



Perancangan Bangunan Apartemen Delapan Lantai Menggunakan Struktur Baja Dengan Pengaku EBF (*Eccentrically Braced Frame*)¹

Eight-story Apartment Building Design Using Steel Structures with EBF (Eccentrically Braced Frame) Stiffeners

Krisfanri Natanael Aritonang^{a,2}, Gati Annisa Hayu^a

^a Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina, Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta 12220

ABSTRAK

Penelitian ini adalah tentang perancangan bangunan struktur baja dengan menggunakan pengaku EBF. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang bangunan tingkat tinggi struktur baja dengan pengaku EBF yang kuat menahan seluruh beban yang bekerja pada struktur. Metode perhitungan yang digunakan dalam perancangan ini antara lain analisis pembebanan dan analisis struktur yang masing-masing mengikuti standar yang berlaku. Digunakan SNI 1729:2015 untuk desain struktur baja (kolom dan balok), SNI 2847:2013 untuk desain struktur beton bertulang (pelat lantai), serta SNI 1726:2012 dan SNI 1727:2013 untuk perencanaan pembebanan. Desain EBF dirancang menggunakan tipe pengaku *split K braced* dengan tipe *link* adalah "*intermediate link*". Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program struktur SAP 2000. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh desain struktur dengan pengaku EBF mampu menahan seluruh beban yang bekerja.

Kata kunci: struktur, baja, gempa, EBF.

ABSTRACT

This research is about the design of steel structure building by using EBF stiffener. The purpose of this research is to design a high-level building of steel structures with EBF stiffener that is strong to withstand all the loads that work on the structure. The calculation method that used in this design include loads analysis and structural analysis that each follows the prevailing standards. SNI 1729:2015 is used for the design of steel structure (column and beam), SNI 2847:2013 for design of reinforced concrete structure (floor plate), and also SNI 1726:2012 and SNI 1727:2013 are used for loading planning. The EBF design is designed using type of bracing "*split K-braced*" with the type of link is "*intermediate link*". Structural analysis was performed using the structural software SAP 2000. The result of this research show that design with EBF stiffener is able to withstand all working loads.

Keywords: structure, steel, loads, EBF

¹ Info Artikel: Received: 27 Agustus 2020, Accepted: 8 Oktober 2020

² Corresponding Author: krisfanrinatanael@gmail.com (K.N. Aritonang)

PENDAHULUAN

Dalam merencanakan suatu struktur bangunan tahan gempa, kriteria utama yang harus dipenuhi yaitu daktilitas, kekuatan dan kekakuan struktur. Ketiga faktor dalam kriteria struktur tersebut bertujuan agar bangunan yang dirancang aman dan digunakan dalam waktu yang lama. Baja adalah material konstruksi yang memiliki kekuatan yang tinggi serta merata dan daktilitas yang baik. Daktilitas adalah kemampuan struktur untuk mengalami simpangan pasca elastik secara berulang yang disebabkan oleh gaya gempa sehingga gedung tidak langsung mengalami keruntuhan.

Selain dari pemilihan material, desain struktur untuk bangunan tahan gempa juga telah dikembangkan. Secara umum sistem struktur tahan gempa dibagi menjadi 3 tipe, yaitu MRF (*Moment Resisting Frame*), CBF (*Concentrically Braced Frame*), dan EBF (*Eccentrically Braced Frame*). Berdasarkan penelitian terdahulu oleh Kurniawan, Nurtanto, dan Hayu (2018), penambahan EBF pada bangunan memiliki pengaruh signifikan dalam menahan beban yang bekerja, terutama beban gempa. EBF adalah pengaku yang memiliki kekakuan serta daktilitas tinggi. Kekakuan EBF yang tinggi tersebut diperoleh dari hubungan balok dan kolom, sedangkan daktilitas yang tinggi di peroleh dari elemen *link* yang mampu berdeformasi secara *inelastic*.

Penelitian ini merancang bangunan apartemen 8 lantai yang didasarkan pada suatu bangunan eksisting yang kemudian di modifikasi di beberapa bagian. Bangunan ini dirancang pada lokasi di daerah Yogyakarta dengan menggunakan struktur baja dengan sistem EBF yang dirancang untuk mampu menahan beban gravitasi beban angin, dan beban gempa.

TINJAUAN PUSTAKA

EBF adalah suatu sistem struktur penahan beban seismik (gempa) yang memiliki kekakuan serta daktilitas yang tinggi. EBF adalah suatu sistem struktur portal baja penahan beban lateral yang merupakan perbaikan atau perpaduan dari 2 sistem portal konvensional, yaitu MRF dan CBF. Ciri yang khusus dari EBF adalah minimal terdapat 1 dari ujung tiap bresing yang terhubung balok dan terdapat segmen terpisah pada balok yang disebut *link beam*. Bentuk atau konfigurasi elemen EBF terbagi menjadi tiga tipe yaitu *Diagonal Braced EBF*, *Split-K Braced EBF*, *V-Braced EBF*

Panjang Link

Panjang *link* adalah salah satu yang harus direncanakan pada perencanaan EBF. *Link* adalah bagian dari balok yang akan mendisipasi energi ketika gempa terjadi. Terdapat 3 tipe panjang link yang digunakan yaitu *short link*, *intermediate link* dan *long link* dengan panjang *link* yang digunakan ditentukan oleh persamaan sebagai berikut

$$\text{Short Link} = e \leq \frac{1,6 Mp}{Vp} \quad (1)$$

$$\text{Intermediate Link} = e \leq \frac{1,6 Mp}{Vp} < e < \frac{2,6 Mp}{Vp} \quad (2)$$

$$\text{Long Link} = e \geq \frac{2,6 Mp}{Vp} \quad (3)$$

Drift angle dan rotation angle

Deformasi keruntuhan pada struktur EBF membentuk suatu sudut yaitu *drift angle* dan *rotation angle* yang masing-masing dicari dengan ketentuan sebagai berikut

$$\rho_1 = 1,6, \text{ nilai } \theta = 0,08 \text{ rad}$$

$$\rho_1 = 2,6, \text{ nilai } \theta = 0,02 \text{ rad}$$

Sehingga untuk mencari nilai sudut keduanya untuk $\rho_1 = x$ didapatkan dengan melakukan interpolasi sederhana dan *rotation angle* dicari dengan persamaan 4 berikut

$$\gamma = \theta \times \frac{L}{e} \quad (4)$$

Stiffener spacing

Balok link pada EBF diperkaku untuk membedakan kekakuan antara balok link dan balok diluar link dengan jarak tertentu. Jarak pengaku pada balok link dicari dengan rumus berdasarkan penelitian oleh Berman (2007) sebagai persamaan 5 berikut

$$\frac{a}{tw} + \frac{1}{8} \frac{d}{tw} = Cb \quad (5)$$

Dengan nilai Cb ditentukan berdasarkan nilai *drift angle* θ sebagai berikut

$$Cb = 20 \text{ untuk } \theta = 0,08 \text{ rad}$$

$$Cb = 37 \text{ untuk } \theta = 0,02 \text{ rad}$$

Nilai Cb untuk $\theta = X$ didapat dengan melakukan perhitungan interpolasi sederhana.

PEMODELAN STRUKTUR

Pemodelan awal (*preliminary design*)

Material baja yang digunakan pada perancangan struktur utama adalah profil baja dengan dimensi yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut

Tabel 1. Profil Baja

NO	UKURAN	KETERANGAN
1	H 350X350X12X19	Kolom <i>lift</i>
	H 400X400X13X21	Kolom Utama
2	IWF 350X175X7X11	Balok anak
	IWF 400X200X8X13	Balok <i>lift</i>
	IWF 500X200X10X16	Balok Utama
3	H 150X150X7X10	<i>Bracing</i>

Pembebanan

Beban gravitasi

Beban mati area = 5,11 kN/m²
Beban hidup = 2,4 kN/m²

Beban angin

Kecepatan angin dasar = 20 m/s
Kategori eksposur = B
Tekanan velositas = 1,031 (ketinggian 34,5 meter)

Beban gempa

Beban gempa dihitung dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2012. Data beban gempa yang digunakan didapat dari respon spektrum desain Indonesia di wilayah Yogyakarta dengan nilai koefisien modifikasi respon (R) adalah 8 dan kategori resiko adalah kategori III.

DESAIN STRUKTUR

Desain pelat lantai

Pelat lantai menggunakan beton bertulang dengan mengikuti standar acuan SNI 2847:2013. Adapun data perencanaan pada desain pelat lantai adalah sebagai berikut

- Panjang pelat = 5500 mm
- Lebar pelat = 5300 mm
- Selimut beton = 20 mm
- D tulangan = 13 mm
- Beban ultimit = 11,06 kN/m²

Tebal pelat lantai

$$H_{min} = \frac{L_n}{30} = 183,33 \text{ mm}$$

Diambil tebal pelat sebesar 190 mm

Penulangan pelat lantai

Pelat lantai didesain menggunakan tipe pelat dua arah yaitu desain penulangan pelat arah panjang dan penulangan pelat arah pendek dengan hasil sebagai tabel 2 dan tabel 3 berikut

Tabel 2. Penulangan Pelat Arah Panjang

PENULANGAN PELAT ARAH PANJANG		
Keterangan	Diameter Tulangan	Jarak
Lajur kolom negatif	13 mm	100 mm
Lajur kolom positif	13 mm	100 mm
Lajur tengah negatif	13 mm	300 mm
Lajur tengah positif	13 mm	200 mm

Tabel 3. Penulangan Pelat Arah Pendek

PENULANGAN PELAT ARAH PENDEK		
Keterangan	Diameter Tulangan	Jarak
Lajur kolom negatif	13 mm	100 mm
Lajur kolom positif	13 mm	100 mm
Lajur tengah negatif	13 mm	350 mm
Lajur tengah positif	13 mm	200 mm

Desain penghubung geser

Gaya geser pada struktur komposit (balok baja dan pelat beton) harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser agar tidak terjadi slip pada masa layan (Setiawan, 2008). Desain penghubung geser yang digunakan adalah stud tipe *headed shear connector* dengan diameter 22 mm dan kuat putus F_u adalah 410 MPa.

Gaya geser horizontal (V_h)

$$A_s \times f_y = 2740800 \text{ N}$$

$$0,85 \times f_c' \times A_c = 20187500 \text{ N}$$

V_h diambil nilai terkecil yaitu 2740800 N

Diameter maksimum stud

$$D_{max} = 2,5 \times t_f = 40 \text{ mm}$$

Digunakan diameter stud $D = 22 \text{ mm}$ **(OK!)**

Luas penampang stud connector

$$A_{sc} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot}{4} = 380,133 \text{ mm}^2$$

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 0,041 \times W_{beton}^{1,5} \times \sqrt{f_c'} = 24102,979 \text{ MPa}$$

Kuat geser satu buah stud connector

$$Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times \sqrt{f_c' \times E_c} = 147540,283 \text{ N}$$

$$A_{sc} \times F_u = 152053,084 \text{ N}$$

$$A_{sc} \times F_u > Q_n$$

$$152053,084 \text{ N} > 147540,283 \text{ N} \quad \text{(OK!)}$$

Persyaratan jarak antar stud

$$\text{Jarak minimal longitudinal} = 6 \times D = 132 \text{ mm}$$

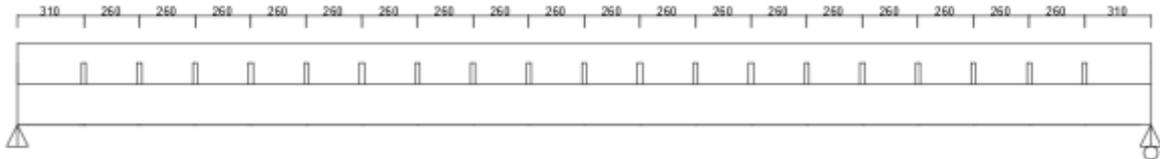
$$\text{Jarak maksimal longitudinal} = 8 \times T_p = 1520 \text{ mm}$$

Jarak transversal = $4 \times D = 88 \text{ mm}$

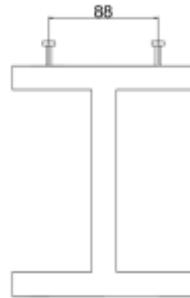
Jumlah stud yang digunakan

$$N = \frac{Vh}{Qn} = 19 \text{ buah}$$

Jumlah minimum yang digunakan untuk $\frac{1}{2}$ panjang bentang adalah sebanyak 19 buah dengan jumlah untuk keseluruhan bentang adalah sebanyak 38 buah yang disusun sebanyak 2 buah di setiap potongan melintangnya.



Gambar 1. Penghubung Geser Arah Memanjang



Gambar 2. Penghubung Geser Arah Melintang

Desain balok

Desain balok mengikuti standar desain balok pada SNI 1729:2015. Profil baja pada struktur menggunakan profil IWF500.200.10.16 pada bentangan 5,5m dengan gaya yang didapat dari analisis struktur pada SAP2000 sebagai berikut

$$M_u = 284,418 \text{ kNm}$$

$$V_u = 296,797 \text{ kN}$$

Cek kelangsingan penampang

$$\frac{bf}{2 \times tf} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$$

$$6,25 \leq 10,97 \text{ (OK!)}$$

$$\frac{d}{tw} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$$

$$50 \leq 70,725 \text{ (OK!)}$$

dengan bf = lebar flens, tf = tebal flens, d = tinggi web, tw = tebal web, E_s = modulus baja, f_y = tegangan leleh

Pemeriksaan tekuk lateral

$$L_p = 0,086 \times i_y \times \frac{E_s}{f_y} = 3103,167 \text{ mm}$$

$$L_r = 1,76 \times i_y \times \sqrt{(E_s/f_y)} = 2199,935 \text{ mm}$$

$$L_b = 1830 \text{ mm (diberikan pengekang arah lateral sebanyak 2 buah)}$$

$$L_b < L_r < L_p \text{ (tidak terjadi torsional buckling)}$$

dengan L_p = kondisi batas plastis, L_r = kondisi batas inelastik, L_b = jarak bentang bersih tanpa pengaku

Pemeriksaan kuat lentur

$$Z_{xb} = (bf \times tf) \times (d - tf) + tw \left(\frac{d}{2} - tf\right)^2 = 12,86 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p = Z_{xb} \times f_y = 503,126 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \times M_n} = 0,628 < 1 \text{ (OK!)}$$

Dengan Z_{xb} = modulus penampang, f_y = tegangan leleh baja, M_n = momen nominal penampang, M_u = momen ultimit, $\phi_b = 0,9$

Desain Kolom

Desain balok mengikuti standar desain balok pada SNI 1729:2015. Profil baja pada struktur menggunakan profil IWF400.400.13.21 pada bentangan 5,5m dengan gaya yang didapat dari analisis struktur pada SAP2000 adalah $P_u = 2441,418 \text{ kN}$

Cek kelangsingan penampang

$$\frac{bf}{2tf} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}}$$

$$9,524 \leq 16,166 \text{ (OK!)}$$

$$C_a = \frac{P_u}{\phi_c \times P_y} = 0,579$$

$$\frac{d}{tw} \leq 0,77 \times \sqrt{\frac{Es}{fy}} \times (2,93 - Ca)$$

$$30,769 \leq 52,268 \quad (\text{OK!})$$

dengan $\phi_c = 0,9$

Cek kelangsingan elemen

$$L_{bmax} = 0,086 \times i_y \times \frac{Es}{F_y} = 7238 \text{ mm}$$

$$L_b = 5000 \text{ m}$$

$$L_b \leq L_{bmax} \quad (\text{OK!})$$

dengan L_{bmax} = panjang maksimal elemen kolom, L_b = panjang elemen kolom

Cek kekuatan tekan desain

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \times Es}{\lambda y^2} = 805,439 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 0,658^{\frac{fy}{F_{ey}}} \times (fy/F_{ey}) \times fy = 207,043 \text{ MPa}$$

$$\phi P_n = \phi_c \times F_{cr} \times A_s = 0,9 \times 207,043 \times 21870 = 4170,024 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} < 1$$

$$0,585 < 1 \quad (\text{OK!})$$

dengan F_{ey} = tegangan lentur tekuk, F_{cr} = tegangan kritis, P_u = gaya aksial, P_n = tahanan aksial penampang, $\phi=0,9$

Desain EBF

EBF pada struktur didesain berada pada sisi terluar dari bangunan. Perancangan EBF ini memiliki bentang $L = 5\text{m}$ dan $H = 5\text{m}$. Tipe EBF yang didesain adalah tipe *intermediate link* yang dipilih dengan mempertimbangkan faktor teknis, kegunaan ruang dan estetika.

Momen plastis (M_p)

$$M_p = f_y \times t_f \times (b - 2tw)(d - t_f) + f_y \times \frac{tw \times d^2}{2} = 504,595 \text{ kNm}$$

Gaya geser plasis (V_p)

$$V_p = \frac{2}{\sqrt{3}} \times f_y \times tw \times (d - 2t_f) = 1097,427 \text{ kN}$$

Gaya geser pada ujung balok (V_b)

$$V_b = V_p \times \frac{L}{H} = 1097,427 \text{ kN}$$

Panjang link (e)

Tipe *link* yang direncanakan adalah *intermediate link* dengan dicoba panjang *link* (e) adalah 1 m

$$\rho_1 = \frac{e}{M_p/V_p} = 2,175$$

$$1,6 < \rho_1 < 2,6 \quad (\text{syarat intermediate link})$$

$$1,6 < 2,175 < 2,6 \quad (\text{OK!})$$

Drift angle (θ) dan rotation angle (γ)

Dengan interpolasi berdasarkan ketentuan nilai θ berdasarkan nilai ρ_1 didapat hasil *drift angle* θ adalah sebesar $\theta = 0,045 \text{ rad}$

$$\gamma = \theta \times \frac{L}{e} = 0,225 \text{ rad}$$

Stiffener spacing (a)

Berdasarkan nilai $\theta = 0,045 \text{ rad}$ didapat nilai $C_b = 30$, sehingga nilai a dapat dicari dengan rumus

$$a = \left(C_b - \frac{1}{8} \frac{d}{tw} \right) \times tw = 246,5 \text{ mm}$$

Kontrol bracing

Profil yang digunakan sebagai *bracing* pada EBF adalah profil H 150.150.7.10. Keamanan *bracing* dicek dengan melakukan perhitungan kontrol tekan dan kontrol tarik.

Kontrol tekan

$$P_u = 58267 \text{ N}$$

$$\phi_c \cdot P_n = 0,85 \times A_g \times f_y = 818856 \text{ N}$$

$$P_u \leq \phi_c \cdot P_n$$

$$58267 \text{ N} \leq 818856 \text{ N} \quad (\text{OK!})$$

Kontrol tarik (kontrol leleh dan kontrol putus)

Kontrol leleh

$$\phi \times A_g \times f_y = 722520 \text{ N}$$

$$P_u \leq \phi \times A_g \times f_y$$

$$58267 \text{ N} \leq 722520 \text{ N} \quad (\text{OK!})$$

Kontrol putus

$$\phi \times A_g \times F_u = 0,75 \times A_g \times F_u = 926728 \text{ N}$$

$$Pu \leq \emptyset \times Ag \times Fu$$

$$58267 N \leq 926728 N \quad (\text{OK!})$$

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir “Perancangan Bangunan Apartemen Delapan Lantai Menggunakan Struktur Baja Dengan Pengaku EBF (*Eccentrically Braced Frame*)” didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Struktur balok didesain dengan mengacu pada SNI 1729:2015 menggunakan profil IWF500.200.10.16. Nilai rasio kapasitas momen pada balok didapati sebesar 0,628 sehingga telah memenuhi syarat aman ($R < 1$)
2. Struktur kolom didesain dengan mengacu pada SNI 1729:2015 menggunakan profil IWF400.400.13.21. Nilai rasio kapasitas momen pada balok didapati sebesar 0,585 sehingga telah memenuhi syarat aman ($R < 1$)
3. Pelat lantai menggunakan mutu beton K-300 dengan ketebalan 190 mm dan penulangan pada pelat lantai menggunakan BJTD 40 dengan diameter 13 mm
4. Desain pengaku EBF pada perencanaan struktur ini menggunakan tipe link *intermediate* dengan panjang link adalah 1 m. *Bracing* menggunakan profil H beam 150.150.7.10. Pengecekan keamanan *bracing* EBF dilakukan dengan perhitungan kontrol tekan dan kontrol tarik menunjukkan profil *bracing* telah aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, (2015). *Tata cara perancangan struktur baja untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, (2013). *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, (2013). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia, (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Setiawan, Agus. (2008). *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*. Erlangga, Semarang
- Berman, Jeffrey W. (2007). *Experimental and analytical investigation of tubular links for eccentrically braced frames*, Engineering Structures 29.
- Kurniawan, R., Nurtanto, D., & Hayu, G. (2018). *Comparative Study of the Behaviour of Building Structure of Hotel Dafam Lotus Jember by Using Moment Resisting Frame and Eccentrically Braced Frame*. Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan, 2(01), 13-18.
- Emisasmita, Elia., B, Muhammad Mukhtar., & W, Yan Agus (2015). *Jembatan Struktur Rangka Baja Pemodelan Jembatan Rangka Kasih Ibu*, BRIDGE, 2(2)
- Empung., Handiman, Iman., & Setiawan, Nanang (2020). *Perencanaan Gedung Parkir Motor Dari Konstruksi Baja Dengan Pelat Komposit 3 Lantai Di Universitas Siliwangi Tasikmalaya*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 2(02), 42-51

Rozikin, Muhammad Zainur., Warsito., & Suprpto, Bambang (2020). *Studi Perencanaan Struktur Baja Pada Bangunan Gedung Kampus STKIP AL HIKMAH Surabaya*. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 8(01), 23-33