STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR *GABLE FRAME* DENGAN BAJA CASTELLA (*HONEY COMB*) PADA BANGUNAN GUDANG PABRIK PLASTIK KOTA PASURUAN

Rito Arman Muzaqi[1], Yosimson P. Manaha[2], dan Ester Priskasari[3]

[1]*Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Sigura - Gura No.2, Sumbersari, Lowokwaru, Malang*
Email: 1921183.ritoarmanmuzaqi@gmail.com
[2] *Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Sigura - Gura No.2, Sumbersari, Lowokwaru, Malang*
Email: yosimson_m@yahoo.co.id
[3]*Prodi Teknik Sipil*, ITN Malang, Jl. Sigura - Gura No.2, Sumbersari, Lowokwaru, Malang
Email: esterpriskasari@gmail.com

ABSTRACT

The increasing prominence of warehouse businesses, it urges investors or owners to rapidly expand their operations, requiring a warehouse that possesses adequate efficiency for warehousing activities. It is anticipated that by employing the Castella steel beam system, rigidity can be added to the beams, enabling them to bear greater spans. Through the employment of a portal gable frame with a larger span, it becomes possible to maximize the spatial requirements for warehouse activities such as loading and unloading of goods. Furthermore, the Castella beams are chosen as an alternative, aiming to attain a higher load-bearing capacity compared to H or WF profiles used in existing building structures.In this planning, analysis is conducted using the LRFD method. Additionally, for load analysis, the calculated values are assessed using the CSI ETABS software to obtain values for moments, lateral forces, and axial forces. This process leads to the derivation of structural calculations and planning drawings. From the outcomes of this planning, the steel profiles used for columns are WF 400.400.13.21, and for beams, Castella steel 600.200.8.13 is utilized, with an initial profile size of WF 400.200.8.13. Supported by the substructure, the column pedestal measures 500 x 500, the tie beam measures 350 x 500, the pile cap measures 1500 x 1000 x 400 with a depth of 1.0 m, and the precast mini-piles have dimensions of 250x250 with a depth of 9.0 m.

Keywords: Castellated Beam, Gable Frame, LRFD, Warehouse Building, Wide Flange (WF) Steel.

ABSTRAK

Semakin maraknya bisnis pergudangan, mendorong para investor atau owner untuk dapat mengembangkan usahanya dengan cepat yang membutuhkan suatu gudang yang tidak memiliki efektifitas untuk kegiatan pergudangan yang memadai. Diharapkan dengan menggunakan sistem balok baja castella mampu menambahkan kekakuan pada balok sehingga dapat memikul beban dengan bentang yang lebih besar. Dengan portal gable frame yang memiliki bentang lebih besar dapat memaksimalkan kebutuhan ruang untuk gudang dalam kegiatan bongkar muat barang. selain itu balok castella dipilih sebagai alternatif diharapkan dapat memperoleh momen kapasitas yang lebih besar dari pada profil H atau WF yang digunakan pada struktur bangunan eksisting. Dalam perencanaan ini analisis dengan menggunakan metode LRFD, kemudian untik analisa pembebanan yang telah dihitung dianalisa dengan program bantu CSI ETABS untuk medapatkan nilai-nilai momen, gaya lintang, dan gaya normal. Sehingga menghasilkan perhitungan struktur dan gambar perencanaan. Dari hasil perencanaan tersebut, profil baja yang digunakan untuk kolom adalah WF 400.400.13.21 , dan untuk balok digunakan baja castella adalah 600.200.8.13, dengan menggunakan profil awal berukuran WF 400.200.8.13. Didukung dengan struktur bawah Kolom Pedestal berukuran 500 x 500, Balok Sloof berukuran 350 x 500 , Pile cap berukuran 1500 x 1000 x 400 dengan kedalaman 1,0 m, dan Tiang Pancang (minipile) precast berukuran 250x250 dengan kedalaman 9,0 m.

Kata kunci: Baja Wide Flange (WF), Balok Castella, Bangunan Gudang, Gable Frame, LRFD.

1. PENDAHULUAN

Para investor atau owner mengharapkan suatu gudang yang tidak memiliki banyak kolom di dalam, guna memaksimalkan ruang dari gudang tersebut sebagai tempat penyimpanan dan efektifitas untuk kegiatan bongkar muat barang dengan akses yang memadai. Oleh karena itu dibangunlah suatu gudang dengan bentang kuda-kuda yang panjang, dengan

menggunakan sistem balok baja castella atau sering juga disebut balok baja honey comb.

Pabrik plastik yang dikelola sekaligus dimiliki oleh PT. Mahkota Sukses Makmur yang berlokasi di Jl. Ahmad Yani No. 55 Kota Pasuruan melakukan pengembangan Kawasan industrinya yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu, area A seluas 2.582,16 m2, area B seluas 2.178,39 m2 dan area C seluas 13.775,66 m2. Pelaksanaan pembangunan tahap pertama yang dilakukan tahun 2021 pada area C yang terdiri dari Kantor, Pabrik, dan Gudang dengan luas bangunan 5.528 m2. Sedangkan rencana pembangunan tahap 2 yang akan dilakukan pada area B untuk kebutuhan gudang penyimpanan dengan ukuran bangunan yang memiliki lebar 46.00 meter dan panjang 60.00 meter. Pada kondisi bangunan Gudang eksisting membuat kurangnya efektifitas kegiatan untuk akses barang produksi dan bongkar muat barang distribusi, salah satu faktor yang mempengaruhinya adalah pemanfaatan ruang yang kurang maksimal dengan adanya kolom ditengah bangunan.

Dari permasalahan diatas, Struktur gable frame yang menggunakan baja castella diharapkan mampu menambahkan kekakuan pada balok sehingga balok mampu memikul beban dengan bentang yang lebih besar. Sehingga dengan portal gable frame yang memiliki bentang lebih besar dapat memaksimalkan kebutuhan ruang untuk gudang dalam kegiatan bongkar muat barang. selain itu balok castella dipilih sebagai alternatif diharapkan dapat memperoleh momen kapasitas yang lebih besar dari pada profil H atau WF yang digunakan pada struktur bangunan eksisting.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pembebanan Struktur

Pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan terdiri dari beban mati (berat sendiri gable frame dan beban mati tambahan), beban hidup (pekerja, air hujan dan beban hidup lainya), beban angin dan beban gempa. Beban-beban yang bekerja secara detail menagacu pada SNI 1727-2020 sebagai berikut :

1. Beban Mati (Dead Load)
2. Beban Hidup (Live Load)
3. Beban Air Hujan
4. Beban Angin
5. Beban Gempa
6. Kombinasi Beban
   1) 1,4*D*
   2) 1,2*D*+1,6i+0,5(*Lr* atau *S* atau *R*)
   3) 1,2*D*+1,6(*Lr* atau *S* atau *R*)+(*L* atau 0,5*W*)
   4) 1,2*D*+1,0*W*+*L*+0,5(*Lr* atau *S* atau *R*)
   5) 0,9*D*+1,0*W*
   6) 1,2*D*+*Ev*+*Eh*+*L*
   7) 0,9*D*-*Ev*+*Eh*

Rafter Baja Castella

Balok castella ini dihasilkan dari suatu pemotongan profil WF atau I yang berpola zig-zag sepanjang garis netral dengan menggunakan las sepanjang balok. Pengunaan las sebagai penyambung adalah karena merupakan bagian dari konstruksi dimana dengan pengelasan yang baik, maka akan menghasilkan kekuatan sambungan yang lebih besar daripada material yang akan disambung.

Menentukan panjang kemiringan sudut pemotongan :

$$tan\theta = \frac{h}{b} \; atau \; b = \frac{h}{tan\,\theta}$$

dimana :

h : tinggi potongan (mm)

b : lebar kemiringan sudut (mm)

θ : sudut pemotongan (dengan sudut 45˚ - 60˚)

Menentukan penambahan tinggi penampang :

$$d_g = d_b + h$$

dimana :

d_b : tinggi profil awal WF atau I (mm)

h : tinggi potongan (mm)

Menentukan tinggi penampang T :

$$d_T = \frac{d_b - h}{2}$$

dimana :

d_b : tinggi profil awal WF atau I (mm)

h : tinggi potongan (mm)

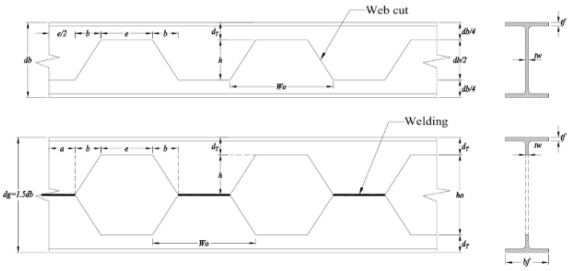
Menentukan panjang pola potongan zig-zag :

$$s = 2b + e)$$

dimana :

b : lebar kemiringan sudut (mm)

e : panjang potongan atas (mm)



Gambar 1 Pola Pemotongan Baja Castella

Batasan desain yang perlu diperhatikan untuk merencanakan balok castella :

1. Vierendeel bending
   Vierendeel bending disebabkan oleh transfer gaya geser melintasi bukaan agar konsisten dengan perubahan momen lentur sepanjang balok.
   a. Perhitungan Gaya Aksial dan Vierendeel Momen di Setiap bukaan
      Kekuatan tekan aksial yang dibutuhkan :

$$P_r = \frac{M_r}{d_{effec}}$$

dimana :

Mr : kekuatan lentur perlu, (N-mm)

d_{effec} : *centroid tee* (mm)

Vierendeel membutuhkan kekuatan lentur,

$$MV_{vr} = V_r\left(\frac{A_{tee}}{A_{net}}\right)\left(\frac{e}{2}\right)$$

dimana :

A_{net} : luas gabungan tee, (mm^2)

A_{tee} : luas bagian tee, (mm^2)

Do : diameter bukaan, (mm)

Vr : kekuatan geser perlu, (N)

(N) e : panjang penampang badan yang dilas, (mm).

b. Perhitungan Kekuatan Aksial (Tarik/Tekan) dan Lentur

Kekuatan Tekan untuk Tekuk Lentur Pada Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing:

$$P_n = F_{cr}\, A_g$$

dimana :

Ag : luas penampang (mm^2) atau = A_{tee}

Tegangan kritis, Fcr, ditentukan sebagai berikut :

bila $\frac{L_c}{r} \le 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ *(atau* $\frac{F_y}{F_e} \le 2{,}25$*)*

$$F_{cr} = (0{,}658^{\frac{F_y}{F_e}})F_y$$

bila $\frac{L_c}{r} \le 4{,}71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ *(atau* $\frac{F_y}{F_e} \le 2{,}25$*)*

$$F_{cr} = 0{,}877F_e$$

Tegangan tekuk elastis, *(Fe)* :

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \left(\frac{F_{ey}+F_{ez}}{2H}\right)\left[1-\sqrt{1-\frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey}+F_{ez})^2}}\right]$$

dimana :

Ag : luas penampang bruto, (mm^2)

E : modulus elastisitas baja (MPa)

Fe : tegangan tekuk elastis, (MPa)

Fy : tegangan leleh baja (MPa)

r : radius girasi, (mm)

c. Pemeriksaan tee atas dan bawah yang dibebani Gaya Lentur dan Aksial Gabungan.

Untuk $\frac{P_r}{P_c} \ge 0{,}2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \le 1{,}0$$

Untuk $\frac{P_r}{P_c} < 0{,}2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \le 1{,}0$$

dimana :

Pc : kekuatan aksial perlu, (N)

Pr : kekuatan aksial tersedia, (N)

Mc : kekuatan lentur perlu, (N-mm)

Mr : kekuatan lentur tersedia, (N-mm)

2. *Web Post Buckling*

Web Post Buckling disebabkan oleh gaya geser horizontal yang melewati web post. Kekuatan utamanya diatur oleh salah satu dari dua mode:

1) Kegagalan lentur yang disebabkan oleh pengembangan sendi plastis di daerah web post.
2) Kegagalan tekuk dari web post.

3. Geser Horizontal dan Vertikal

a. Perhitungan Kekuatan Geser Horizontal yang Tersedia :

$$V_n = 0{,}6F_yA_wC_{v1}$$

dimana :

Fy : tegangan leleh baja, (MPa)

Aw : luas badan, tinggi badan dikalikan tebal badan, d_{tw}, (mm^2)

$$V_n = \phi_v V_n$$

Dengan φ_v = 1.00 *(LRFD)* dan C_{v1} = 1,00

b. Perhitungan Kekuatan Geser Vertikal yang Tersedia :

Penampang bersih, tee atas :

$$V_n = 0{,}60F_y(d_{t\text{-}top}+d_{t\text{-}bot})\, t_wC_{v2}$$

Penampang bruto :

$$V_n = 0{,}60F_y d_g t_w C_{v1}$$

dimana :

h : setengah tinggi bukaan castella, (mm)

t_w : tebal badan, (mm)

d_g : peninggian balok, (mm)

d_t : ketinggian tee, (mm)

k_v : koefisien tekuk plat badan

C_v : koefisien kekuatan tekuk geser badan

4. Lendutan

Apabila balok dibebani oleh beban (baik beban merata maupun beban terpusat), maka akan melentur (*deflected*) sehingga menimbulkan lendutan. Lendutan maksimal yang terjadi (f_{maks}) harus lebih kecil dari lendutan yang diijinkan (f_{ijin}). Sedangkan untuk lendutan yang terjadi dihitung menggunakan metode momen area. Lendutan menggunakan momen area.

5. Kontrol Tegangan

Dengan mempertimbangkan momen yang dianggap dipikul seluruh penampang, maka balok Castela harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser.

Kolom Baja Wide Flange (WF)

Baja WF (Wide Flange) mempunyai kekuatan yang tinggi dan sama kuat pada kekuatan tarik maupun tekan. WF (Wide Flange) juga merupakan balok besi dengan ruas utama yang lebar.

Struktur Menahan Gaya Aksial
Kekuatan Aksial Perlu :
Apabila $\alpha\ P_r/P_{ns} \leq 0,5$
Apabila $\alpha\ P_r/P_{ns} > 0,5$
dimana :
- α : 1,0 (DFBT)
- *Pr* : kekuatan aksial perlu (N)
- *Pns* : kekuatan tekan penampang melintang; Pns = FyAg (N)
- *Ae* : Luas efektif, in.2 (mm2)

Kekuatan Aksial Tersedia :

$$P_c = \phi_c \, . \, P_n$$

dimana :
- *Pc* : kekuatan tekan desain, kips (N)
- ϕc : koefisien tekan = 0,90
- *Pc* : Kekuatan tekan nominal (Fcr . Ag), (N)
- *Fcr* : tegangan kritis, ksi (MPa)
- *Ag* : luas penampang in.2(mm^2)

Komponen Struktur Menahan Aksial Tekan :

Sayap $\lambda = \frac{b}{t} \leq 0,64 \sqrt{\frac{K_c \, . \, E}{F_y}}$

Badan $\lambda = \frac{h}{t_w} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

dimana :
- λ : Rasio lebar terhadap tebal untuk elemen
- *b* : Setengah lebar sayap total, in. (mm)
- *t* : Tebal dinding desain komponen struktur (mm)
- *Kc* : Koefisien untuk elemen langsing tak diperkaku
- *E* : Modulus elastisitas baja (200.000 MPa)
- *Fy* : Tegangan leleh minimum, (MPa)

Struktur Menahan Gaya Aksial dan Lentur :

Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1,0$$

Apabila $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1,0$$

dimana :
- *Pr* : Kekuatan aksial perlu, (N)
- *Pc* : ϕc.Pn = kekuatan aksial desain, (N)
- *Mr* : Keakuatan lentur perlu, (N-mm)
- *Mc* : ϕb.Mn = kekuatan lentur desain, N-mm)
- *x* : indeks dengan lentur sumbu mayor
- *y* : indeks dengan lentur sumbu minor
- ϕc : faktor ketahanan untuk tekan = 0,90
- ϕb : faktor ketahanan untuk lentur = 0,90

Panjang Efektif :

Panjang efektif kolom (Lk) didapat dengan mengalihkan suatu faktor panjang efektif (k) dengan panjang kolom (L), nilai "k" didapat dari nomograf .

$$G = \frac{\Sigma(I_c/L_c)}{\Sigma(I_{g/Lg})}$$

dimana :
- G : Rasio total kekakuan kolom ke dalam susunan sambungan
- I : Momen inersia pada kolom dan balok (mm^4)
- L : Panjang kolom dan balok (mm)

Sambungan

Gaya dan deformasi yang digunakan dalam desain sambungan harus konsisten dengan kinerja yang dikehendaki pada sambungan tersebut dan asumsi yang digunakan dalam desain struktur. Deformasi inelastis terbatas pada sambungan diizinkan.

1. Sambungan Baut

   Kekuatan Tarik dan Geser Baut :

   $$R_n = F_n A_b$$

   dimana :
   - *Ab* : luas tubuh baut nominal (mm^2)
   - *Fnt* : tegangan tarik nominal (MPa)
   - *Fnv* : tegangan geser nominal (MPa)

   Kombinasi Gaya Tarik dan Geser pada Sambungan Tipe Tumpu :

   $$R_n = F'_{nt} \, A_b$$

   dimana :
   - *Ab* : luas tubuh baut nominal (mm^2)
   - *F'nt* :tegangan tarik nominal yang dimodifikasi untuk memperhitungkan efek tegangan geser (MPa)

   Kekuatan Tumpu dan Sobek pada Lubang Baut:
   Tumpu :

   $$R_n = 2,4 \, d_t F_u$$

   Sobek :

   $$R_n = 1,2 \, l_c t F_u$$

   dimana :
   - *Fu* : kekuatan tarik minimum, (MPa).
   - *d* : diameter baut nominal, (mm).
   - *lc* : jarak bersih, dalam arah gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan atau tepi material, (mm).
   - *t* : tebal material yang disambung, (mm)

2. Sambungan Las

   Kelompok las atau baut di ujung komponen struktur yang menyalurkan gaya aksial kekomponen struktur tersebut ukurannya harus diatur sedemikian rupa sehingga titik berat kelompok berimpit dengan titik berat komponen struktur, kecuali apabila eksentrisitas ikut diperhitungkan.

Base Plate dan Angkur

1. Batas bantalan beton (concrete bearing limit)

   Daya permukaan lebih lebar di semua sisi daripada area bermuatan, kekuatan desain bantalan di atas diizinkan untuk $\sqrt{A_1/A_2} \leq 2$.
   Kekuatan tumpu nominal, P_p :
   - Pada luas total pada tumpuan beton ;

     $$P_p = 0,85 f'_c A_1$$

   - Pada luas yang lebih kecil dari luas total tumpuan beton ;

$$P_p = (0{,}85 f'_c A_1) + \left(\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}\right) \leq 1{,}7 f'_c A_1$$

dimana :

A1 : luas tumpu baja konsentris pada suatu tumpuan beton, (mm^2)

A2 : luas maksimum bagian permukaan yang menumpu secara geometris serupa dengan dan konsentris dengan luas yang dibebani, (mm^2).

f'c :kekuatan tekan beton, (MPa)

2. Batas leleh Base Plate (base plate yielding limit)

Kekuatan base plate dapat ditentukan dengan, LRFD

$$M_{pl} = f_{pu}\left(\frac{l^2}{2}\right)$$

Dimana dimensi base plate kantilever, l lebih besar dari m, n dan λn'

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

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

$$n = \lambda \frac{\sqrt{db_f}}{4}$$

dimana :

N = panjang base plate, (mm)

B = lebar base plate, (mm)

bf = lebar sayap kolom, (mm)

d = ketinggian badan kolom, (mm)

n' = garis leleh kantilever jarak dari sayap kolom/badan kolom, (mm)

Ketebalan minimum yang diperlukan dari base plate dapat dihitung sebagai berikut :

$$t_{min} = l\sqrt{\frac{2p_u}{\theta F_y BN}}$$

dimana :

ϕ = faktor resistensi untuk lentur 0,90

F_y = Tegangan leleh minimum, (MPa).

3. METODOLOGI PERENCANAAN

Data Perencanaan

1. Data Eksisting
   - Nama Bangunan : Pabrik PT. MSM
   - Fungsi Bangunan : Gudang Pabrik Produksi Plastik
   - Jumlah Lantai : 1 Lantai
   - Panjang Lahan : 60.00 m
   - Lebar Lahan : 70.00 m
   - Luas Lahan : 2.178 m2

2. Lokasi Perencanaan

Lokasi studi perencanaan pada bangunan Gudang Pabrik Plastik PT. Mahkota Sukses Makmur di Jalan Jend. A. Yani No.55, RT.04/RW.02, Karangketug, Kec. Gadingrejo, Kota Pasuruan.

3. Data Struktur
   - Panjang Bangunan : 60.00 m



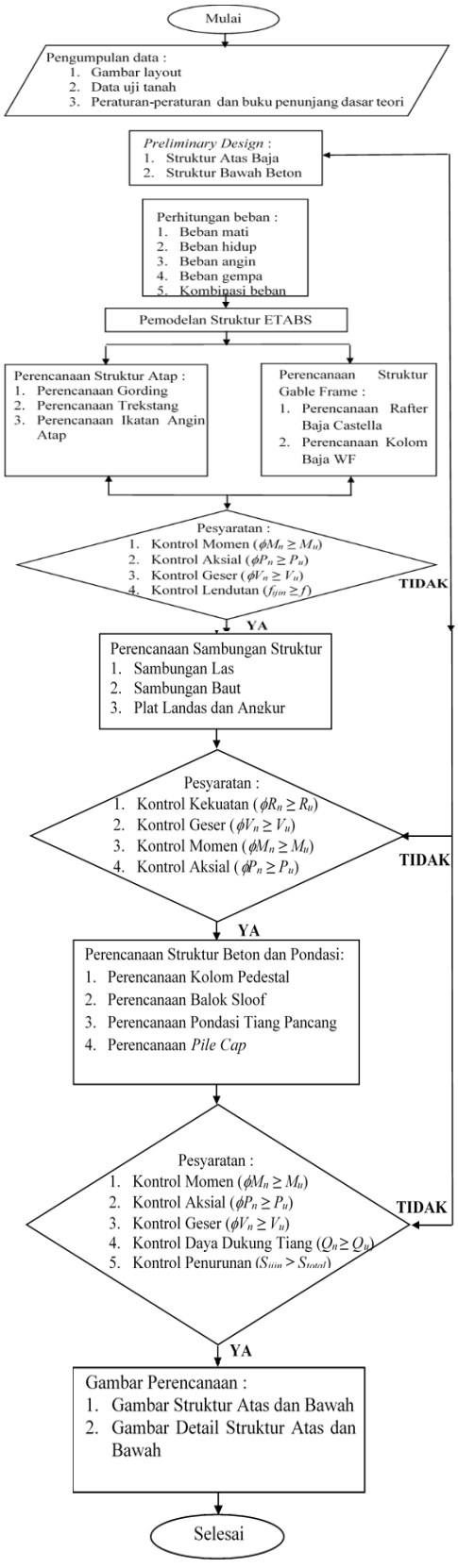
Gambar 2 Lokasi Perencanaan

Rencana Bangunan Gudang

   - Lebar Bangunan : 46.00 m
   - Jarak antar Rafter : 6.00 m
   - Kemiringan Rafter : 18.00°
   - Tinggi Kolom : 10.00 m
   - Jenis Atap : Spandek Solid Galvalum 0.4 mm
   - Struktur Bangunan : Gable Frame dengan Rafter Baja Castella dan Kolom Baja WF
   - Jenis Pondasi : Pondasi tiang pancang

4. Data Material
   - Profil baja struktur
   - Rafter gable frame : Baja Castella
   - Kolom : Baja WF
   - Gording : CNP
   - Jenis baja tulangan : BJTP 280
     Tegangan leleh profil baja (fy) : 280 MPa
     Tegangan putus profil baja (fu) : 350 MPa
   - Jenis baja struktur : BJ 50
     Tegangan leleh profil baja (fy) : 290 MPa
     Tegangan putus profil baja (fu) : 500 MPa
   - Modulus elastisitas (Es) : 200.000 MPa
   - Modulus geser baja (G) : 80.000 MPa
   - Jenis baut : A325
     Tegangan leleh (fy) : 660 MPa
     Tegangan putus (fu) : 830 Mpa
   - Mutu beton : 28 Mpa
   - Mutu baja tulangan : BJTS 420A
     Tegangan leleh profil baja (fy) : 420 MPa
     Tegangan putus profil baja (fu) : 545 MPa

Tahapan Perencanaan



Gambar 3 Diagram Alir Perencanaan

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Dimensi Struktur Baja

Tabel 1 Dimensi Struktur (Preliminary design)

No	Nama Item	Kode	Panjang atau Tinggi	Bentang Rafter	Jarak antar Rafter	Rencana Profil Awal	Rencana Castella	Jenis Baja
			m					
A. Struktur Gable Frame								
1	Kolom Baja WF	K1	7.50	46.00	6.00	WF 400.400.13.21	-	BJ50
2	Rafter Baja Castella	B1	8.70	46.00	6.00	WF 400.200.8.13	WF 600.200.8.13	BJ50
B. Struktur Atap								
1	Gording	G1	1.15	46.00	6.00	CNP 150.50.20.2,3	-	BJ50
2	Balok Pengaku	B2	8.70	46.00	6.00	WF 250.125.6.9	WF 375.125.6.9	BJ50

Perhitungan Pembebanan

a. Beban Mati (D)

Tabel 2 Beban mati

No	Nama Item	Kode	Komponen							
			Berat sendiri (selfweight)	Beban penutup atap	Beban Peredam	Berat penggantung	Qd	Berat lain-lain (10%)	Qd_1 Total	Qd_1'
			kg/m						kN/m	
1	Beban mati rafter ujung	D1	CSI ETABS	10.050	0.270	30.000	40.320	4.032	4.351	0.406
2	Beban mati rafter tengah	D2	CSI ETABS	20.100	0.540	174.000	194.640	19.464	21.004	1.960

b. Beban Hidup Atap (Lr)

Tabel 3 Beban hidup atap

No	Nama Item	Kode	Beban Hidup	
			Lr	Lr'
			kN/m	
1	Rafter ujung /tepi	Q_{Lr1}	2.310	2.197
2	Rafter tengah	Q_{Lr2}	4.620	4.394

c. Beban Hujan (R)

Tabel 4 Beban air hujan (R)

No	Nama Item	Kode	Beban Hujan	
			R	R'
			kN/m	
1	Rafter ujung /tepi	R1	0.294	0.280
2	Rafter tengah	R2	0.588	0.559

d. Beban Angin (W)

Tabel 5 Beban angin tekan dan angin hisap

No	Nama Item	Kode	Beban Angin	
			Angin Tekan (W-)	Angin Hisap (W+)
			kN	
A. Beban Angin pada Dinding				
1	Dinding Tepi	W1	0.159	0.132
2	Dinding Tengah	W2	0.306	0.264
B. Beban Angin pada Atap Gable Frame				
1	Rafter Ujung/Tepi	W1	0.115	0.090
2	Rafter Tengah	W2	0.230	0.190

e. Beban Gempa (E)

Didapatkan nilai gaya dasar seismic/base shear
arah X
Cvx = 8471,634 kN
Cvy = 8471,634 kN
Berikut adalah Rekapitulasi Gaya Gempa Lateral

Tabel 7 Parameter beban gempa

Keterangan	Data
Kategori resiko	II
Faktor Keutamaan Gempa	1,00
Kelas situs tanah	SD
Parameter percepatan batuan dasar pada perode pendek (Ss) g	0,701
Parameter percepatan batuan dasar pada perode 1 detik (S_1) g	0,337
Parameter peta transisi periode panjang (TL) detik	20
Faktor amplifikasi periode pendek (Fa)	1,220
Faktor amplifikasi periode 1 detik (Fv)	1,960
Percepatan spektrum pada periode pendek (SMs) g	0,855
Percepatan spektrum pada periode 1 detik (SM_1) g	0,662
Percepatan desain spektrum pada periode pendek (S_{DS}) g	0,570
Percepatan desain spektrum pada periode 1 detik (S_{D1}) g	0,441
Kategori desain seisimik (KDS)	D

Tabel 6 Gaya gempa lateral arah x dan arah y

wi x hi^{kx}	wi x hi^{ky}	Cvx	Cvy	Fx	Fy
				kN	kN
265668,530	176221,203	0,541	0,359	4583,297	3040,157
150413,305	108067,312	0,306	0,220	2594,921	1864,371
917,953	802,733	0,002	0,002	15,836	13,849
74054,251	70937,450	0,151	0,144	1277,579	1223,809
491054,039	**356028,698**			**8471,634**	**6142,185**

Kombinasi Pembebanan

Menurut peraturan SNI 1726-2019 berikut adalah kombinasi beban yang digunakan.

Tabel 8 Kombinasi pembebanan

NOMOR		DL	ADL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
1	1.1	1,4	1,4							
2	2.1	1,2	1,2		0,5					
	2.2	1,2	1,2		1,6	0,5				
3	3.1	1,2	1,2		1,6					
	3.2	1,2	1,2		1,6		0,5			
	3.3	1,2	1,2		1,6			0,5		
	3.4	1,2	1,2		1,6		0,375	0,375		
	3.5	1,2	1,2		1	1,6				
	3.6	1,2	1,2			1,6	0,5			
	3.7	1,2	1,2			1,6		0,5		
	3.8	1,2	1,2			1,6	0,375	0,375		
4	4.1	1,2	1,2		1,0		1,0			
	4.2	1,2	1,2		1,0			1,0		
	4.3	1,2	1,2		1,0		0,75	0,75		
	4.4	1,2	1,2		1,0	0,5	1,0			
	4.5	1,2	1,2		1,0	0,5		1,0		
	4.6	1,2	1,2		1,0	0,5	0,75	0,75		
5	5.1	0,9	0,9				1,0			
	5.2	0,9	0,9					1,0		
	5.3	0,9	0,9				0,75	0,75		
6	6.1	1,314	1,314		1,0				1,30	0,39
	6.2	1,314	1,314		1,0				1,30	-0,39
	6.3	1,314	1,314		1,0				-1,30	0,39
	6.4	1,314	1,314		1,0				-1,30	-0,39
	6.5	1,314	1,314		1,0				0,39	1,3
	6.6	1,314	1,314		1,0				-0,39	1,3
	6.7	1,314	1,314		1,0				0,39	-1,3
	6.8	1,314	1,314		1,0				-0,39	-1,3
7	7.1	0,786	0,786						1,3	0,39
	7.2	0,786	0,786						1,3	-0,39
	7.3	0,786	0,786						-1,3	0,39
	7.4	0,786	0,786						-1,3	-0,39
	7.5	0,786	0,786						0,39	1,30
	7.6	0,786	0,786						-0,39	1,30
	7.7	0,786	0,786						0,39	-1,30
	7.8	0,786	0,786						-0,39	-1,30

Perhitungan Struktur Gable Frame

Direncanakan profil struktur gable frame dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 9 Profil gable frame

No	Nama Item	Profil Awal	Profil Rencana Castella	Gaya Aksial Lokal	Momen Vierendeek Lokal	Kuat aksial perlu (tekan) pada Penampang T	Kuat lentur perlu pada Penampang T	Gaya Geser
				P_r	M_{vr}	P_u	M_u	V_u
1	Rafter Baja Castella	WF 400.200.8.13	HC 600.200.8.13	479.11 kN	3166.70 kN	829.234 kN	4802400 N-mm	63334 N
2	Kolom Baja (WF)	WF 400.200.8.13	-	843.462 kN	-	-	939600000 N-mm	122900 N

Perencanaan Sambungan Struktur Gable Frame

Setelah ditentukan profil struktur gable frame untuk langkah selanjutnya yaitu merencanakan sambungan pada profil struktur gable frame. Rekapitulasi sambungan yang digunakan pada profil struktur gable frame.

Tabel 10 Sambungan struktur gable frame

No	Nama Item	Baut					Plat Sambung		Las				
		n	nx	ny	Jarak antar Baut		Tinggi		Sambungan las tumpul (*groove*)			Sambungan las sudut (*fillet*)	
					S1	S2	h	b	Lw	tw	Tipe	Lw	tw
		mm										mm	
1	Sambungan Momen dan Geser (Rafter dan Kolom)	14.00	2.00	7.00	120	60	840	200	200	6.00	V60	2770	6.00
2	Sambungan Kombinasi Sejajar dan Tegak Lurus (Rafter - Rafter)	**A. Sambungan baut pada penampang sayap**											
		8.00	2.00	4.00	80	40	320	200	-	-	-	-	-
		B. Sambungan baut pada penampang badan											
		8.00	2.00	4.00	100	50	400	200	-	-	-	-	-
3	Sambungan Momen dan Geser (Top Rafter)	10.00	2.00	5.00	150	75	750	200	-	-	-	2590	6.00
4	Sambungan Plat Kolom Dasar (Baseplate)	6.00	-	-	150	300	500	500	-	-	-	3172	6.00

5. KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan struktur gable frame dengan rafter baja castella dan kolom baja WF pada Bangunan Gudang Pabrik Plastik dihasilkan data perencanaan sebagai berikut :

1. Dimensi Profil Gording digunakan CNP 150.50.20.3,2 dengan jarak 1,15 m.
2. Dimensi Trekstang digunakan Besi Polos Ø10 dengan mutu besi tulangan BJTP 280, jarak trekstang l = 2,00 m dari bentang antar portal. Sedangkan dimensi Ikatan Angin digunakan Besi Polos Ø16 dengan mutu BJTP 280.
3. Dimensi rafter baja castella digunakan HC 600.200.8.13, dengan profil awal WF 400.200.8.13. Sedangkan untuk Kolom digunakan WF 400.400.13.21.
4. Sambungan baut dan las yang digunakan :
   a. Sambunngan rafter dan kolom (momen dan geser)
      Sambungan baut
      Mutu baut = A325M
      Mutu plat = BJ 50
      Diameter baut = M16 (16 mm)
      Jumlah baut = 14 baut ; (1 baris terdiri dari 7 baut)
      Plat sambung = 840 x 200 x 21 mm
      Sambungan las
      Mutu las = E60XX

Tebal las sudut = 6,00 mm
Tebal las tumpul = V60 ; 6,00 mm
Panjang las sudut = 2770 mm
Panjang las tumpul= 200 mm

b. Sambungan Rafter kombinasi sejajar tegak lurus (momen dan geser)
Sambungan baut
Mutu baut = A325M
Mutu plat = BJ 50
Diameter baut = M16 (16 mm)
Jumlah baut = 8 baut ; (1 baris terdiri dari 4 baut)
Plat sambung sayap= 320 x 200 x 13 mm
Plat sambung badan= 400 x 200 x 13 mm

c. Sambungan top rafter (momen dan geser)
Sambungan baut
Mutu baut = A325M
Mutu plat = BJ 50
Diameter baut = M16 (16 mm)
Jumlah baut = 10 baut ; (1 baris terdiri dari 5 baut)
Plat sambung = 750 x 200 x 13 mm
Sambungan las
Mutu las = E60XX
Tebal las sudut = 6,00 mm
Panjang las sudut = 2590 mm

5. Dimensi base plate digunakan plat ukuran 500 x 500 x 21 mm, dengan angkur 6 M19-150 dan panjang angkur l = 300 mm.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (1984). *Peraturan Perencanaan Bangunan Bangunan Baja Indonesia (PBBI)*.

Anonim. (1994). *Manual Of Steel Construction Load and Resistance Factor Design*.

Anonim. (2017a). *SNI 2052-2017 Tentang Baja Tulangan Beton*.

Anonim. (2017b). *SNI 8460-2017 Tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*.

Anonim. (2019a). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*.

Anonim. (2019b). *SNI 2847-2019 Tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*.

Anonim. (2020a). *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan*.

Anonim. (2020b). *SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural ANSI/AISC 360-16, IDT)*.

Anonim. (2020c). *SNI 7972:2020 Sambungan Terprakualifikasi untuk Rangka Momen Khusus dan Menengah Baja Pada Aplikasi Seismik (ANSI/AISC 358-16,IDT)*.

Fares, S. S., Coulson, J., & Dinehart, W. D. (2016). *Steel Design Guide 31 Castellated and Cellular Beam Design*. American Institute of Steel Construction.

Fisher, M. J., & Klober, A. L. (2006). *Steel Design Guide 1 Base Plate and Anchor Rod Design Second Edition*. American Institute Of Steel Construction.

Orner, W. B. (1966). *Design Of Welded Structures*. The James F. Licoln Arc Welding Foundation.