

**PERENCANAAN ALTERNATIF MASJID RAYA AN – NUR
POLITEKNIK NEGERI MALANG DENGAN MENGGUNAKAN
PROFIL *CASTELLATED BEAM* NON KOMPOSIT**

**NASKAH TERPUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ALIEFUL FAUZUL ADHIM
NIM. 125060100111054**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

**PERENCANAAN ALTERNATIF MASJID RAYA AN-NUR POLITEKNIK NEGERI
MALANG DENGAN MENGGUNAKAN PROFIL *CASTELLATED BEAM* NON
KOMPOSIT**

Alieful Fauzul Adhim, M. Taufik Hidayat, Devi Nuralinah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan Stadion 25A/59 Pamekasan 69317 – Telp 085655077284

Email: alief_afa@yahoo.com

ABSTRAK

Negara Indonesia memiliki luas wilayah yang cukup besar dan memiliki potensi pengembangan daerah yang cukup besar pula. Salah satu contoh daerah tersebut adalah Kota Malang. Kota Malang sebagai potensi dalam bidang pariwisata, pendidikan, industri, pertanian dan perdagangan. Tetapi hal ini dapat menimbulkan permasalahan baru karena semakin terbatasnya lahan yang tersedia akibat pembangunan yang dilakukan terus-menerus. Salah satu bangunan yang ada di Kota Malang yang sedang dibangun adalah Masjid An – Nur Polinema (Politeknik Negeri Malang). Bangunan ini direncanakan menggunakan struktur beton bertulang dan direncanakan bangunan empat lantai. Perencanaan menggunakan struktur beton bertulang dilakukan karena lebih mudah dikerjakan dan tidak memerlukan tenaga ahli atau khusus untuk mengerjakannya, tetapi bagaimanakah jika bangunan tersebut direncanakan menggunakan struktur baja. Perencanaan lain menggunakan struktur baja. Profil baja *Castlellated Beam* adalah hasil pengembangan dari model profil baja *Wide Flange Shape*. Profil baja *Castlellated Beam* ini belum banyak digunakan pada gedung tinggi. Dengan hasil analisis dan evaluasi ini nantinya akan diharapkan dapat membuka pengetahuan mahasiswa tentang analisis dari profil baja *Castlellated Beam*.

Kata kunci: LRFD, Stuktur Baja, *Castellated Beam*

ABSTRACT

Indonesia has large area and has potential for development process, The example of the developing region is Malang. Malang, as city that has potential in the tourism, education, industry, agriculture and trade must be balance with the development process. This can lead to new problems because of the lack of available land due to development performed continuously. One of the buildings in Malang that is being constructed is Masjid An - Nur Polinema (Polytechnic of Malang). The building is planned to use reinforced concrete structure and a planned four-storey building. The plans to use reinforced concrete structures is done because it is easier to do and does not require expertise or special to do, but how if the building is planned to use a steel structure. The other plan to use is Beam Castlellated steel profile. This profile is a result of the development of models of steel profiles Wide Flange Shape. Beam Castlellated steel profile has not been widely used in skyscraper. With the results of this research and evaluation will be expected to open the students' knowledge about the analysis of steel profiles Castlellated Beam.

Keywords: *Castellated Beam*, LRFD, Steel Structure

1. PENDAHULUAN

Kota Malang yang memiliki kelebihan beriklim sejuk sangat disukai oleh banyak pendatang baru. Sehingga menjadikan Kota Malang sebagai potensi dalam bidang pariwisata, pendidikan, industri, pertanian dan perdagangan. Hal ini menyebabkan bertambah padatnya kota Malang.

Kota Malang juga tidak luput dari kegiatan pembangunan, misalnya hotel, apartemen, perumahan, pusat perbelanjaan, sekolah, perkantoran, dan rumah sakit dan membuka daerah-daerah baru. Pembangunan tersebut dilakukan untuk menunjang kebutuhan masyarakat. Tetapi hal ini dapat menimbulkan permasalahan baru karena semakin terbatasnya lahan yang tersedia akibat pembangunan yang dilakukan terus-menerus.

Salah satu bangunan yang ada di Kota Malang yang sedang dibangun adalah Masjid An - Nur Polinema (Politeknik Negeri Malang). Bangunan ini direncanakan menggunakan struktur beton bertulang dan direncanakan bangunan empat lantai. Perencanaan menggunakan struktur beton bertulang dilakukan karena lebih mudah dikerjakan dan tidak memerlukan tenaga ahli atau khusus untuk mengerjakannya tetapi bagaimanakah jika bangunan tersebut direncanakan menggunakan struktur baja. Oleh karena itu perlu adanya perencanaan lain khususnya menggunakan struktur baja. Struktur baja pun memiliki kekurangan dari segi pabrikan dan perawatan, serta struktur baja juga lebih mahal dibandingkan dengan struktur beton. Profil baja *Castellated Beam* adalah hasil pengembangan dari model profil baja *Wide Flange Shape*. Untuk perhitungan alternatif Masjid An - Nur Politeknik Negeri Malang perencanaan menggunakan profil baja *Castellated Beam* non komposit tahan gempa.

1. TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Tinjauan Umum

Baja adalah bahan konstruksi yang memiliki kekuatan yang tinggi dibandingkan bahan lain. Baja memiliki sifat keliatan (*ductility*) yaitu kemampuan untuk berdeformasi baik dalam tegangan maupun kompresi sebelum terjadi kegagalan. Baja juga memiliki daya tahan (*durability*) khususnya terhadap cuaca yang merupakan pertimbangan penting untuk

menggunakan baja selain penyediaan secara luas yang dapat dilakukan secara mudah. Selain itu dibandingkan dengan konstruksi beton, baja memiliki keunggulan jika ditinjau dari berat material dan waktu pelaksanaannya. Baja relatif lebih ringan dibandingkan beton dan dalam waktu pelaksanaannya relatif lebih singkat.

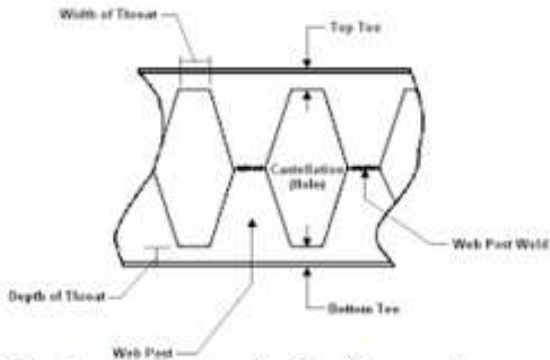
Perkembangan teknologi dalam ilmu teknik sipil yang pesat, memungkinkan dilakukan penggabungan dua elemen struktur bangunan yang berbeda yang lebih dikenal dengan komposit. Komposit yang populer dalam teknik sipil salah satunya adalah penggabungan baja dengan beton. Penggabungan tersebut karena beton hanya memiliki kekuatan tekan yang besar dan memiliki kekuatan tarik yang rendah maka perlu digabungkan dengan baja yang memiliki kekuatan tarik yang besar. Di bidang lain seperti perencanaan arsitektur, banyak dirancang gedung yang memiliki bentang struktur relatif besar yang bertujuan efisiensi tata ruang bagi pemakainya. Yang dimaksudkan dengan efisiensi tata ruang yaitu lebih ke tujuan untuk mendapatkan ruang bebas dari bangunan gedung tersebut. (Omer W. Blodgett 1996)

2. *Castellated Beam*

Castellated Beam adalah profil yang kekuatannya komponen strukturnya bertambah dengan cara memperpanjang profil ke arah satu sama lain dan di las sepanjang pola. Profil ini juga biasa disebut sarang lebah karena memiliki bentuk lubang segi enam menyerupai sarang.

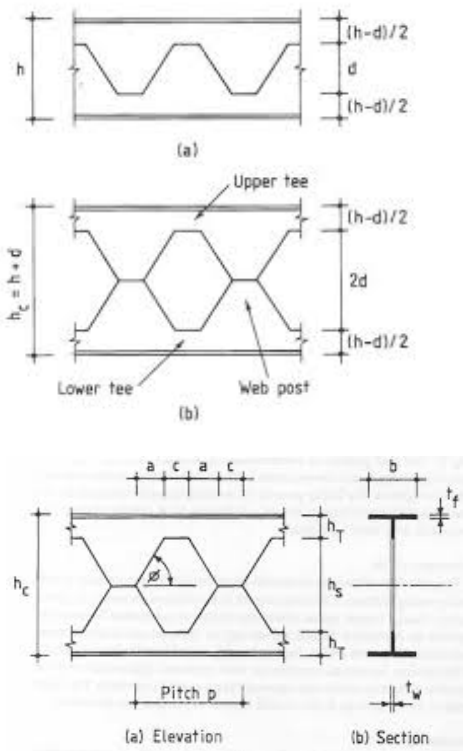
Berikut ini merupakan ilustrasi bagian dari *Castellated Beam* :

- Web Post : Area solid dari *Castellated Beam*
- Castellation : Area yang sudah mengalami pelubangan (hole).
- Throat Width : Perpanjangan horizontal dari potongan "gigi" bawah profil.
- Throat Depth : Tinggi daerah profil potongan "gigi" bawah sampai sayap profil.



Gambar 2.1. Bagian – bagian *Hexagonal Castellated Beams* (Patrick Bardley, 2007)

Proses pemotongan dengan zig – zag pada badan profil yang dicetak menggunakan *hot – rolled* (cetakan panas) berbentuk H, I, atau U disebut *Castellation*. Setelah dipotong, profil baja disambung dengan cara digeser atau dibalik (ujung kanan dan ujung kiri dilas, dan sebaliknya) sehingga terbentuk lubang *polygonal*. Karena pemotongan dan sambungan dengan las ini mengakibatkan profil baja



Gambar 2.2. Castellation proses (L.Amayreh dan M.P. Saka, 2005).

3. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data yang dimaksud adalah mengumpulkan gambar rencana kerja dari tim teknis proyek. Gambar rencana kerja ini berguna

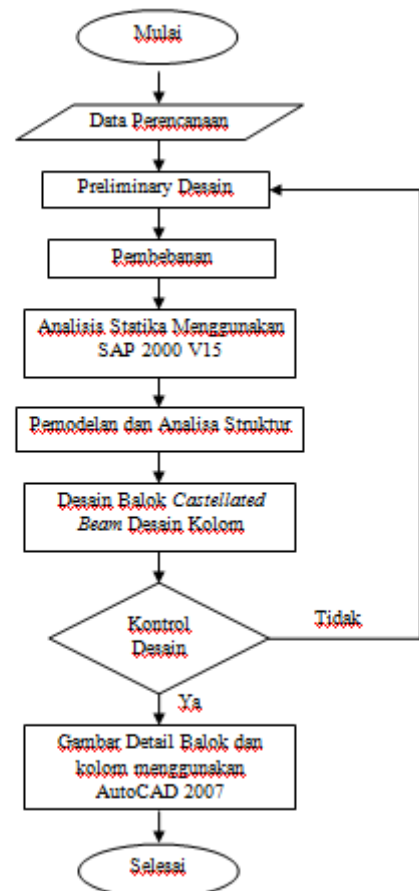
sebagai acuan untuk merencanakan gedung dalam analisis alternatif ini.

3.1 Data Perencanaan

Nama Proyek : Masjid Raya An-Nur
 Politeknik Negeri Malang
 Alamat Proyek : Jalan Soekarno Hatta
 no.9 Malang
 Pemilik Proyek : Politeknik Negeri
 Malang
 Pelaksana Proyek : Tim Politeknik
 Negeri Malang
 Tanggal Mulai Proyek : Maret 2014
 Luas Denah :
 Lantai 1 : 1152 m²
 Lantai 2 - 4 : 550 m²
 Tinggi Bangunan : ± 25,70 m
 Zona Gempa : 4

Struktur Alternatif : Struktur baja menggunakan balok *Castellated Beam* dan kolom menggunakan *Wide Flange*.

3.2 Diagram Alir



Gambar 3.1. Diagram alir perencanaan

4. PEMBAHASAN

4.1 Data Pembebanan

4.1.1 Beban Mati

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (PPIUG 1983), beban mati diatur sebagai berikut:

- Bahan Bangunan:
 - Beton bertulang = 2400 kg/m³
- Komponen Gedung:
 - Spesi per cm tebal = 21 kg/m³
 - Keramik = 24 kg/m³
 - Dinding bata merah ½ batu = 250 kg/m²
 - Eternit + Penggantung langit – langit = 11 kg/m³

4.1.2 Beban Hidup

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (PPIUG 1983), beban hidup diatur sebagai berikut:

- Ruang kuliah dan kantor = 250 kg/m²
- Ruang pertemuan dan rapat = 400 kg/m²
- Ruang alat – alat mesin dan gedung = 400 kg/m²
- Tangga dan lorong kuliah = 300 kg/m²

4.2 Pembebanan Balok

4.2.1 Pembebanan Pelat Atap (lantai 4)

1. Beban hidup:
 - Lantai atap (qL) = 100 kg/m²
2. Beban mati:
 - Berat beton bertulang (qD) = 0,1 m x 2400 = 240 kg/m²
 - Eternit = 11 kg/m²
 - Total (qD) = 251 kg/m²

4.2.2 Pembebanan Pelat Lantai (Tipikal lantai 2 dan 3)

1. Beban hidup:
 - Lantai ruang kuliah dan kantor (qL) = 250 kg/m²
2. Beban mati:
 - Berat beton bertulang (qD) = 0,12 m x 2400 = 288 kg/m²
 - Spesi = 3 x 21 = 63 kg/m²

$$\text{Keramik} = 1 \times 24 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Bata merah } \frac{1}{2} \text{ Batu} = 4,5 \times 250 \times 0,75 = 843,75 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Eternit} = 11 \text{ kg/m}^2$$

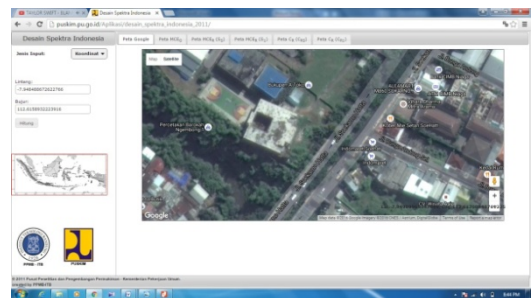
$$\text{Total (qD)} = 1229,75 \text{ kg/m}^2$$

4.2.3 Pembebanan Atap Baja

Desain atap Gedung Masjid An – Nur Politeknik Negeri Malang merupakan rangka baja. Untuk perencanaan skripsi ini, beban atap yang akan diterima oleh portal digunakan nilai asumsi untuk tumpuan sendi rol yaitu 4000 kg.

4.3 Analisis Beban Gempa

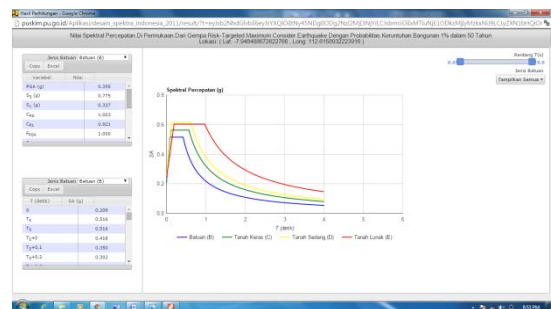
Pada perhitungan beban gempa pada Masjid An – Nur Politeknik Negeri Malang, perhitungan spectrum respons desain menggunakan program yang telah disediakan PU: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_in_donesia_2011/. Dengan cara memasukkan jenis input koordinat tempat yang akan ditinjau.



Gambar 4.1 Lokasi Gedung Masjid An – Nur Polinema

Lintang: -7.948488672622766,

Bujur :112.6158932223916



Gambar 4.2 Respon spectral percepatan di permukaan.

Maka akan diperoleh nilai S_s dan S_1

$$S_s = 0,775 \quad S_1 = 0,327$$

Mencari nilai F_a

Tabel 4.1 Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) S_s

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 0,2$ Detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai - nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linear
- (b) $S_s =$ Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs - spesifik, lihat 6.10.1

Interpolasi:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

Interpolasi Linear

$$S_s = 0,775$$

Maka,

$$F_a = 1,09$$

SC	X	0,75	1
	Y	1,1	1

Mencari nilai F_v

Tabel 4.2 Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) S_1

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 0,2$ Detik, S_1				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai - nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linear
- (b) $S_s =$ Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs - spesifik, lihat 6.10.1

Interpolasi:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

Interpolasi Linear

SC	X	0,3	0,4
	Y	1,5	1,4

$$S_1 = 0,327$$

Maka,

$$F_v = 1,473$$

- a. Mencari parameter spectrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}), dengan asumsi nilai F_s dan F_v diambil dai kelas situs SC.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,09 \times 0,775 = 0,845$$

$$S_{M1} = F_{vw} S_1 = 1,473 \times 0,327 = 0,482$$

- b. Menghitung parameter percepatan spectrum desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik (S_{D1})

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 \times 0,845 = 0,563$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 2/3 \times 0,482 = 0,321$$

- c. Menentukan periode fundamental pendekatan (T_s)

Dalam SNI 1726 – 2012, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan (T_s) dalam detik, dari persamaan berikut, untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa untuk Sistem Rangka Pemikul Momen secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m (dimana pada Gedung Masjid An – Nur Polinema tinggi tingkat paling rendah 4 m):

$$T_s = 0,1N = 0,1 \times N = 0,4$$

Keterangan: N = Jumlah tingkat

- d. Membuat spectrum respon desain

1. Untuk membuat periode yang lebih kecil dari T_0 , nilai S_a menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) =$$

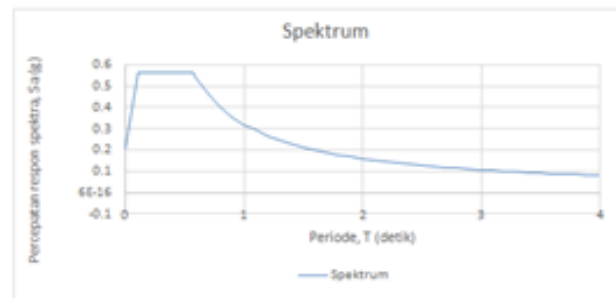
$$0,565 \left(0,4 + 0,6 \frac{0,4}{0,114} \right) = 1,41$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spectrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} .

3. Untuk periode lebih besar dari T_s , spectrum respons percepatan desain S_a diambil menggunakan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,321}{0,4} = 0,803$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,321}{0,563} = 0,570 \quad ; \quad T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,321}{0,563} = 0,114$$



Gambar 4.3 Respon spektrum desain

- e. Menentukan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dievaluasi berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan 1 detik, yaitu dinilai SDS dan SDJ

Untuk nilai $S_{DS} = 0,565$ dan $S_{D1} = 0,322$ maka dari tabel diatas, didapatkan kategori seismic D. Dalam hal ini, system struktur yang dipakai untuk kategori seismic D adalah Rangka Baja dan Beton Komposit Pemikul Momen Khusus

- f. Menghitung koefisien respon seismic (C_s)

Koefisien respon seismik, C_s harus dengan persamaan :

$$C_s(\text{hitungan}) = \frac{S_{ds}}{R} = \frac{0,565}{8} = 0,071$$

Keterangan :

I_e : 1,5 (faktor keutamaan gempa untuk kategori resiko II)

R : 8 (koefisien modifikasi respons untuk rangka pemikul momen khusus beton bertulang, SNI 1726-2012 Pasal 7.2.2)

$$C_s(\text{maks}) = \frac{S_1}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,328}{0,9 \left(\frac{8}{1,5} \right)} = 0,068$$

Nilai C_s yang dihitung juga tidakkurang dari : $C_s(\text{min}) = 0,044. S_{ds}. I_e \geq 0,01$

$$= 0,044.0,565.1,5 \geq 0,01$$

$$= 0,0373 \geq 0,01$$

Jadi, nilai Cs yang diambil adalah Cs maks karena :

$$Cs \text{ Hitungan} \geq Cs(\text{maks})$$

$0,106 \geq 0,068$ (maka Cs yang digunakan : 0,068)

4.4 Kombinasi pembebanan

Struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua paenampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu, yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya yang sesuai dengan ketentuan.

Kombinasi pembebanan pokok yang diperhitungkan adalah sebagai berikut:

- a. Bila kuat perlu U untuk menahan beban mati D, dan beban hidup L, dan juga beban atap Lr atau beban hujan R, paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$$

- b. Bila ketahanan struktur terhadap beban angin W, maka harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh kombinasi D, L, dan W yang akan dihitung menentukan nilai U yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2 D + 1,6 L (Lr \text{ atau } R) + (Lr \text{ atau } 0,5 W)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } W)$$

$$U = 0,9 D + 1,0 W$$

- c. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E, maka harus dipertimbangkan dalam perencanaan. Pengaruh kombinasi D, L, dan E yang akan dihitung menentukan nilai U yang terbesar yaitu:

$$U = 1,2 D + 1 E1 + 1,0 L$$

$$U = 1,2 D + 1 E2 + 1,0 L$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E1$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E1$$

Keterangan :

E1: gempa arah utara – selatan dan barat – timur

E2: gempa arah selatan – utara dan timur – barat

Faktor beban untuk L boleh direduksi menjadi 0,5 L kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan, dan semua ruangan dengan beban hidup L-nya lebih besar dari 500 kg/m.

4.5 Input data SAP 2000

Input data merupakan sekumpulan perintah dan data yang akan digunakan dalam memodelkan dan menganalisis model struktur. Berikut penjelasan singkatnya:

- Gometry
Memuat informasi tentang leatak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu x, y, dan
- General → Property
Memuat informasi tentang data-data dari elemen struktur batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis melalui properti, dan momen inersia dari setiap elemen
- General → Load
Memuat informasi tentang data-data dari elemen batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis meliputi beban yang bekerja pada elemen. Beban yang bekerja dari analisis struktur yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

Beban mati : Selfweight Y -1

Beban hidup : Floor with Y range

Beban gempa : Spektrum

Beban atap : Joint load beam atap

Beban angin : Wind definition
- General → Load Combination
Memuat informasi mengenai kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis struktur utama
- General → Support
Memuat informasi mengenai perletakan tumpuan pada struktur yang akan dianalisis
- Analyze → Run Analyze
Memuat informasi untuk mendapatkan hasil dari input yang telah dimasukkan

4.6 Perencanaan Struktur Primer

Perencanaan struktur primer meliputi struktur balok induk dan kolom

4.6.1 Perencanaan Balok

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan program aplikasi analisis struktur, maka diperoleh gaya-gaya dalam. Pada perencanaan balok ini digunakan momen dan gaya lintang. Selanjutnya dilakukan analisis balok berdasarkan SNI 1726:2012. Contoh perhitungan

dilakukan menggunakan profil WF 400x200x8x13.

Hasil output SAP 2000 v15 akibat beban kombinasi, didapat:

Rekapitulasi Momen dan Geser :

Lantai	Momen Maksimum	Geser Maksimum
1	51800,01 kgm	29682,72 kg
2	50468,64 kgm	29649,16 kg
3	45795,72 kgm	28191,48 kg
4	23867,78 kgm	14332,72 kg

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 51800,01 \text{ kgm} \\ &= 5180001 \text{ kgcm} \\ V_u &= 29682,72 \text{ kg} \\ L &= 10 \text{ m} \end{aligned}$$

Profil WF 400x200x8x13

$$\begin{aligned} \text{Mutu baja BJ 50, } f_y &= 290 \text{ Mpa} \\ &= 2900 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= 400 \text{ mm} \\ b_f &= 200 \text{ mm} \\ t_w &= 8 \text{ mm} \\ t_f &= 13 \text{ mm} \\ I_x &= 23700 \text{ cm}^4 \\ Z_x &= 1285,952 \text{ cm}^3 \\ S_x &= 1190 \text{ cm}^3 \\ \phi &= 60^\circ \\ r &= 16 \text{ mm} \\ h &= d - 2(t_f + r) = 342 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.6.2 Kontrol Penampang

Cek kelangsingan profil WF

- Pelat Sayap

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 9,98$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = 7,69$$

$\lambda_p > \lambda \rightarrow$ Penampang Kompak

- Pelat badan

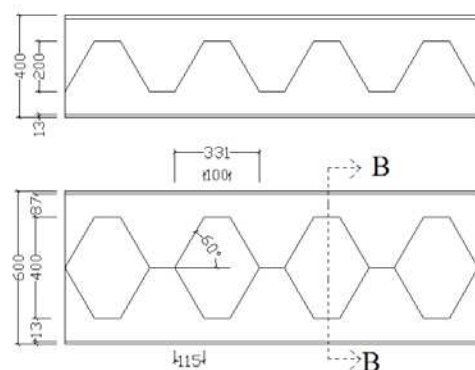
$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 98,65$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 42,75$$

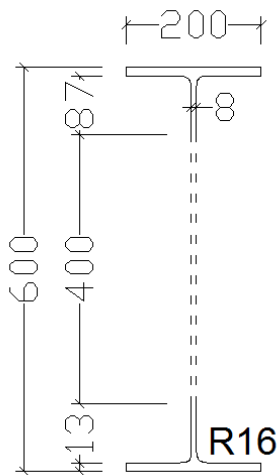
$\lambda_p > \lambda \rightarrow$ Penampang Kompak (OK)

4.6.3 Perhitungan Dimensi Profil Castellated Beam (Berdasarkan Jurnal Openned Web Expanded Beam and Girder)

$$\begin{aligned} \text{Asumsi, } K_1 &= 1,5 \\ h &= d (K_1 - 1) \\ &= 200 \text{ mm} \\ d_g &= d + h \\ &= 600 \text{ mm} \\ b &= \frac{h}{\tan \phi} \\ &= 115,470 \text{ mm} \\ d_T &= \frac{d_g - 2t_f}{2} - h \\ &= 87 \text{ mm} \\ h_o &= 2h = 400 \text{ mm} \\ e &= 0,25 \times h_o = 100 \text{ mm} \\ a_o &= 2b + e = 330,94 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.7 Potongan Memanjang Castellated Beam



Gambar 4.8 Potongan melintang Castellated Beam

Maka profil wide flange menjadi profil Castellated dengan data-data sebagai berikut :

d_g	=	600	mm
bf	=	200	mm
r	=	16	mm
h_o	=	400	mm
a_o	=	330,94	mm
t_w	=	8	mm
t_f	=	13	mm
h	=	$d_g - 2(t_f + r)$	= 542 mm
L	=	10	m

4.6.4 Mencari I_x dan Z_x pada Profil Castellated Beam

- Pada bagian tanpa lubang

$$I_x = \left(\frac{1}{12} x b x dg^3 \right) - \left(2 x \frac{1}{12} x \left(\frac{b-tw}{2} \right) \right) (dg - 2tf)^3$$

$$= 57409,2416 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = \left(\frac{t_w x dg^2}{4} \right) - (bf - tw)(dg - tf) x tf$$

$$= 2185,152 \text{ cm}^3$$

- Pada bagian berlubang

$$I_x = \left(\frac{1}{12} x b x dg^3 \right) - \left(2 x \frac{1}{12} x \left(\frac{b-tw}{2} \right) \right) (dg - 2tf)^3 - \left(\frac{1}{12} x t_w x (dg - 2tf - 2h)^3 \right)$$

$$= 48565,8416 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = \left(\frac{1}{4} x b x dg^2 \right) - \left(2 x \frac{1}{4} x \left(\frac{b-tw}{2} \right) \right) (dg - 2tf)^2 x \left(\frac{1}{4} x t_w x h^2 \right)$$

$$= 1865,152 \text{ cm}^3$$

$I_x = I_x$ rata – rata

$$I_x = \frac{I_x \text{ tanpa lubang} + I_x \text{ berlubang}}{2}$$

$$I_x = 52987,5416 \text{ cm}^4$$

4.6.5 Kontrol Penampang

Cek kelangsingan profil WF

- Pelat Sayap

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 9,98$$

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = 7,69$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ Penampang Kompak (OK)

- Pelat badan (ketika solid)

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 98,65$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 67,75$$

$\lambda < \lambda_p \rightarrow$ Penampang Kompak (OK)

Dari kombinasi pembebanan didapat

$$M_u = 51800,01 \text{ kgm} = 5180001 \text{ kgcm}$$

Karena penampang kompak, maka:

$$M_n = M_p$$

$$M_p = F_y x Z_x$$

$$= 6336940,8 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= 1,5 \times M_y \\
 &= 1,5 \times (F_y \times S_x) \\
 &= 7508013 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

(Dipilih M_p yang terkecil, maka diambil $M_p = 6336940,8 \text{ kgcm}$)

$$\begin{aligned}
 \emptyset M_n &= 0,9 \times M_p \\
 &= 5703246,72 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset M_n \geq M_u$$

$$5703246,72 \geq 5180001 \text{ kgcm (OK)}$$

- Pelat badan (ketika berlubang)

$$\lambda = \frac{dT}{tw} = 10,875$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 11,98$$

$$\lambda_R = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_R}} = 24,94$$

$\lambda < \lambda_p < \lambda_R$ maka, Penampang Kompak (OK)

Kontrol tekuk lateral :

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y$$

$$L_p = 2106,124 \text{ mm}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$f_L = 290 - 70$$

$$f_L = 220$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$X_1 = 12929,06 \text{ MPa}$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{C \cdot J} \right)$$

$$X_2 = 6,244 \text{ mm}^4/N^2$$

$$L_r = r_y \frac{X_2}{f_L} \sqrt{1 + X_2 (f_L)^2}$$

$$L_r = 77768,82 \text{ mm}$$

$$L_p < L < L_r \text{ (Bentang Menengah),}$$

$$2106,124 \text{ mm} < 10000 \text{ mm} < 77768,82 \text{ mm}$$

Sehingga,

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 \times M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \leq 2,3$$

M_{max} = Momen maksimum bentang yang ditinjau

$$M_{max} = 51800,01 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned}
 M_A &= \text{Momen } \frac{1}{4} \text{ bentang} \\
 &= 8992 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_B &= \text{Momen } \frac{1}{2} \text{ bentang} \\
 &= 12034,74 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_C &= \text{Momen } \frac{3}{4} \text{ bentang} \\
 &= 19050,42 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= \text{Momen batas tekuk} \\
 &= S (f_y - f_r) \\
 &= 34510 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$C_b = 0,247 \leq 2,3$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= F_y \times Z_x \\
 &= 6336940,8 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= 1,5 \times M_y \\
 &= 1,5 \times (F_y \times S_x) \\
 &= 7508013 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

(Dipilih M_p yang terkecil, maka diambil $M_p = 6336940,8 \text{ kgcm}$)

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p$$

M_p

$$M_n = 1394290,123 \leq 6336940,8 \text{ kgcm} \dots \text{ (OK)}$$

Kontrol kuat geser :

- $\frac{d - 2t_f}{tw} = 71,75$
- $\frac{1365}{\sqrt{f_y}} = 80,12$
- $\frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 74,594$

Kontrol tekuk badan (berdasarkan ASCE journal page 3319)

- $\frac{d - 2t_f}{tw} \leq \frac{1365}{\sqrt{f_y}}$

$$71,75 \leq 80,12... \text{ (OK)}$$

- $\frac{d-2tf}{tw} \leq \frac{1100}{\sqrt{fy}}$

$$71,75 \leq 74,594 \dots \text{ (OK)}$$

$$a_o = 330,94 \text{ mm}$$

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

$$\frac{a_o}{h_o} = 0,83 \leq 3,0 \text{ (OK)}$$

$$V_p = f_y \times t_w \times \frac{d}{\sqrt{3}}$$

$$= 11653,24 \text{ kg}$$

$$P_o = \frac{a_o}{h_o} + \frac{6h_o}{d}$$

$$= 4,83 \leq 5,6 \dots \text{ (OK)}$$

(Nilai 5,6 adalah untuk baja non komposit)

Untuk tee atas dan bawah :

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

$$= 116532,387 \text{ kg}$$

$$\mu = 0$$

$$v = \frac{a_o}{d_t} = \frac{330,94}{87} = 3,80$$

$$\frac{\sqrt{6} + \mu}{v + \sqrt{3}} = 0,44 \leq 1 \text{ (OK)}$$

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

$$= 51561,944 \text{ kg}$$

$$V_{nt} \leq V_{pt} \rightarrow 51561,944 \text{ kg}$$

$$\leq 116532,387 \text{ kg}$$

$$V_n = \sum V_{nt} = 2 \times V_{nt}$$

$$= 2 \times 51561,944$$

$$= 103123,855 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = \phi V_n$$

$$= 0,9 \times V_n$$

$$= 0,9 \times 103123,855$$

$$= 92811,499 \text{ kg}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$92811,499 \geq 29682,71 \text{ kg}$$

4.6.6 Persamaan Interaksi :

$$\left(\frac{M_u}{M_n}\right)^3 + \left(\frac{V_u}{V_n}\right)^3 \leq 1,0$$

$$0,77 \leq 1,0 \dots \text{ (OK)}$$

4.6.7 Kontrol Jarak Antar Lubang :

$$S = 2 (b + e) = 430,94 \text{ mm}$$

$$S \geq h_o = 430,94 \geq 400 \dots \text{ (OK)}$$

$$S \geq a_o \left(\frac{0,200}{1-0,200} \right)$$

$$43,094 \geq 8,28 \dots \text{ (OK)}$$

4.6.8 Kontrol Lentutan

Dari analisis struktur program SAP2000 di dapat lentutan sebesar 0,02 m atau 2 cm pada joint 35

Jadi profil Castellated Beam untuk balok induk yang dipakai 600x200x8x13 mm.

4.7 Perencanaan Kolom

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan program aplikasi analisis struktur, maka diperoleh gaya-gaya dalam. Pada perencanaan kolom ini, digunakan momen dan gaya normal. Selanjutnya dilakukan analisis pada kolom berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002.

Contoh perhitungan dilakukan menggunakan WF 344x354x16x16 mm.

Bf	= 354 mm
tf	= 16 mm
tw	= 16 mm
ry	= 84,3 mm
fy	= 290 MPa
fu	= 500 MPa
ro	= 22 Mpa
Es	= 200000 MPa
G	= 80000 MPa
rx	= 146 mm
d	= 344 mm
h	= 268 mm
As	= 16660 mm ²
Zx	= 1882128 mm ³
Sx	= 2050000 mm ³
Ix	= 353000000 mm ⁴
Iy	= 118000000 mm ⁴
Cw	= 3,17373E+12 mm ⁴
J	= 1392640 mm ⁴

4.7.1 Kontrol Penampang

$$N_{u \max} = 223803,67 \text{ kg}$$

Cek kelangsingan penampang pada profil WF

- Pelat Sayap
 - $\frac{b/2}{t_f} = 11,063$
 - $\frac{250}{\sqrt{f_y}} = 14,68050549$
 - $\frac{b/2}{t_f} < \lambda_r \dots$ (OK)
- Pelat badan
 - $\frac{h}{t_w} = 16,75$
 - $\frac{665}{\sqrt{f_y}} = 39,0501446$
 - $\frac{h}{t_w} < \lambda_r \dots$ (OK)

Faktor panjang efektif

Bagian dasar kolom diasumsikan jepit, sehingga $G_A = 1$

$$I_x = 35300 \text{ cm}^4$$

Momen inersia Castellated beam 600x200x8x13 mm.

$$I_x = 52987,5416 \text{ cm}^4$$

Faktor panjang efektif k

$$G_{Bx} = \frac{\sum (\frac{I}{L})_{kolom}}{\sum (\frac{I}{L})_{balok}}$$

$$G_{Bx} = 0,216872723$$

4.7.2 Akibat portal tidak bergoyang

$$(1,2D + 1,6L)$$

$k_{cx} = 1,81$ (dari nomogram diagram)

$$\lambda_c = \frac{k_{cx} \cdot L}{r_x \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$$

$$\lambda_c = 0,441$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,441 < 1,2$, (kolom menengah inelastic) maka:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)}$$

$$\omega = 1,096087191$$

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

$$f_{cr} = 264,577492 \text{ MPa}$$

Kuat rencana nominal

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

$$N_n = 440786,1017 \text{ kg}$$

$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = 0,597 > 0,2$ Maka menggunakan persamaan

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

Cek kelangsingan penampang profil

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{223803,67}{0,85 \cdot 440786,1017} = 0,597 > 0,125$$

- $\lambda = \frac{h}{t_w}$
- $\lambda = 16,75$
- $\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} \left(2,33 - \frac{N_u}{\phi_c N_y} \right) > \frac{665}{\sqrt{f_y}}$
- $\lambda_p = 54,80 > 39,05$
- $\lambda < \lambda_p$

$16,75 < 54,80$ (Maka penampang kompak)

Kontrol tekuk lateral :

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y$$

$$L_p = 4910,71 \text{ mm}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$f_L = 290 - 70$$

$$f_L = 220$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$X_1 = 20867,85025 \text{ MPa}$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)$$

$$X_2 = 1,98 \text{ mm}^4 / N^2$$

$$L_r = r_y \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + X_2 (f_1)^2}$$

$$L_r = 140909 \text{ mm}$$

$$L < L_p$$

$4500 < 4910,71 \text{ mm}$ (Bentang Pendek) (OK)

Sehingga $M_n = M_p$

Untuk Mnx

- $M_{px} = Z_x \cdot f_y$
- $M_{px} = 545817,12 \text{ kgm}$

$$M_{px} = 1,5 \cdot My$$

$$M_{px} = 1,5 \cdot Fy \cdot Sx$$

$M_{px} = 891750 \text{ kgm}$ (Dipilih yang terkecil, maka diambil $M_{px} = 545817,12 \text{ kgm}$)

$$\emptyset Mnx = 0,9 \times Mpx$$

$$= 491235,408 \text{ kgm}$$

Untuk Mny

- $M_{py} = Z_y \cdot f_y$
- $M_{py} = 14997,862 \text{ kgm}$

$$M_{py} = 1,5 \cdot My$$

$$M_{py} = 1,5 \cdot Fy \cdot Sy$$

$M_{py} = 304065 \text{ kgm}$ (Dipilih yang terkecil, maka diambil $M_{py} = 14997,862 \text{ kgm}$)

$$\emptyset Mny = 0,9 \times Mpy$$

$$= 13498,076 \text{ kgm}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b Mux :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 5181,98 \text{ kgm}$$

$$M_A = 1552,22 \text{ kgm}$$

$$M_B = 691,06 \text{ kgm}$$

$$M_C = 2324,17 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 6393,34 \text{ kgm}$$

- $\frac{k_{cx} \cdot L}{r_x} = 55,8$
- $C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$
- $C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{5181,98}{6393,34}\right)$
- $C_m = 0,275$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot Es \cdot Ag}{\left(\frac{k_{cx} \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

- $N_{el} = 336020,863 \text{ kg}$

- $\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$

$$\delta_b = 0,823 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

$$Mux = \delta_b \cdot Mu \text{ maks}$$

$$= 1 \cdot 6393,34 = 6393,34 \text{ kgm}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b Muy :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 385,08 \text{ kgm}$$

$$M_A = 15,93 \text{ kgm}$$

$$M_B = 237,56 \text{ kgm}$$

$$M_C = 372,77 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 681,55 \text{ kgm}$$

$$\frac{k_{cy} \cdot L}{r_y} = \frac{1,81 \cdot 4500}{84,3}$$

- $\frac{k_{cy} \cdot L}{r_y} = 96,62$
- $C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$
- $C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{385,08}{681,55}\right)$
- $C_m = 0,373$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot Es \cdot Ag}{\left(\frac{k_{cy} \cdot L}{r_y}\right)^2}$$

- $N_{el} = 112072,8909 \text{ kg}$
- $\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$

$$\delta_b = 0,374 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

$$Muy = \delta_b \cdot Mu \text{ maks}$$

$$= 1 \cdot 681,55$$

$$= 681,55 \text{ kgm}$$

Kontrol kuat tekan lentur :

- $\frac{N_u}{\phi_c x N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b x M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b x M_{ny}} \right) \leq 1,0$
 $0,653 \leq 1,0 \dots \text{(OK)}$

4.7.3 Akibat portal bergoyang (1,2D + 1L + 1Ex + 0,3Ey)

Akibat portal tidak bergoyang (1,2D + 1L)

$k_{cx} = 1,81$ (dari nomogram diagram)

$$\lambda_c = \frac{k_{cx} \cdot L}{r_x \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$$

$$\lambda_c = 0,441$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,441 < 1,2$, (kolom menengah inelastic) maka:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)}$$

$$\omega = 1,096087191$$

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

$$f_{cr} = 264,577492 \text{ MPa}$$

Kuat rencana nominal

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

$$N_n = 440786,1017 \text{ kg}$$

$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = 0,593 > 0,2$ Maka menggunakan persamaan

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

Cek kelangsingan penampang profil

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = 0,593 > 0,125$$

- $\lambda = \frac{h}{t_w}$
- $\lambda = 16,75$
- $\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} \left(2,33 - \frac{N_u}{\phi_c \cdot N_y} \right) > \frac{665}{\sqrt{f_y}}$
- $\lambda_p = 50,99 > 39,05$

$10,467 < 50,99$ (Maka penampang kompak)

Kontrol tekuk lateral :

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y$$

$$L_p = 4910,71 \text{ mm}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$f_L = 290 - 70$$

$$f_L = 220$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$X_1 = 20867,85025 \text{ MPa}$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)$$

$$X_2 = 1,98 \text{ mm}^4 / N^2$$

$$L_r = r_y \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + X_2 (f_1)^2}$$

$$L_r = 140909 \text{ mm}$$

$$L < L_p$$

$4500 < 4910,71 \text{ mm}$ (Bentang Pendek) (OK)

Sehingga $M_n = M_p$

Untuk Mnx

- $M_{px} = Z_x \cdot f_y$
- $M_{px} = 1882128.290$
- $M_{px} = 545817120 \text{ Nmm}$
- $M_{px} = 545817,12 \text{ kgm}$

$$M_{px} = 1,5 \cdot M_y$$

$$M_{px} = 1,5 \cdot F_y \cdot S_x$$

$M_{px} = 891750 \text{ kgm}$ (Dipilih yang terkecil, maka diambil $M_{px} = 545817,12 \text{ kgm}$)

$$\begin{aligned} \phi \text{ Mnx} &= 0,9 \cdot M_{px} \\ &= 491235,408 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Untuk Mny

$$M_{py} = Z_y \cdot f_y$$

- $M_{py} = 517167,65 \cdot 290$
- $M_{py} = 14997,862 \text{ kgm}$

$$M_{py} = 1,5 \cdot M_y$$

$$M_{py} = 1,5 \cdot F_y \cdot S_y$$

$M_{py} = 304065 \text{ kgm}$ (Dipilih yang terkecil, maka diambil $M_{py} = 14997,862 \text{ kgm}$)

$$\begin{aligned} \phi \text{ Mny} &= 0,9 \cdot M_{py} \\ &= 13498,076 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b M_{ux} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 7045,66 \text{ kgm}$$

$$M_A = 6008,02 \text{ kgm}$$

$$M_B = 5463,57 \text{ kgm}$$

$$M_C = 9602,55 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 11854,69 \text{ kgm}$$

- $\frac{k_{cx} \cdot L}{r_x} = 55,8$
- $C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$
- $C_m = 0,4222$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot x \cdot E_s \cdot A_g}{\left(\frac{k_{cx} \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

- $N_{el} = 336020,863 \text{ kg}$
- $\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$

$$\delta_b = 1,247 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_b \cdot M_{u \text{ maks}} \\ &= 14782,8 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b M_{uy} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 402,15 \text{ kgm}$$

$$M_A = 59,90 \text{ kgm}$$

$$M_B = 164,88 \text{ kgm}$$

$$M_C = 298,76 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 555,16 \text{ kgm}$$

- $\frac{k_{cy} \cdot L}{r_y} = 96,62$
- $C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$
- $C_m = 0,3102$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot x \cdot E_s \cdot A_g}{\left(\frac{k_{cy} \cdot L}{r_y}\right)^2}$$

- $N_{el} = 112072,8909 \text{ kg}$
- $\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$

$$\delta_b = 0,315 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

$$M_{uy} = \delta_b \cdot M_{u \text{ maks}}$$

$$= 555,16 \text{ kgm}$$

$$k_{cx} = 1,81 \text{ (dari nomogram diagram)}$$

Akibat portal bergoyang ($1E_x + 0,3E_y$)

$$\lambda_c = \frac{k_{cx} \cdot L}{r_x \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$$

$$\lambda_c = 0,441$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,441 < 1,2$, (kolom menengah inelastic) maka:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)}$$

$$\omega = 1,096087191$$

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

$$f_{cr} = 264,577492 \text{ MPa}$$

Kuat rencana nominal

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

$$N_n = 440786,1017 \text{ kg}$$

$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = 0,593 > 0,2$ Maka menggunakan persamaan

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

Cek kelangsingan penampang profil

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = 0,593 > 0,125$$

- $\lambda = \frac{h}{t_w}$
- $\lambda = 16,75$
- $\lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} \left(2,33 - \frac{N_u}{\phi_c \cdot N_y} \right) > \frac{665}{\sqrt{f_y}}$
- $\lambda_p = 50,99 > 39,05$

$10,467 < 50,99$ (Maka penampang kompak)

Kontrol tekuk lateral :

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y$$

$$L_p = 4910,71 \text{ mm}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$f_L = 220$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$X_1 X_1 = 20867,85025 \text{ MPa}$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)$$

$$X_2 = 1,98 \text{ mm}^4 / N^2$$

$$L_r = r_y \cdot \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + X_2 (f_1)^2}$$

$$L_r = 140909 \text{ mm}$$

$$L < L_p$$

$$4500 < 4910,71 \text{ mm (Bentang Pendek) (OK)}$$

$$\text{Sehingga } M_n = M_p$$

- Untuk Mnx
- $M_{px} = Z_x \times f_y$
- $M_{px} = 545817,12 \text{ kgm}$

$$M_{px} = 1,5 \cdot M_y$$

$$M_{px} = 1,5 \cdot F_y \cdot S_x$$

$$M_{px} = 891750 \text{ kgm (Dipilih yang terkecil, maka diambil } M_{px} = 545817,12 \text{ kgm)}$$

$$\begin{aligned} \emptyset \text{ Mnx} &= 0,9 \times M_{px} \\ &= 491235,408 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Untuk Mny

$$M_{py} = Z_y \times f_y$$

- $M_{py} = 517167,65 \cdot 290$
- $M_{py} = 14997,862 \text{ kgm}$

$$M_{py} = 1,5 \cdot M_y$$

$$M_{py} = 1,5 \cdot F_y \cdot S_y$$

$$M_{py} = 304065 \text{ kgm (Dipilih yang terkecil, maka diambil } M_{py} = 14997,862 \text{ kgm)}$$

$$\begin{aligned} \emptyset \text{ Mny} &= 0,9 \times M_{py} \\ &= 13498,076 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Menentukan perbesaran momen δ_b Mux :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 6915,75 \text{ kgm}$$

$$M_A = 5674,45 \text{ kgm}$$

$$M_B = 7992,53 \text{ kgm}$$

$$M_C = 12849,78 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 17265,36 \text{ kgm}$$

$$\sum N_u = 248861,5 \text{ kg}$$

$$\bullet \frac{k_{cx} \cdot L}{r_x} = 55,8$$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot E_s \cdot A_g}{\left(\frac{k_{cx} \cdot L}{r_x} \right)^2}$$

$$\bullet N_{el} = 336020,863 \text{ kg}$$

$$\sum N_{el} = 4 \times 336020,863 = 1344083,452 \text{ kg}$$

$$\bullet \delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}}$$

$$\delta_s = 1,563 \geq 1 \text{ (maka diambil 1,563)}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_s \times M_{u \text{ maks}} \\ &= 26985,757 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Menentukan perbesaran momen δ_s Muy :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 2265,14 \text{ kgm}$$

$$M_A = 337,03 \text{ kgm}$$

$$M_B = 516,53 \text{ kgm}$$

$$M_C = 1044,40 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 2505,13 \text{ kgm}$$

$$\sum N_u = 178334,58 \text{ kg}$$

$$\bullet \frac{k_{cy} \cdot L}{r_y} = 96,62$$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot E_s \cdot A_g}{\left(\frac{k_{cy} \cdot L}{r_y} \right)^2}$$

$$\bullet N_{el} = 112072,8909 \text{ kg}$$

$$\sum N_{el} = 4 \times 112072,8909 = 448291,5636 \text{ kg}$$

$$\bullet \delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}}$$

$$\delta_s = 1,660 \geq 1 \text{ (maka diambil 1,660)}$$

$$M_{uy} = \delta_s \cdot M_{u \text{ maks}}$$

$$= 4158,5158$$

Periksa persamaan

$$M_{ux} = \delta_b \cdot M_{ntux} + \delta_s \cdot M_{ltux}$$

$$= 14782,8 \text{ kgm} + 26985,757 \text{ kgm}$$

$$= 41768,557 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = \delta_b \cdot M_{ntuy} + \delta_s \cdot M_{ltuy}$$

$$= 555,16 + 6814,5158$$

$$= 7369,67 \text{ kgm}$$

Kontrol kuat tekan lentur :

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

$$\bullet \frac{222239,74}{374668,1864} + \frac{8}{9} \left(\frac{41768,557}{491235,408} + \frac{4158,5158}{13498,076} \right) \leq 1,0$$

$$0,942 \leq 1,0 \dots \text{(OK)}$$

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perencanaan Alternatif Gedung Masjid An – Nur Politeknik Negeri Malang Menggunakan Profil Castellated Beam non Komposit adalah :

1. Dilakukan proses perhitungan dimensi untuk menentukan potongan zig – zag pada profil awal untuk mendapatkan lubang pada *Castellated Beam* dan dilanjutkan dengan perhitungan gaya dalam struktur terhadap beban yang bekerja.
2. Dilakukan perhitungan kontrol terhadap profil harus masuk dalam kategori penampang kompak, serta harus memenuhi syarat perhitungan momen $\Phi M_n \geq M_u$ dan harus memenuhi syarat perhitungan geser $\Phi V_n \geq V_u$.
3. Dari Perencanaan ini maka struktur rangka yang menggunakan profil *Castellated Beam* pada balok gedung ini dapat dijadikan desain alternatif dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 5.1 Rekapitulasi perhitungan dimensi balok Castellated Beam.

Balok/Kolom	Dimensi	Profil
B1 (Balok Induk)	600x200x8x13 mm	<i>Castellated Beam</i>
B2 (Balok Anak)	447x201x9x14 mm	<i>Castellated Beam</i>
K1 (kolom Utama)	344x354x16x16 mm	Wide Flange (WF)

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan diharapkan :

1. Meskipun dalam pengerjaan skripsi ini menggunakan aplikasi struktur SAP 2000 V15 yang mampu menghasilkan gaya – gaya dalam secara langsung akibat pembebanan, tetapi harus tetap memperhatikan peraturan manual yang berlaku seperti Standart Nasional Indonesia (SNI) agar hasil yang diperoleh dapat dipertanggung jawabkan serta diperoleh hasil yang lebih efektif dan efisien.
2. Input data harus dilakukan secara teliti, karena akan berakibat fatal jika salah memasukkan input data. Serta pemilihan profil WF menjadi profil *Castellated Beam* harus diperhatikan agar mendapatkan dimensi balok kolom yang hemat dan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. American Institute of Steel Construction, 1999, "*Load and Resistance Factor Design Specification*", Chicago, Illinois.
2. Journal of Structural Engineering, 1992, "*Proposed Specification for Structural Steel Beams with Web Openings*", ASCE
3. <http://www.grunbauer.nl/eng/mhoud.htm>
4. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983. "Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung Menggunakan Metode LRFD".
5. Standar Nasional Indonesia 03 - 1726 - 2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.
6. Standar Nasional Indonesia 03 - 1729 - 2002 Tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung.
7. Setiawan, Agus, 2008. "Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai Dengan SNI 03 - 1729 - 2002). Semarang: Erlangga.
8. W. Blodgett, Omet. 1966. "*Design Of Welded Structures*". U.S.A: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation