
&= b \cdot Yx_8^2 + \frac{1}{12} \cdot b^3 \\
&= 250 \cdot 292^2 + \frac{1}{12} \cdot 250^3 \\
&= 22.618.083,33 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_p &= I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} + I_{p4} + I_{p5} + I_{p6} + I_{p7} + I_{p8} \\
&= 26.742.333,33 + 23.721.047,58 + 18.978.528,83 + 1.727.146,58 + \\
&\quad 2.057.798,58 + 9.510.258 + 19.927.466,58 + 22.618.083,33 \\
&= 121.303.452,58 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

### **Panjang Las**

$$\begin{aligned}
L_w &= 2b + 2(b - tw) + 2(dg - 2tf) + 2(b - tw) + 2(dg' - 2tf) \\
&= 2(250) + 2(250 - 9) + 2(375 - 2.14) + 2(250 - 9) + 2(250 - 2.14) \\
&= 2602 \text{ mm}
\end{aligned}$$

### **Gaya Geser Pada Las**

$$\begin{aligned}
R_v &= \frac{V_n}{A_w} \\
&= \frac{46845}{2602} \\
&= 18,003 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

### **Gaya Akibat Torsi Pada Las**

Pada serat atas

$$\begin{aligned}
R_t &= \frac{M_u \cdot y_a}{I_{las}} \\
&= \frac{307,276 \cdot 10^6 \cdot 319}{121303452,58} \\
&= 782,339 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

Pada serat bawah

$$\begin{aligned} R_t &= \frac{Mu.yb}{I_{las}} \\ &= \frac{307,276.10^6.292}{121303452,58} \\ &= 716,177 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Resultan Torsi :

$$\begin{aligned} R_h &= \sqrt{782,339^2 + 716,177^2} \\ &= 1060,688 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

**Resultan Gaya yang Terjadi pada Las**

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_v^2 + R_h^2} \\ &= \sqrt{18,003^2 + 1060,688^2} \\ &= 1060,840 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

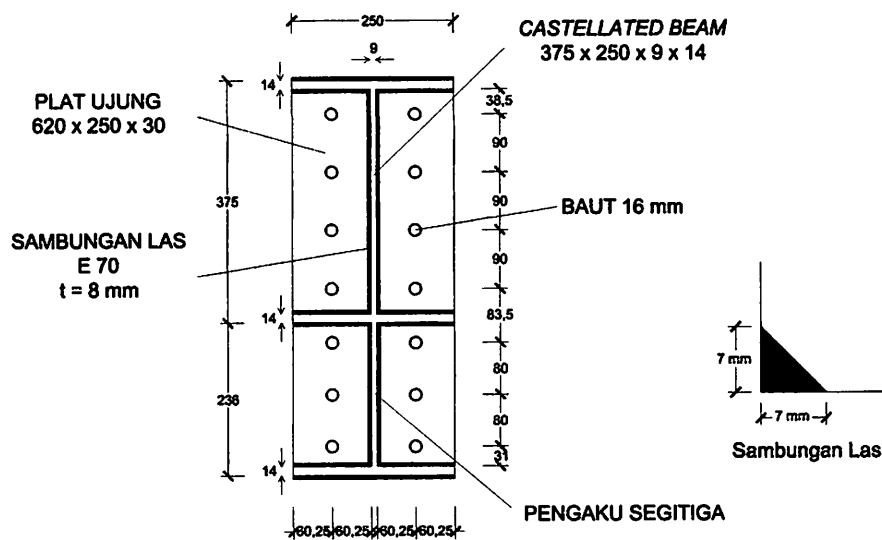
**Kekuatan TahananLas**

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \cdot t_e \cdot 0,6 f_{uw} \\ &= 0,75 \cdot 0,707a \cdot 0,6 \cdot 485 \\ &= 154,3a \text{ N} \end{aligned}$$

### Tebal Sambungan Las

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{R}{\phi \cdot R_{nw}} \\
 &= \frac{1060,840}{154,3} \\
 &= 6,875 \text{ mm} \\
 &= 7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

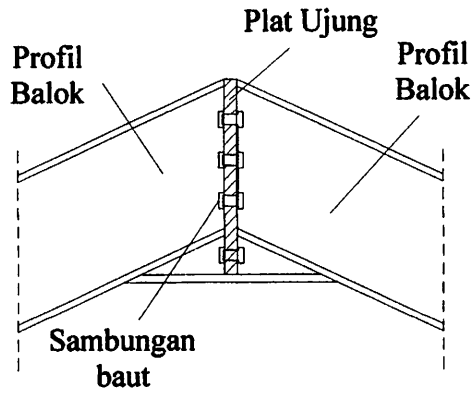
Jadi, dipakai las E 70 ( $f_u_w = 485 \text{ Mpa}$ ) dengan tebal 7 mm



Gambar 3.19 Sambungan Balok-Kolom yang digunakan

### 3.7 Perencanaan Sambungan Balok Ujung – Balok Ujung

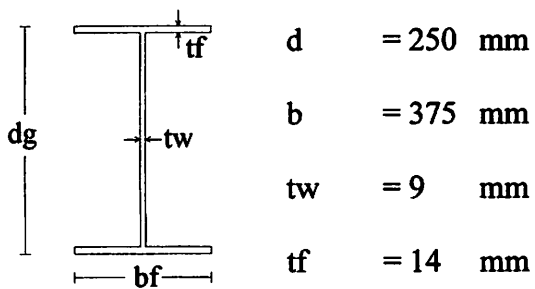
Menggunakan sambungan momen plat ujung ( End-plate moment connection )



Gambar 2.18 Sambungan BalokUjung – Balok Ujung

#### ➤ Data Profil

Profil balok *castella* 375.250.9.14



➤ **Data Material**

Mutu Baja : BJ41 ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ )

Tipe baut : A325 ( $f_u^b = 825 \text{ MPa}$ )

➤ **Kapasitas Momen dan Geser Penampang**

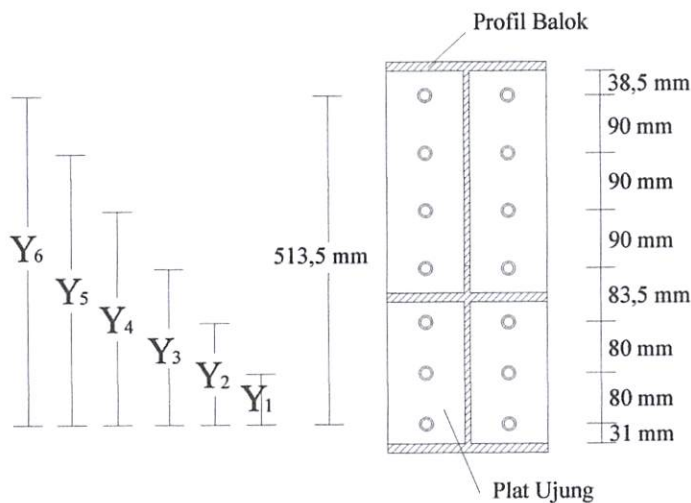
$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \cdot M_p - f_y \cdot \Delta A_s \cdot \left( \frac{h_o}{4} + e \right) \\ &= 307,276 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 250 \cdot (375 - 2 \cdot 14) \\ &= 46845 \text{ N} \end{aligned}$$



➤ **Perencanaan sambungan baut**

direncanakan menggunakan 14 baut A324  $\text{\O} 5/8''$  ( 16 mm ) sebagai berikut :



**Gambar 3.20** Perencanaan Baut Sambungan Balok Ujung-Balok Ujung

### Kontrol jarak antar baut

jarak baut ke tepi

$$1,5 \text{ db} < \text{jarak baut tepi} < 3 \text{ db}$$

$$1,5 (16) < 31 \text{ mm} < 3 (16)$$

$$24 \text{ mm} < 31 \text{ mm} < 48 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

jarak antar baut

$$3 \text{ db} < \text{jarak antar baut} < 7 \text{ db}$$

$$3 (16) < 90 \text{ mm} < 7 (16)$$

$$48 \text{ mm} < 90 \text{ mm} < 112 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

### Kombinasi Geser dan tarik

- Kontrol gaya geser :

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \\ &= 201,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

( agus setiawan, Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD. 2006 )

$$f_{uv} \leq 0,5 \cdot \phi \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$\frac{Vn}{n} \leq 0,5 \cdot \phi \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$\frac{46845}{14} \leq 0,5 \cdot 0,75 \cdot 825 \cdot 1 \cdot 201,062$$

$$3346,072 \text{ N} \leq 62228 \text{ N} \quad \underline{\text{AMAN}}$$



• **Kontrol gaya tarik :**

$$\begin{aligned}\Sigma y^2 &= 2 ( y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2 + y_6^2 ) \\ &= 2 ( 80^2 + 160^2 + 243,5^2 + 333,5^2 + 423,5^2 + 513,5^2 ) \\ &= 1291098 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Gaya tarik baut teratas :

$$\begin{aligned}T_u &= \frac{Mn.(jarak.baut.teratas)}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{307,276.10^6.513,5}{1291098} \\ &= 122210,883 \text{ N}\end{aligned}$$

nilai  $\phi f_t$  untuk baut A325 dengan ulir :

( *agus setiawan, Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD. 2006* )

$$\phi . ( 807 - 1,9 f_{uv} ) < \phi 621$$

$$0,75 ( 807 - 1,9 \cdot \frac{3346,072}{201,062} ) < 0,75 \cdot 621$$

$$782 \text{ MPa} > 465,75 \text{ MPa}$$

dpakai nilai  $\phi f_t = 465,75 \text{ MPa}$

$$\frac{T_u}{n_{atas} \cdot A_b} \leq \phi f_t$$

$$\frac{122210,883}{2.201,062} \leq 465,75 \text{ MPa}$$

$$303,9 \text{ MPa} \leq 465,75 \text{ MPa} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

➤ **Perencanaan plat ujung**

dicoba plat dengan lebar 250 mm dan tinggi 620 mm.

tebal plat diperlukan dengan *prying action force*  $Q = 0$ , maka jarak  $b'$  ( jarak antara pusat baut teratas dengan plat ujung teratas ) menjadi:

$$\begin{aligned} b' &= 38,5 + t_f \\ &= 38,5 + 14 \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

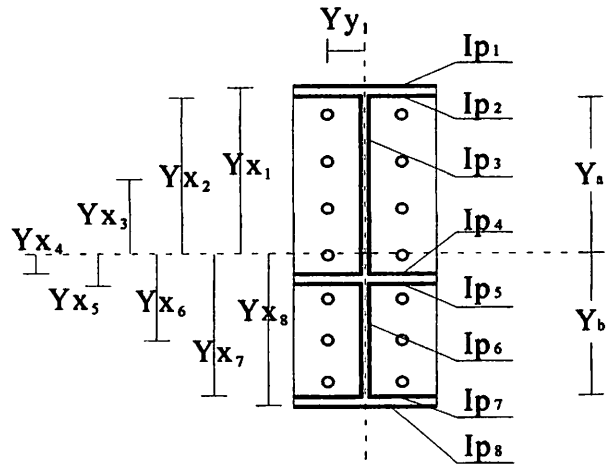
$$\begin{aligned} t_p &= \sqrt{\frac{4,44.T_u.b'}{w.f_y.(1+\alpha\delta)}} \\ &= \sqrt{\frac{4,44.122210,883.52,5}{250.250.(1+0)}} \\ &= 21,35 \text{ mm} \\ &= 3 \text{ cm} \end{aligned}$$

➤ **Perencanaan sambungan las**

**Data Perencanaan Las Sudut**

Tipe Las = Elektroda 70

Kuat tarik las ( $f_{uw}$ ) = 485 MPa



**Gambar 3.21** Perencanaan Las Sambungan Balok Ujung-Balok Ujung

$$Y_a = 319 \text{ mm}$$

$$Y_b = 292 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y_{X_1} &= y_a \\ &= 319 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{X_2} &= y_a - tf \\ &= 319 - 14 \\ &= 305 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{X_3} &= y_a - \frac{dg}{2} \\ &= 319 - \frac{375}{2} \\ &= 131,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_4} &= y_b - dg' \\
 &= 292 - 250 \\
 &= 42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_5} &= y_b - dg' + tf \\
 &= 292 - 250 + 14 \\
 &= 56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_6} &= y_b - \frac{dg'}{2} \\
 &= 292 - \frac{250}{2} \\
 &= 167 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_7} &= y_b - tf \\
 &= 292 - 14 \\
 &= 278 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_1} &= y_b \\
 &= 292 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Y_{y_1} = \left( \frac{b - tw}{2} : 2 \right) + \frac{1}{2} tw$$

$$= \left( \frac{250-9}{2} : 2 \right) + \frac{1}{2} \cdot 9$$

$$= 64,75 \text{ mm}$$

$$Y_{y_2} = \frac{1}{2} \cdot tw$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 9$$

$$= 4,5 \text{ mm}$$

### **Momen Inersia Las**

$$I_{p_1} = I_{x_1} + I_{y_1}$$

$$= b \cdot Y_{x_1}^2 + \frac{1}{12} \cdot b^3$$

$$= 250 \cdot 319^2 + \frac{1}{12} \cdot 250^3$$

$$= 26.742.333,33 \text{ mm}^3$$

$$I_{p_2} = 2(I_{x_2} + I_{y_2})$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{b-tw}{2} \cdot Y_{x_2}^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{b-tw^3}{2} \right) + \left( \frac{b-tw}{2} \cdot Y_{y_1}^2 \right) \right]$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{250-9}{2} \cdot 305^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{250-9^3}{2} \right) + \left( \frac{250-9}{2} \cdot 64,75^2 \right) \right]$$

$$= 23.721.047,58 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned}
I_{p3} &= 2(I_{x_3} + I_{y_3}) \\
&= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (dg - 2tf)^3 \right) + ((dg - 2tf) \cdot Yx_3^2) + ((dg - 2tf) \cdot Yy_2^2) \right] \\
&= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (375 - 2.14)^3 \right) + ((375 - 2.14) \cdot 131,5^2) + ((375 - 2.14) \cdot 4,5^2) \right] \\
&= 18.978.528,83 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{p4} &= 2(I_{x_4} + I_{y_4}) \\
&= 2 \left[ \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Yx_4^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{b - tw^3}{2} \right) + \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Yy_1^2 \right) \right] \\
&= 2 \left[ \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 42^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{250 - 9^3}{2} \right) + \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 64,75^2 \right) \right] \\
&= 1.727.146,58 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{p5} &= 2(I_{x_5} + I_{y_5}) \\
&= 2 \left[ \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Yx_5^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{b - tw^3}{2} \right) + \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Yy_1^2 \right) \right] \\
&= 2 \left[ \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 56^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{250 - 9^3}{2} \right) + \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 64,75^2 \right) \right] \\
&= 2.057.798,58 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{p_6} &= 2(I_{x_6} + I_{y_6}) \\
 &= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (dg - 2tf)^3 \right) + ((dg - 2tf) \cdot Y_{x_6}^2) + ((dg - 2tf) \cdot Y_{y_2}^2) \right] \\
 &= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (375 - 2 \cdot 14)^3 \right) + ((375 - 2 \cdot 14) \cdot 167^2) + ((375 - 2 \cdot 14) \cdot 4,5^2) \right] \\
 &= 9.510.258 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{p_7} &= 2(I_{x_7} + I_{y_7}) \\
 &= 2 \left[ \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Y_{x_7}^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{b - tw^3}{2} \right) + \left( \frac{b - tw}{2} \cdot Y_{y_1}^2 \right) \right] \\
 &= 2 \left[ \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 278^2 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{250 - 9^3}{2} \right) + \left( \frac{250 - 9}{2} \cdot 64,75^2 \right) \right] \\
 &= 19.927.466,58 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{p_8} &= I_{x_8} + I_{y_8} \\
 &= b \cdot Y_{x_8}^2 + \frac{1}{12} \cdot b^3 \\
 &= 250 \cdot 292^2 + \frac{1}{12} \cdot 250^3 \\
 &= 22.618.083,33 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
I_p &= I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} + I_{p4} + I_{p5} + I_{p6} + I_{p7} + I_{p8} \\
&= 26.742.333,33 + 23.721.047,58 + 18.978.528,83 + 1.727.146,58 + \\
&\quad 2.057.798,58 + 9.510.258 + 19.927.466,58 + 22.618.083,33 \\
&= 121.303.452,58 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

### **Panjang Las**

$$\begin{aligned}
L_w &= 2b + 2(b - tw) + 2(dg - 2tf) + 2(b - tw) + 2(dg' - 2tf) \\
&= 2(250) + 2(250 - 9) + 2(375 - 2.14) + 2(250 - 9) + 2(250 - 2.14) \\
&= 2602 \text{ mm}
\end{aligned}$$

### **Gaya Geser Pada Las**

$$\begin{aligned}
R_v &= \frac{Vn}{A_w} \\
&= \frac{46845}{2602} \\
&= 18,003 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

### **Gaya Akibat Torsi Pada Las**

Pada serat atas

$$\begin{aligned}
R_t &= \frac{M_u \cdot y_a}{I_{las}} \\
&= \frac{307,276 \cdot 10^6 \cdot 319}{121303452,58} \\
&= 782,339 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$



Pada serat bawah

$$\begin{aligned} R_t &= \frac{Mu.yb}{I_{las}} \\ &= \frac{307,276.10^6.292}{121303452,58} \\ &= 716,177 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Resultan Torsi :

$$\begin{aligned} R_h &= \sqrt{782,339^2 + 716,177^2} \\ &= 1060,688 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

**Resultan Gaya yang Terjadi pada Las**

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_v^2 + R_h^2} \\ &= \sqrt{18,003^2 + 1060,688^2} \\ &= 1060,840 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

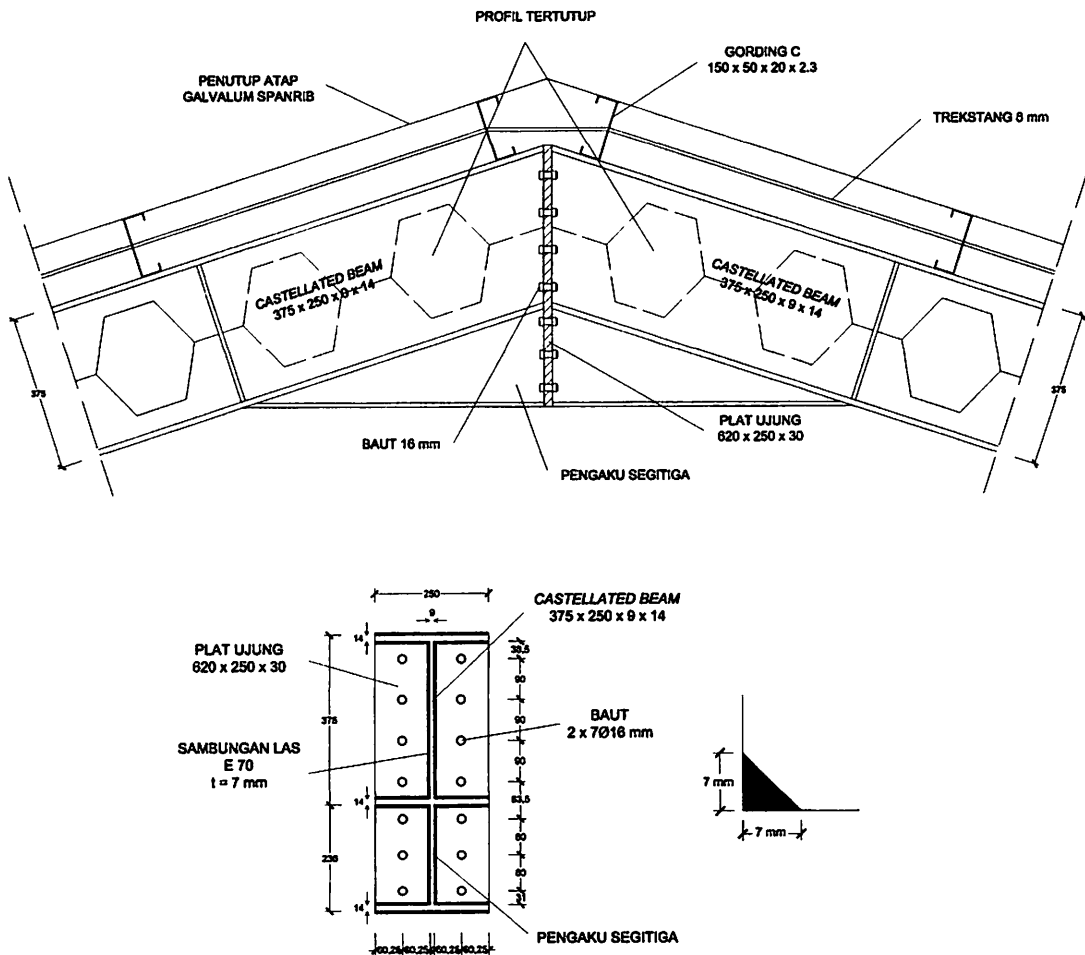
**Kekuatan TahananLas**

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \cdot t_e \cdot 0,6 f_{uw} \\ &= 0,75 \cdot 0,707a \cdot 0,6 \cdot 485 \\ &= 154,3a \text{ N} \end{aligned}$$

### Tebal Sambungan Las

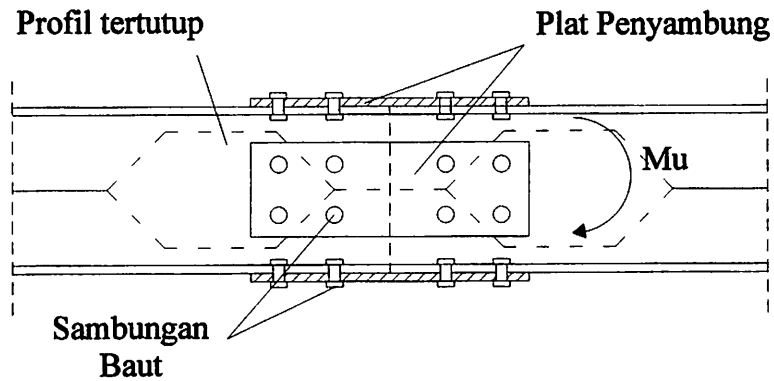
$$\begin{aligned}
 a &= \frac{R}{\phi \cdot R_{nw}} \\
 &= \frac{1060,840}{154,3} \\
 &= 6,875 \text{ mm} \\
 &= 7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi, dipakai las E 70 ( $f_{u_w} = 485 \text{ Mpa}$ ) dengan tebal 7 mm



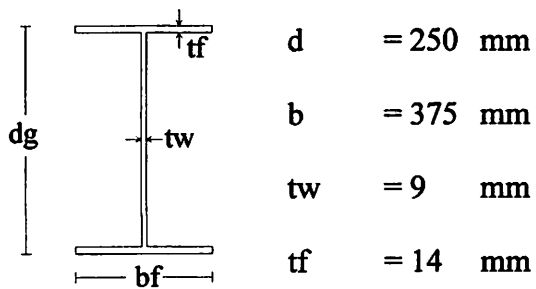
Gambar 3.22 Sambungan Balok Ujung-Balok Ujung yang digunakan

### 3.8 Perencanaan Sambungan Balok – Balok ( Spliced Beam )



#### ➤ Data Profil

Profil balok *castella* 375.250.9.14



#### ➤ Data Material

Mutu Baja : BJ41 (  $f_y = 250$  MPa )

(  $f_u = 410$  Mpa )

Tipe baut : A325 (  $f_u^b = 825$  MPa )

Tebal Plat Penyambung Sayap : 15 mm

Tebal Plat Penyambung Badan : 10 mm

➤ **Kapasitas Momen dan Geser Penampang**

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \cdot M_p - f_y \cdot \Delta A_s \cdot \left( \frac{h_o}{4} + e \right) \\ &= 307,276 \cdot 10^6 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 250 \cdot (375 - 2 \cdot 14) \\ &= 46845 \text{ N}\end{aligned}$$

➤ **Perencanaan spliced beam**

• **Sambungan Baut pada Sayap Balok**

**Luas Penampang Baut**

$$\begin{aligned}A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \\ &= 201,143 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

**Kuat Geser Baut :**

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot m \cdot 0,5 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 825 \cdot 201,143 \\ &= 62228 \text{ N}\end{aligned}$$

**Kuat Tumpu Baut:**

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 16 \cdot 15 \cdot 410\end{aligned}$$

$$= 177120 \text{ N}$$

Nilai  $\phi R_n$  diambil yang terkecil dari kuat geser baut dan kuat tumpu baut

$$\phi R_n = 62228 \text{ N}$$

**Gaya Tarik yang terjadi pada sayap :**

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{M_n}{d} \\ &= \frac{307,276 \cdot 10^6}{375} \\ &= 819402 \text{ N} \end{aligned}$$

**Jumlah baut yang dipakai :**

$$\begin{aligned} n &= \frac{T_n}{\phi R_n} \\ &= \frac{819402}{62228} \\ &= 13,17 \text{ buah} = 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jadi diperlukan 14 baut pada setiap sisi sayap balok.

- **Sambungan Baut pada Badan Balok**

**Luas Penampang Baut**

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \\ &= 201,143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**Kuat Geser Baut :**

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot m \cdot 0,5 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 825 \cdot 201,143 \\ &= 124457 \text{ N}\end{aligned}$$

**Kuat Tumpu Baut:**

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 410 \\ &= 118080 \text{ N}\end{aligned}$$

Nilai  $\phi R_n$  diambil yang terkecil dari kuat geser baut dan kuat tumpu baut

$$\phi R_n = 118080 \text{ N}$$

**Jumlah baut yang dipakai :**

$$\begin{aligned}n &= \frac{V_n}{\phi R_n} \\ &= \frac{46845}{118080} \\ &= 0,397 \text{ buah} = 8 \text{ buah}\end{aligned}$$

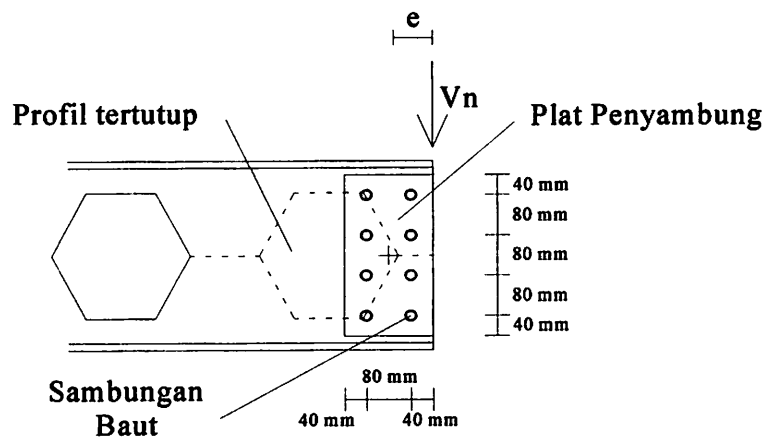
**Kontrol Block Shear :****Akibat beban Sentris :**

$$R_v = \frac{V_n}{n}$$

$$= \frac{46845}{8}$$

$$= 5855,625 \text{ N}$$

**Akibat Beban Eksentris :**



**Gambar 3.23 Kontrol Block Shear akibat beban eksentris pada Spliced Beam**

$$\text{Eksentrisitas} = 40 + \frac{1}{2} \cdot 80$$

$$= 80 \text{ mm}$$

**Gaya yang terjadi akibat eksentrisitas:**

$$M = V_n \cdot e$$

$$= 46845 \cdot 80$$

$$= 3747600 \text{ Nmm}$$

$$\Sigma x^2 = 4 (40^2 + 120^2)$$

$$= 64000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\Sigma y^2 &= 8 (40^2) \\ &= 12800 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma x^2 + \Sigma y^2 &= 64000 + 12800 \\ &= 76800 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{h_x} &= \frac{M \cdot x}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} \\ &= \frac{3747600 \cdot 80}{76800} \\ &= 3903,75 \text{ N}\end{aligned}$$

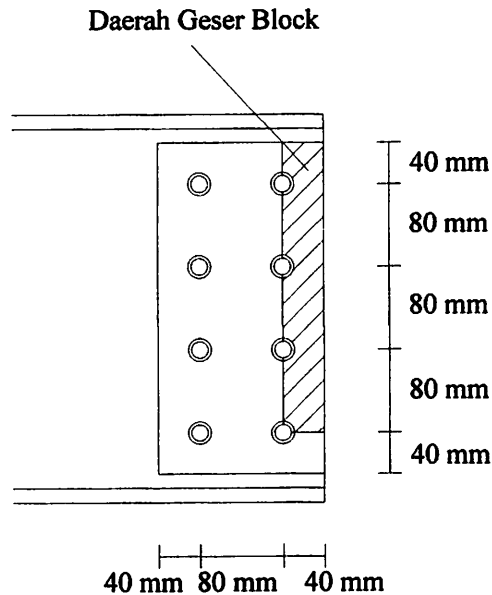
$$\begin{aligned}R_{h_y} &= \frac{M \cdot y}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} \\ &= \frac{3747600 \cdot 40}{76800} \\ &= 1951,875 \text{ N}\end{aligned}$$

Resultan Gaya yang terjadi pada 1 baut :

$$\begin{aligned}R &= \sqrt{R_v^2 + (R_{h_x}^2 + R_{h_y}^2)} \\ &= \sqrt{5855,625^2 + (3903,75^2 + 1951,875^2)} \\ &= 7303 \text{ N} > \emptyset R_n = 118080 \text{ N} \quad \underline{\text{AMAN}}\end{aligned}$$



**Kontrol Geser :**



**Gambar 3.24** Daerah penampang geser pada Spliced Beam

Luas bruto penampang akibat geser

$$\begin{aligned} A_{gv} &= \text{Panjang penampang geser} \times \text{tebal plat} \\ &= (40 + 80 + 80 + 80) \cdot 10 \\ &= 2800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas Netto penampang akibat geser

$$\begin{aligned} A_{nv} &= (\text{Panjang penampang geser} - \text{jumlah lubang baut}) \times \text{tebal plat} \\ &= (280 - 3,5 (16+1)) \cdot 10 \\ &= 2205 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas bruto penampang akibat tarik

$$A_{gt} = \text{Panjang penampang tarik} \times \text{tebal plat}$$

$$= 40 \cdot 10$$

$$= 400 \text{ mm}^2$$

Luas netto penampang akibat tarik

$$\text{Ant} = (\text{Panjang penampang tarik} - \text{jumlah lubang baut}) \times \text{tebal plat}$$

$$= (40 - 0,5 (16+1)) \cdot 10$$

$$= 315 \text{ mm}^2$$

Cek terhadap geser balok

$$f_u \cdot \text{Ant} = 410 \cdot 315$$

$$= 12950 \text{ N}$$

$$0,6 \cdot f_u \cdot \text{Anv} = 0,6 \cdot 410 \cdot 2205$$

$$= 542430 \text{ N}$$

Karena  $f_u \cdot \text{Ant} = 12950 \text{ N} < 0,6 \cdot f_u \cdot \text{Anv} = 542430 \text{ N}$ , maka

$$T_n = (0,6 \cdot f_u \cdot \text{Anv}) + (f_y \cdot \text{Agt})$$

$$= (0,6 \cdot 410 \cdot 2205) + (250 \cdot 2800)$$

$$= 1242430 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,75 \cdot 1242430$$

$$= 931822 \text{ N} > V_n = 46845 \text{ N} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

**Jadi dipakai :**

Sambungan pada setiap sisi sayap balok

Baut =  $\phi$  16 mm

Jumlah = 14 buah

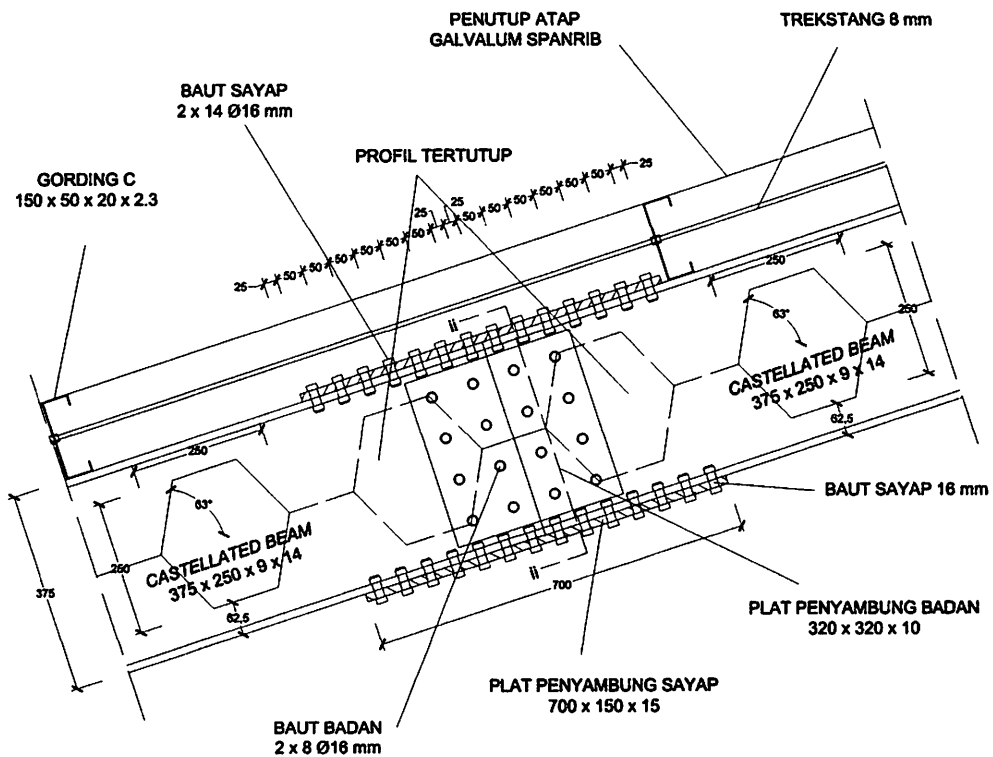
Jarak antar baut = 50 mm

Sambungan pada setiap sisi badan balok

Baut =  $\phi$  16 mm

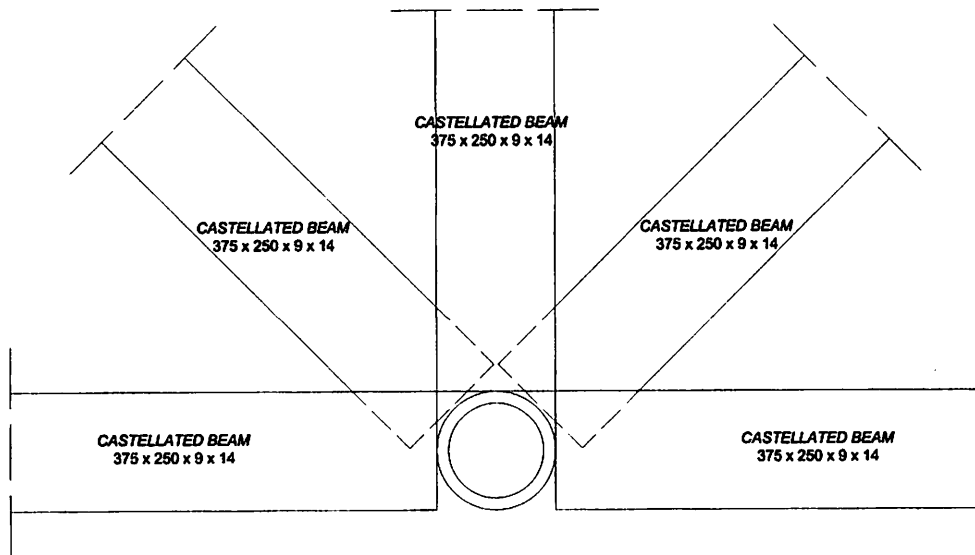
Jumlah = 8 buah

Jarak antar baut = 80 mm



**Gambar 3.25 Sambungan Balok-Balok ( Spliced Beam ) yang digunakan**

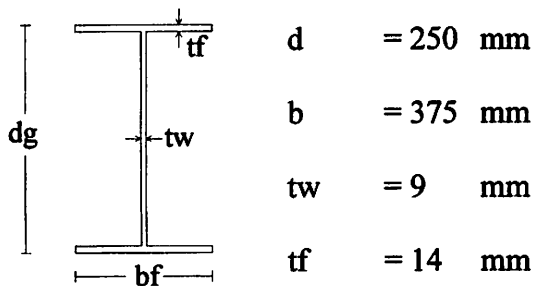
### 3.9 Perencanaan Sambungan 5 Balok



Gambar 3.26 Perencanaan Sambungan 5 Balok ( pertemuan jurai )

#### ➤ Data Profil

Profil balok *castella* 375.250.9.14



#### ➤ Data Material

Mutu Baja : BJ41 (  $f_y = 250$  MPa )

(  $f_u = 410$  Mpa )

Tipe baut : A325 (  $f_u^b = 825$  MPa )

Tebal Plat Penyambung Badan : 10 mm

➤ **Kapasitas Geser Penampang**

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} \\ &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 250 \cdot (375 - 2 \cdot 14) \\ &= 46845 \text{ N}\end{aligned}$$

➤ **Sambungan Baut pada Badan Balok**

**Luas Penampang Baut**

$$\begin{aligned}A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \\ &= 201,143 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

**Kuat Geser Baut :**

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot m \cdot 0,5 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 825 \cdot 201,143 \\ &= 62228 \text{ N}\end{aligned}$$

**Kuat Tumpu Baut:**

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 410 \\ &= 118080 \text{ N}\end{aligned}$$

Nilai  $\phi R_n$  diambil yang terkecil dari kuat geser baut dan kuat tumpu baut

$$\phi R_n = 62228 \text{ N}$$

**Jumlah baut yang dipakai :**

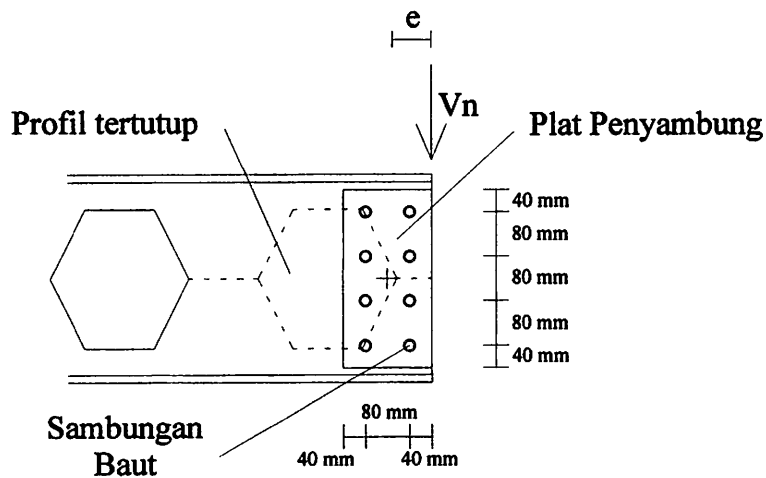
$$\begin{aligned}n &= \frac{Vn}{\phi Rn} \\ &= \frac{46845}{118080} \\ &= 0,397 \text{ buah} = 8 \text{ buah}\end{aligned}$$

**Kontrol Block Shear :**

**Akibat beban Sentris :**

$$\begin{aligned}R_v &= \frac{Vn}{n} \\ &= \frac{46845}{8} \\ &= 5855,625 \text{ N}\end{aligned}$$

**Akibat Beban Eksentris :**



**Gambar 3.27** Kontrol Block Shear akibat beban eksentris pada sambungan 5 balok

$$\begin{aligned}\text{Eksentrisitas} &= 40 + \frac{1}{2} \cdot 80 \\ &= 80 \text{ mm}\end{aligned}$$

Gaya yang terjadi akibat eksentrisitas:

$$\begin{aligned}M &= Vn \cdot e \\ &= 46845 \cdot 80 \\ &= 3747600 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma x^2 &= 4 (40^2 + 120^2) \\ &= 64000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma y^2 &= 8 (40^2) \\ &= 12800 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma x^2 + \Sigma y^2 &= 64000 + 12800 \\ &= 76800 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{hx} &= \frac{M \cdot x}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} \\ &= \frac{3747600 \cdot 80}{76800} \\ &= 3903,75 \text{ N}\end{aligned}$$

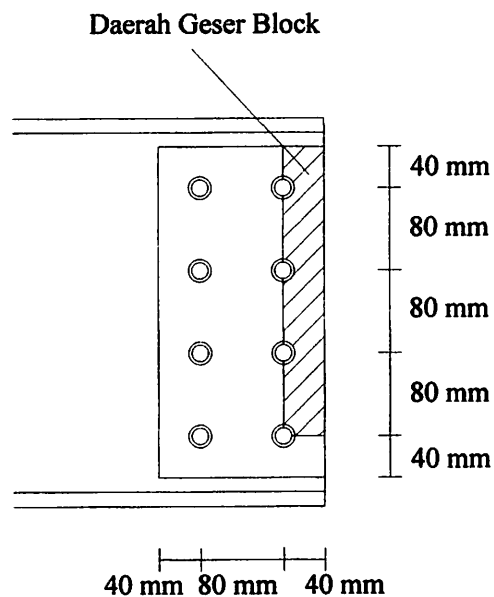


$$\begin{aligned}
 R_{h_y} &= \frac{M \cdot y}{\Sigma x^2 + \Sigma y^2} \\
 &= \frac{3747600 \cdot 40}{76800} \\
 &= 1951,875 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Resultan Gaya yang terjadi pada 1 baut :

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{R_v^2 + (R_{h_x}^2 + R_{h_y}^2)} \\
 &= \sqrt{5855,625^2 + (3903,75^2 + 1951,875^2)} \\
 &= 7303 \text{ N} > \varnothing R_n = 62228 \text{ N} \quad \underline{\text{AMAN}}
 \end{aligned}$$

**Kontrol Geser :**



**Gambar 3.28** Daerah penampang geser pada sambungan 5 balok



Luas bruto penampang akibat geser

$$\begin{aligned} A_{gv} &= \text{Panjang penampang geser} \times \text{tebal plat} \\ &= (40 + 80 + 80 + 80) \cdot 10 \\ &= 2800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas Netto penampang akibat geser

$$\begin{aligned} A_{nv} &= (\text{Panjang penampang geser} - \text{jumlah lubang baut}) \times \text{tebal plat} \\ &= (280 - 3,5 (16+1)) \cdot 10 \\ &= 2205 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas bruto penampang akibat tarik

$$\begin{aligned} A_{gt} &= \text{Panjang penampang tarik} \times \text{tebal plat} \\ &= 40 \cdot 10 \\ &= 400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas netto penampang akibat tarik

$$\begin{aligned} A_{nt} &= (\text{Panjang penampang tarik} - \text{jumlah lubang baut}) \times \text{tebal plat} \\ &= (40 - 0,5 (16+1)) \cdot 10 \\ &= 315 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek terhadap geser balok

$$\begin{aligned} f_u \cdot A_{nt} &= 410 \cdot 315 \\ &= 12950 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0,6 \cdot 410 \cdot 2205$$

$$= 542430 \text{ N}$$

Karena  $f_u \cdot A_{nt} = 12950 \text{ N} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 542430 \text{ N}$ , maka

$$T_n = (0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}) + (f_y \cdot A_{gt})$$

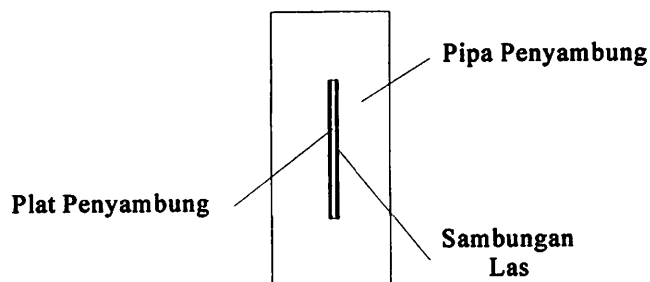
$$= (0,6 \cdot 410 \cdot 2205) + (250 \cdot 2800)$$

$$= 1242430 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,75 \cdot 1242430$$

$$= 931822 \text{ N} > V_n = 46845 \text{ N} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

### ➤ Sambungan Las pada Plat Penyambung



Gambar 3.29 Perencanaan Las pada sambungan 5 balok

### Data Perencanaan Las Sudut

Mutu Las = Elektroda 70

Kuat tarik las ( $f_{uw}$ ) = 485 MPa

$$I_p = \frac{dg(3.tw^2 + dg^2)}{6}$$

( Tabel 5.18.1 Charles G. Salmon & John E. Johnson. *Steel Structures, Desain and Behavior Fourth Edition. 1996* )

$$= \frac{375(3.9^2 + 375^2)}{6}$$

$$= 8.804.250 \text{ mm}^3$$

### **Panjang Las**

$$L_w = 2 dg$$

$$= 2 \cdot 375$$

$$= 750 \text{ mm}$$

### **Gaya Geser Pada Las**

$$R_v = \frac{V_n}{A_w}$$

$$= \frac{46845}{750}$$

$$= 62,46 \text{ N/mm}$$

### **Kekuatan Tahanan Las**

$$\phi R_{nv} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 f_{uv}$$

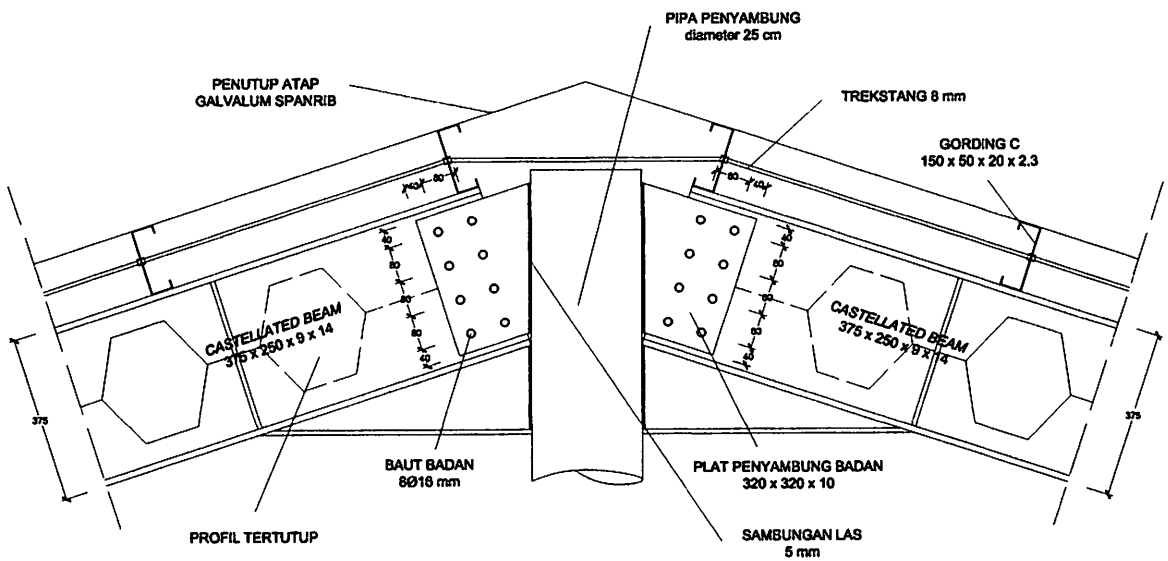
$$= 0,75 \cdot 0,707a \cdot 0,6 \cdot 450$$

$$= 154,3a \text{ N}$$

### Tebal Sambungan Las

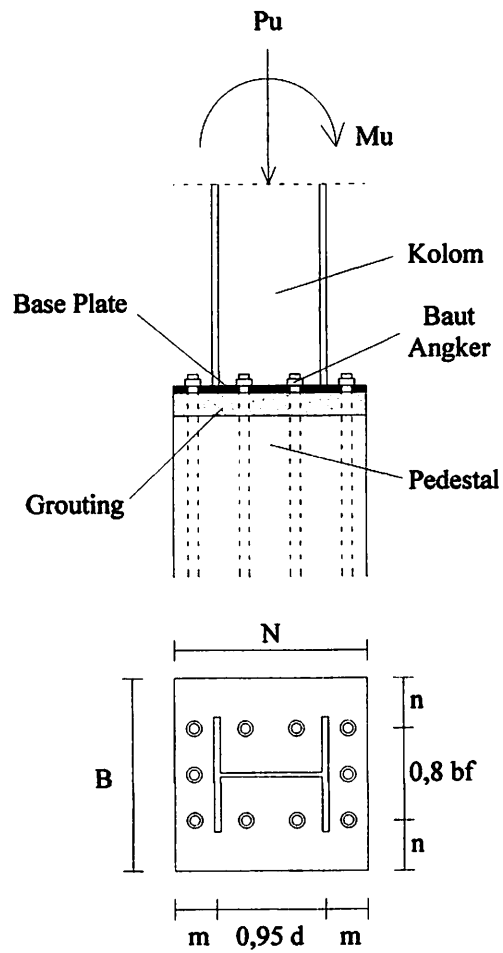
$$\begin{aligned} a &= \frac{Rv}{\phi \cdot R_{nw}} \\ &= \frac{62,46}{154,3} \\ &= 0,404 \text{ mm} \\ &= 5 \text{ mm ( Syarat minimum tebal las untuk tebal plat 10 mm )} \end{aligned}$$

Jadi, dipakai las E 70 ( $f_{uw} = 485 \text{ Mpa}$ ) dengan tebal 5 mm



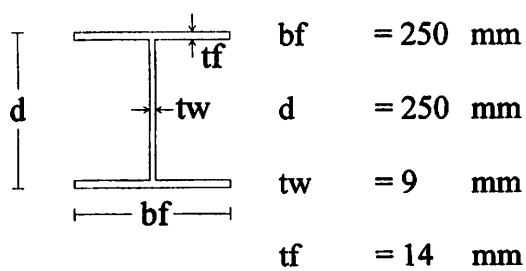
Gambar 3.30 Sambungan 5 balok yang dipakai

### 3.10 Sambungan Base Plate



Gambar 3.31 Perencanaan Sambungan Base Plate

Profil kolom WF 250.250.9.14



( Ir. Rudi Gunawan. Tabel Profil Konstruksi Baja )

➤ **Data Material**

Mutu Baja : BJ41 (  $f_y = 250$  MPa )

Mutu Beton : 25 MPa

Tipe baut : A325 ( $f_u^b = 825$  MPa )

➤ **Hasil Analisa Struktur**

$P_u = 7929$  Kg  $= 79290$  N

$M_u = 68,083$  KNm  $= 68,083 \cdot 10^6$  Nmm

$V_u = 3300$  Kg  $= 33000$  N

➤ **Perencanaan Tebal Plat**

**Luas Bidang Plat Dasar Perlu :**

$$P_u \leq \phi P_p$$

$$P_u \leq \phi ( 0,85 \cdot f'_c \cdot A_p )$$

$$79290 \leq 0,6 ( 0,85 \cdot 25 \cdot A_p )$$

$$A_{p \text{ perlu}} \geq \frac{79290}{0,6 \cdot 0,85 \cdot 25}$$

$$\geq 6218,82 \text{ mm}^2$$

**Penentuan Dimensi Plat Dasar :**

$$\Delta = \frac{0,95 \cdot d - 0,8bf}{2}$$

$$= \frac{0,95 \cdot 250 - 0,8 \cdot 250}{2}$$

$$= 18,75 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 N &= \sqrt{A_{p_{perlu}} + \Delta} \\
 &= \sqrt{6218,82 + 18,75} \\
 &= 97,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{A_{p_{perlu}}}{N} \\
 &= \frac{5709,36}{97,6} \\
 &= 63,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dicoba Luas plat dasar dengan B = 42 cm dan N = 42 cm

$$\begin{aligned}
 A_{p_{ada}} &= B \cdot N \\
 &= 420 \cdot 420 \\
 &= 176400 \text{ mm}^2 \quad \geq A_{p_{perlu}} = 5709,02 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

**Tebal Plat Dasar :**

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{N - 0,95 \cdot d}{2} \\
 &= \frac{420 - 0,95 \cdot 250}{2} \\
 &= 91,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{B - 0,95 \cdot bf}{2} \\
 &= \frac{420 - 0,8 \cdot 250}{2} \\
 &= 110 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi P_p &= \phi (0,85 \cdot f_c \cdot A_p) \\
&= 0,6 (0,85 \cdot 25 \cdot 176400) \\
&= 1866753 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x &= \frac{4 \cdot d \cdot b f}{(d + b f)^2} \cdot \frac{P_u}{\phi \cdot P_p} \\
&= \frac{4 \cdot 250 \cdot 250}{(250 + 250)^2} \cdot \frac{79290}{1866753} \\
&= 0,035
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\lambda &= \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1-x}} \\
&= \frac{2\sqrt{0,035}}{1 + \sqrt{1-0,035}} \\
&= 0,189
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
n' &= \frac{\lambda \sqrt{d \cdot b f}}{4} \\
&= \frac{0,189 \sqrt{250 \cdot 250}}{4} \\
&= 11,84 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Nilai terbesar dari m, n, n' adalah 110 mm

$$t_p = 1,5 \cdot (m/n/n') \cdot \sqrt{\frac{P}{0,9 \cdot B \cdot N \cdot f_y}}$$



$$= 1,5.110 \sqrt{\frac{79290}{0,9.420.420.250}}$$

$$= 7,37 \text{ mm}$$

$$= 15 \text{ mm ( tebal plat dasar } \geq \text{ tebal flens )}$$

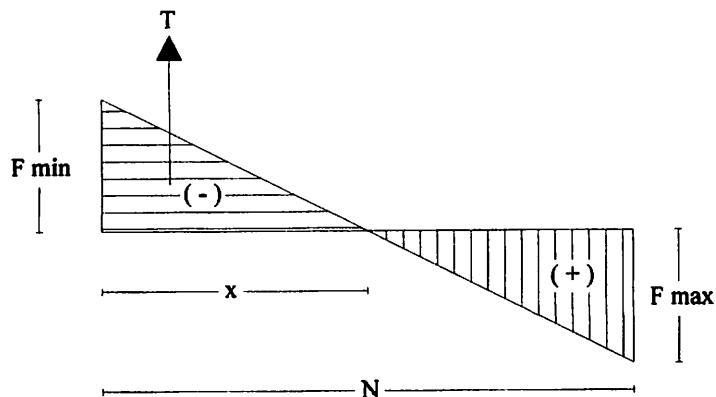
### ➤ Perhitungan Baut Angker

$$F = \frac{Pu}{A} \pm \frac{Mu}{W}$$

$$= \frac{79290}{420.420} \pm \frac{68,083.10^6}{\frac{1}{6}.420.420^2}$$

$$F_{\text{maks}} = 5,963 \text{ Mpa}$$

$$F_{\text{min}} = -5,064 \text{ Mpa}$$



**Gambar 3.32** Gaya yang terjadi pada Base Plate

$$\frac{x}{N-x} = \frac{F \text{ min}}{F \text{ max}}$$

$$\frac{x}{420-x} = \frac{5,064}{5,963}$$

$$x = 192,880 \text{ mm}$$

**Gaya Jangkar :**

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} \cdot (x \cdot F \cdot B) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (192,880 \cdot 5,064 \cdot 420) \\ &= 205124,552 \text{ N} \end{aligned}$$

**Luas Penampang Baut Jangkar :**

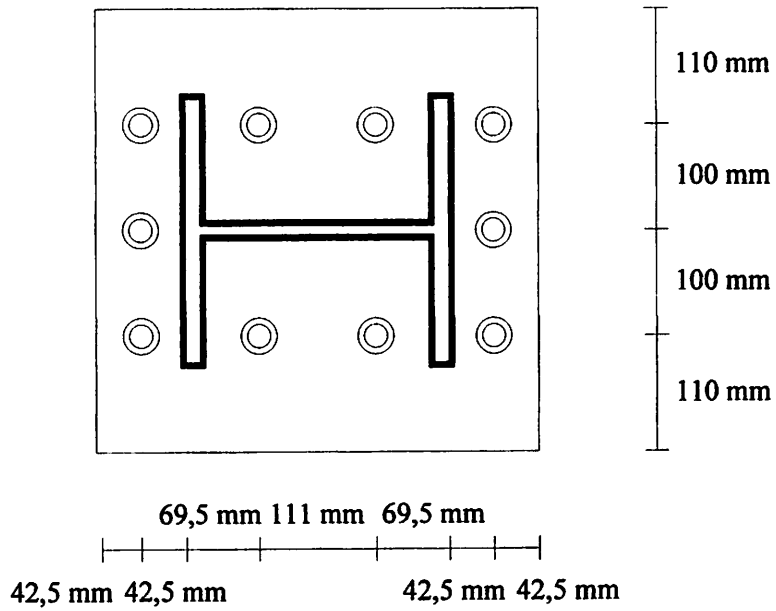
$$\begin{aligned} A &= \frac{T}{\phi \cdot 0,75 \cdot F_y} \\ &= \frac{205110,99}{0,75 \cdot 0,75 \cdot 250} \\ &= 1458,663 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Dipakai jangkar 7/8" ( 22 mm )

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{jangkar}}} \\ &= \frac{1458,663}{0,25 \cdot \pi \cdot 22^2} \\ &= 3,84 \text{ buah} \\ &= 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

**Kontrol Jarak Antar Baut :**



**Gambar 3.33 Sambungan baut pada Base Plate**

jarak baut ke tepi

$$1,5 \text{ db} < \text{jarak baut tepi} < 3 \text{ db}$$

$$1,5 (22) < 42,5 \text{ mm} < 3 (22)$$

$$33 \text{ mm} < 42,5 \text{ mm} < 66 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

jarak antar baut

$$3 \text{ db} < \text{jarak antar baut} < 7 \text{ db}$$

$$3 (22) < 111 \text{ mm} < 7 (22)$$

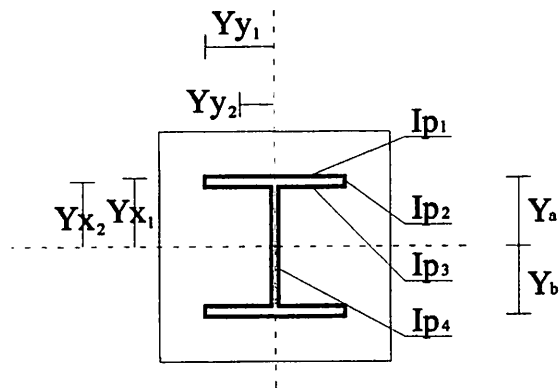
$$66 \text{ mm} < 111 \text{ mm} < 154 \text{ mm} \quad \underline{\text{AMAN}}$$

➤ **Perencanaan sambungan las**

**Data Perencanaan Las Sudut**

Tipe Las = Elektroda 70

Kuat tarik las ( $f_{uw}$ ) = 485 Mpa



**Gambar 3.34 Sambungan las pada Base Plate**

$$Y_a = 125 \text{ mm}$$

$$Y_b = 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y_{x1} &= y_a \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{x2} &= y_a - \frac{t_f}{2} \\ &= 125 - \frac{14}{2} \\ &= 118 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{x_3} &= y_a - tf \\
 &= 125 - 14 \\
 &= 111 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{y_1} &= \frac{1}{2} \cdot bf \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 250 \\
 &= 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{y_2} &= \left( \frac{b - tw}{2} : 2 \right) + \frac{1}{2} tw \\
 &= \left( \frac{250 - 9}{2} : 2 \right) + \frac{1}{2} \cdot 9 \\
 &= 64,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{y_3} &= \frac{1}{2} \cdot tw \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 9 \\
 &= 4,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### **Momen Inersia Las**

$$\begin{aligned}
 I_{p_1} &= 2(I_{x_1} + I_{y_1}) \\
 &= 2 \left[ b \cdot Y_{x_1}^2 + \frac{1}{12} \cdot b^3 \right] \\
 &= 2 \left[ 250 \cdot 125^2 + \frac{1}{12} \cdot 250^3 \right]
 \end{aligned}$$

$$= 10.416.666,67 \text{ mm}^3$$

$$I_{p2} = 4(Ix_2 + Iy_2)$$

$$= 4 \left[ (tf \cdot Yx_2^2) + \left( \frac{1}{12} \cdot tf^3 \right) + (tf \cdot Yy_1^2) \right]$$

$$= 4 \left[ (14 \cdot 118^2) + \left( \frac{1}{12} \cdot 14^3 \right) + (14 \cdot 125^2) \right]$$

$$= 1.655.658,67 \text{ mm}^3$$

$$I_{p3} = 4(Ix_3 + Iy_3)$$

$$= 4 \left[ \left( \frac{1}{12} \left( \frac{b-tw}{2} \right)^3 \right) + \left( \left( \frac{b-tw}{2} \right) \cdot Yx_3^2 \right) + \left( \left( \frac{b-tw}{2} \right) \cdot Yy_2^2 \right) \right]$$

$$= 4 \left[ \left( \frac{1}{12} \left( \frac{250-9}{2} \right)^3 \right) + \left( \left( \frac{250-9}{2} \right) \cdot 111^2 \right) + \left( \left( \frac{250-9}{2} \right) \cdot 64,75^2 \right) \right]$$

$$= 8.542.767,17 \text{ mm}^3$$

$$I_{p4} = 2(Ix_4 + Iy_4)$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (d-2tf)^3 \right) + \left( (d-2tf) \cdot Yy_3^2 \right) \right]$$

$$= 2 \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot (250-2 \cdot 14)^3 \right) + \left( (250-2 \cdot 14) \cdot 4,5^2 \right) \right]$$

$$= 1.832.499 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned}
 I_p &= I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} + I_{p4} \\
 &= 10.416.666,67 + 1.655.658,67 + 8.542.767,17 + 1.832.499 \\
 &= 22.447.591,5 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

### **Panjang Las**

$$\begin{aligned}
 L_w &= 2(b) + 4(tf) + 2(b - t_w) + 2(d - 2 \cdot tf) \\
 &= 2(250) + 4(14) + 2(250 - 9) + 2(250 - 2 \cdot 14) \\
 &= 1482 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### **Gaya Geser Pada Las**

$$\begin{aligned}
 R_h &= \frac{V_n}{A_w} \\
 &= \frac{33000}{1482} \\
 &= 22,267 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

### **Gaya Akibat Torsi Pada Las**

Pada serat atas

$$\begin{aligned}
 R_{v_x} &= \frac{M_u \cdot Y_a}{I_{las}} \\
 &= \frac{68,083 \cdot 10^6 \cdot 125}{22447591,5} \\
 &= 379,122 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Pada serat bawah

$$\begin{aligned} R_{v_y} &= \frac{Mu.Y_a}{I_{las}} \\ &= \frac{68,083 \cdot 10^6 \cdot 125}{22447591,5} \\ &= 379,122 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Resultan Torsi :

$$\begin{aligned} R_v &= \sqrt{379,122^2 + 379,122^2} \\ &= 536,159 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

**Resultan Gaya yang Terjadi pada Las**

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{R_v^2 + R_h^2} \\ &= \sqrt{22,267^2 + 536,159^2} \\ &= 536,622 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

**Kekuatan Tahanan Las**

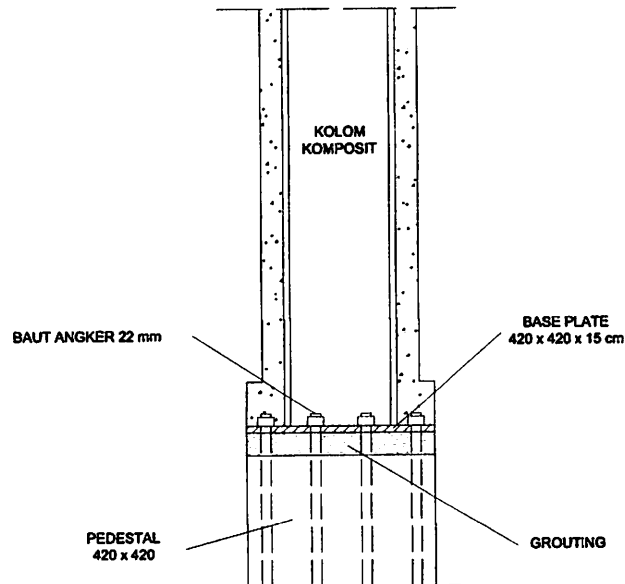
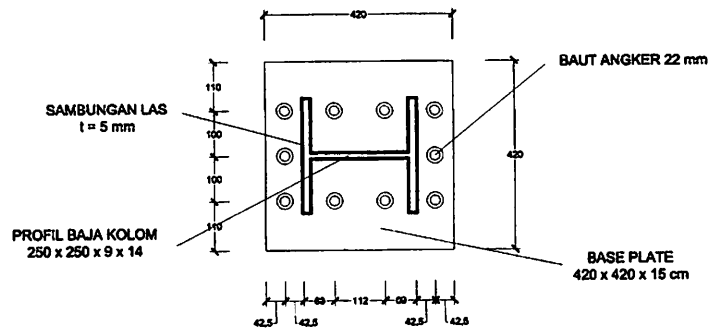
$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \cdot t_e \cdot 0,6 f_{uw} \\ &= 0,75 \cdot 0,707a \cdot 0,6 \cdot 450 \\ &= 154,3a \text{ N} \end{aligned}$$



### Tebal Sambungan Las

$$\begin{aligned} a &= \frac{R}{\phi \cdot R_{mw}} \\ &= \frac{536,622}{154,3} \\ &= 3,478 \text{ mm} \\ &= 5 \text{ mm ( Syarat minimum tebal las untuk tebal plat 15 mm )} \end{aligned}$$

Jadi, dipakai las E 70 ( $f_{uw} = 485 \text{ Mpa}$  ) dengan tebal 5 mm



Gambar 3.35 Sambungan Base Plate yang dipakai

## **BAB IV**

### **KESIMPULAN**

Dari pembebanan yang ada, kemudian dianalisa struktur, maka didapatkan profil gording, balok *castella*, kolom komposit, sambungan balok-kolom, sambungan balok ujung-balok ujung, sambungan balok-balok ( *spliced beam* ), sambungan 5 balok, sambungan base plate dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

1. Profil Gording C 150.50.20.2,3 dengan pemasangan trekstang  $\phi$  8 sejarak 2 m.
2. Profil Balok *Castella* 375.250.9.14. diambil dari profil WF 250.250.9.14 dan dipotong dengan kemiringan  $63^\circ$
3. Profil Kolom komposit dimensi 35 cm x 35 cm dan didalam profil terdapat profil baja WF 250.250.9.14.
4. Sambungan Balok-Kolom menggunakan tebal plat ujung 3 cm, jumlah baut  $14\phi 16$  mm, tebal las sudut 7 mm.
5. Sambungan Balok ujung – Balok Ujung menggunakan tebal plat ujung 3 cm, jumlah baut  $14\phi 16$  mm, tebal las sudut 7 mm.
6. Sambungan Balok – Balok ( *Spliced Beam* ), pada tiap badan profil menggunakan tebal plat 10 mm dan jumlah baut  $8\phi 16$  mm, pada tiap sayap profil menggunakan tebal plat 15 mm dan jumlah baut  $14\phi 16$  mm

7. Sambungan 5 Balok menggunakan pipa penyambung  $\phi 25$  cm, pada badan profil menggunakan tebal plat 10 mm dan jumlah baut  $8\phi 16$  mm dan sambungan las 5 mm
8. Sambungan Base Plate menggunakan tebal base plate 15 mm, jumlah baut angker  $10\phi 22$  mm, dan sambungan las 5 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 yang telah diberikan di mata kuliah Struktur Baja, studi kasus proyek pembangunan gedung *Convention Hall Singhasari Hotel kota Batu, Jawa Timur*.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim, *diktat baja dua tentang baja kastela*

Amayeh, L and M.P. Saka. *Failure Load Prediction of Castellated Beams Using Artificial Neural Networks*. Asian Journal of Civil Engineering ( Building and Housing ) 6:35-54. Bahrain : Departement of Civil Engineering, University of Bahrain

American Institute of Steel Construction, *Load and Resistance Factor Design Spesification*. Chicago. 1999

ASCE, *Proposed Spesification For Structural Steel Beam With Web Openings*. Journal of Structural Engineering, Vol 118, No 12.

Badan Standart Nasional, *Tata Cara Perencanaan Struktur baja Untuk Bangunan Gedung ( SNI 03-1729-2002 )*. 2002

CG. Salmon, JE. Jhonson. *Struktur Baja desain dan Perilaku, jilid I*, Erlangga 1992

CG. Salmon, JE. Jhonson. *Struktur Baja desain dan Perilaku, jilid II*, Erlangga 1994

CG. Salmon, JE. Jhonson. *Struktur Baja desain dan Perilaku, jilid III*, Gramedia 1996

CG. Salmon, JE. Jhonson. *Steel Structures Design and Behaviour Fourth Edition*, Prectice Hall, New Jersey.

Departement Pekerjaan Umum, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung.. Bandung*. 1983.

G. Raftoyiannis and George. I. Ioannidis. *Deflection of Castellated I-Beams under Transverse Loading*. National Technical University of Athens, Greece

Gunawan, Rudy. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Kanisius. Yogyakarta. 1987

Ir. Oentoeng. *Konstruksi Baja I*. Andi. 1999

Kristiono, Ery. *Modifikasi Perencanaan Gedung Kantor Kejaksaan Tinggi Jawa Timur dengan Castellated Beam non-komposit*. Institut Teknologi Sepuluh November. 2011

Mc Cormac, Jack C. *Structural Steel Design third Edition*. Emelson University. 1981

Setiawan, Agus,. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Erlangga. Jakarta. 2008

