

EVALUASI SAMBUNGAN STRUKTUR KOLOM DENGAN BALOK AKIBAT BEBAN GEMPA SMP BHINNEKA TUNGGAL IKA PASURUAN MENGGUNAKAN METODE LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD)

Ainun Nafi'i¹, Januar Sasongko²

^{1,2}Fakultas Teknik Sipil Universitas Yudharta Pasuruan
Corresponding Autor: ainunnafii1@gmail.com

Abstrak: Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap gempa. Hal ini terbukti dengan seringnya terjadi gempa di beberapa daerah di Indonesia, salah satunya daerah Provinsi Jawa Timur, sehingga mengakibatkan banyaknya korban jiwa dan kerusakan struktur bangunan terutama pada bangunan dengan struktur utamanya beton. Baja merupakan salah satu material yang sering digunakan di dunia konstruksi. Hal ini dikarenakan baja memiliki berbagai macam keunggulan bila dibandingkan dengan material lain. Beberapa keunggulan baja yaitu tidak dimakan rayap, perbedaan muai dan susutnya kecil, dapat di daur ulang serta memiliki kekuatan tarik yang tinggi, memiliki daktilitas yang tinggi, lebih lentur, lebih ringan dan pekerjaannya lebih cepat jika dibandingkan dengan beton. Load And Resistance Factor Design (LRFD) adalah spesifikasi yang dikeluarkan oleh American Institute of Steel Construction (AISC) untuk desain konstruksi baja, berdasarkan ketahanan metode kekuatan ultimate (Metode Plastis). LRFD memberikan perbandingan yang lebih spesifik antara beban Q dan resistensi R_n . Dari evaluasi dan hasil perhitungan diperoleh hasil, yaitu Sambungan Rencana menggunakan tipe baut A-325 M16 dengan jumlah baut 32 buah dimana jarak antara baut 50 mm dan jarak antara baut ke tepi adalah 25 mm mampu untuk menahan gempa dengan skala besar, Sedangkan untuk Sambungan Eksisting yang menggunakan tipe baut A-325 M20 dengan jumlah baut 26 buah dimana jarak antara baut 50 mm dan jarak antara baut ke tepi adalah 25 mm hanya mampu untuk menahan gempa dengan skala kecil.

Kata Kunci: *Baja, Load And Resistance Factor Design, Sambungan.*

Abstract: Indonesia is one of the countries prone to earthquakes. This is proven by the frequent occurrence of earthquakes in several regions in Indonesia, one of which is the Province of East Java, which has resulted in many fatalities and damage to building structures, especially buildings with a main concrete structure. Steel is a material that is often used in the world of construction. This is because steel has various advantages when compared to other materials. Some of the advantages of steel are that it is not eaten by termites, the difference in expansion and shrinkage is small, it can be recycled and has high tensile strength, has high ductility, is more flexible, lighter and works faster when compared to concrete. Load And Resistance Factor Design (LRFD) is the specification issued by American Institute of Steel Construction (AISC) for the design of steel construction, based on the resistance of the ultimate strength method (Plastic Method). LRFD provides a more specific comparison between load Q and resistance R_n . From the evaluation and calculation results, the results obtained are that the Planned Connection uses the A-325 M16 bolt type with a total of 32 bolts where the distance between the bolts is 50 mm and the distance between the bolts to the edge is 25 mm capable of withstanding large scale earthquakes, As for the Existing Connection which uses the A-325 M20 bolt type with a total of 26 bolts where the distance between the bolts is 50 mm and the distance between the bolts to the edge is 25 mm only able to withstand small scale earthquakes.

Keywords: *Steel, Load And Resistance Factor Design, Connections*

PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu, jumlah penduduk khususnya di Indonesia semakin meningkat namun jumlah lahan yang tersedia semakin berkurang. Sehingga munculah peningkatan permintaan terhadap kebutuhan properti salah satunya Sekolah. Dalam pembangunan sebuah gedung bertingkat seperti sekolah, lamanya waktu pembangunan sangat diperhitungkan karena semakin cepat pembangunan itu selesai, maka semakin cepat pula sekolah tersebut dapat difungsikan. Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap gempa. Hal ini terbukti dengan seringnya terjadi gempa di beberapa

daerah di Indonesia, salah satunya daerah Provinsi Jawa Timur. Dikutip dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Terjadi gempa bumi tektonik kuat di Jawa Timur tepatnya di Kabupaten Malang (Praja & Omang, 2021) pada tanggal 10 april 2021 sebesar 6,1 skala Richter yang mengakibatkan banyak korban jiwa dan kerusakan struktur bangunan terutama pada bangunan dengan struktur utama beton, gempa tersebut juga dirasakan oleh warga pasuruan dan sekitarnya. Baja merupakan salah satu material yang sering digunakan di dunia konstruksi. Hal ini dikarenakan baja memiliki berbagai macam keunggulan bila dibandingkan dengan material lain. Beberapa keunggulan baja yaitu tidak dimakan rayap, perbedaan muai dan susutnya kecil, dapat di daur ulang serta memiliki kekuatan tarik yang tinggi, memiliki daktilitas yang tinggi, lebih lentur, lebih ringan dan pekerjaannya lebih cepat jika dibandingkan dengan beton. Elemen struktur utama dari bangunan rangka baja terdiri dari 3 elemen struktural utama, yaitu kolom, balok, dan sambungan antara keduanya. Sambungan sangat penting untuk diperhatikan karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan. Pada umumnya sambungan berfungsi untuk memindahkan gaya-gaya yang bekerja pada elemen-elemen struktur yang disambung. Sambungan dibuat dikarenakan keterbatasan bahan yang tersedia di pasaran dan juga untuk kemudahan pemasangan di lapangan serta kemudahan dalam hal pengangkutan. Load And Resistance Factor Design (LRFD) adalah spesifikasi yang dikeluarkan oleh AISC untuk desain konstruksi baja, berdasarkan ketahanan metode kekuatan ultimit (Metode Plastis). Dibutuhkannya sambungan yang benar-benar aman terhadap gempa sesuai desain bangunan tahan gempa untuk daerah rawan gempa, guna untuk menanggapi hal tersebut maka pembangunan gedung SMP Bhinneka Tunggal Ika Gedung yang terdiri atas 3 lantai didesain menggunakan struktur Baja. Dalam mempertahankan struktur bangunan tidak runtuh pada saat terjadi gempa, maka dipakailah material baja dengan menggunakan sistem Load and Resistance Factor Design (LRFD). Untuk itu, pada tugas akhir ini diusulkan judul “Evaluasi Sambungan Struktur Kolom dengan Balok Akibat Beban Gempa SMP Bhinneka Tunggal Ika Pasuruan Menggunakan Metode Load and Resistance Factor Design (LRFD)”.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mendapatkan model sambungan struktur yang aman terhadap beban gempa dimana pada perhitungan analisisnya mengacu pada metode Load and Resistance Factor Design (LRFD). Pengumpulan data didapatkan dari hasil survey proyek pembangunan Gedung SMK Bhinneka Tunggal Ika Pasuruan. Dalam melakukan analisa perencanaan dilakukan langkah-langkah pertama, mengidentifikasi semua jenis beban yang akan dikenakan pada sistem ini, mencakup beban permanen seperti berat sendiri struktur, dan beban variabel seperti beban hidup atau angin. Kedua, menentukan besar dan distribusi beban pada sistem. Ini melibatkan perhitungan dan pemodelan matematis yang sesuai dengan karakteristik beban yang dikenakan. Ketiga, menganalisis respons sistem terhadap beban tersebut. Ini melibatkan penggunaan metode analisis struktural atau metode numerik untuk memprediksi respons dan kinerja sistem. Keempat, mengevaluasi hasil analisis dan membandingkannya dengan kriteria desain yang berlaku. Jika hasil analisis memenuhi kriteria, maka sistem dianggap aman dan memadai. Jika tidak, perubahan desain atau tindakan korektif lainnya mungkin diperlukan. Kelima, melakukan literasi jika diperlukan, terutama jika terdapat ketidakseimbangan beban atau kegagalan potensial yang ditemukan selama analisis. Dalam melakukan pemodelan dan analisis stuktur, peneliti menggunakan software

SAP2000 V14 yang berguna untuk membuat model 3D dari gedung SMK Bhinneka Tunggal Ika Pasuruan mulai dari elemen-elemen structural seperti balok, kolom, dinding, pelat, tangga, dan juga untuk mengetahui beban-beban yang bekerja pada Gedung tersebut.

HASIL PENELITIAN

1. PEMBEBANAN PADA STRUKTUR

Pembebanan struktur didasarkan pada SNI-1727-2013, ASCE 7-2002 dan PPIUG 1983 dengan rincian sebagai berikut:

A. Beban mati (*dead load*)

Beban mati merupakan seluruh bagian bangunan yang bersifat tetap dan tidak terpisah dari bangunan selama masa layannya. Beban mati pada struktur terdiri dari beban sendiri bangunan (diperoleh dari program bantu SAP 2000) dan beban mati tambahan seperti beban dinding dan beban merata. Beban mati yang dihitung pada struktur ini antara lain:

1. Berat pelat bondek sebesar 10,1 kg/m²
2. Berat sendiri baja profil yang terpasang sebagai struktur rangka baja berupa kolom, dan balok dengan massa jenis sebesar 7850 kg/m³
3. Beban dinding bata ringan sebesar 75 kg/m²
4. Beban spesi sebesar 21 kg/m² untuk setiap ketebalan 1 cm
5. Beban tegel sebesar 24 kg/m² untuk setiap ketebalan 1 cm
6. Beban ducting plumbing yang ditetapkan sebesar 19,1 kg/m²
7. Beban plafond sebesar 11 kg/m²
8. Beban penggantung plafond sebesar 7 kg/m²

Total Beban Mati adalah 952,2 kg/m²

B. Beban hidup (*live load*)

Beban hidup adalah beban yang bertumpu pada bangunan yang memiliki kemungkinan untuk lepas dari bangunan tersebut. Beban hidup sudah termasuk perlengkapan ruangan. Rincian pembebanan untuk beban hidup adalah sebagai berikut:

- a. Beban hidup lantai atap
97,86 kg/m² (Tabel 4-1 SNI-1727-2013)
- b. Beban hidup lantai sekolah
254,84 kg/m² (Tabel 4-1 SNI-1727-2013)

Total Beban Hidup adalah 352,7 kg/m²

C. Beban Atap

Rincian perhitungan pembebanan pada atap adalah sebagai berikut:

- a. Beban Mati
 - Beban penutup atap 140,09 kg/m
 - Beban gording 138,40 kg/m
 - Beban tambahan 10% (baut dll) 27,85 kg/m
- b. Beban Hidup
 - Beban tenaga kerja 100,00 kg/m

Total Beban Atap adalah 406,34 kg/m

2. KOMBINASI PEMBEBANAN

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan dikarenakan pada saat konstruksi, beban-beban yang bekerja adalah beban-beban mati dan beban hidup sementara akibat pekerja. Sedangkan pada saat masa layan bangunan,

beban-beban yang bekerja adalah beban hidup permanen akibat aktivitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung tersebut. Hal ini akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja. Kombinasi pembebanan dihitung menggunakan program bantu SAP 2000, sehingga didapat nilai beban total 6158,76 Kg/m atau 60376523 N/mm



Gambar 1 Niali Momen dan Axial
 Sumber: Hasil Analisa

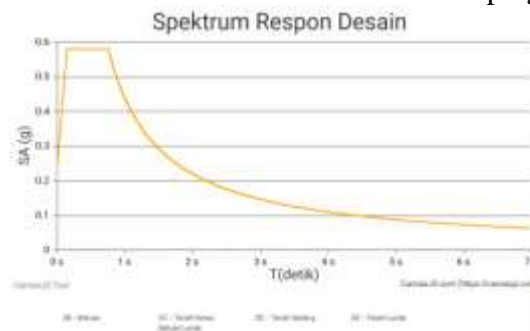
3. PARAMETER RESPONS SPEKTRUM

Parameter respons spektrum rencana digunakan untuk menentukan gaya gempa rencana yang bekerja pada struktur. Berikut adalah parameter respons spektrum untuk wilayah Pasuruan dengan kondisi tanah sedang (kelas situs SD).

Tabel 1 Parameter Respons Gempa Wilayah Pasuruan untuk Kelas Situs SD (Tanah Sedang)

VARIABEL	NILAI
PGA (g)	0,33
S _s (g)	0,70
S ₁ (g)	0,33
F _a	1,2
F _v	1,8
S _{MS} (g)	0,84
S _{M1} (g)	0,59
S _{DS} (g)	0,58
S _{D1} (g)	0,44
T ₀ (detik)	0,15
T _s (detik)	0,76

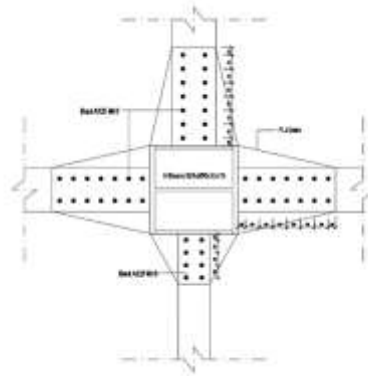
Sumber: SNI 1729:2012 & Web Puskim.pu.go.id



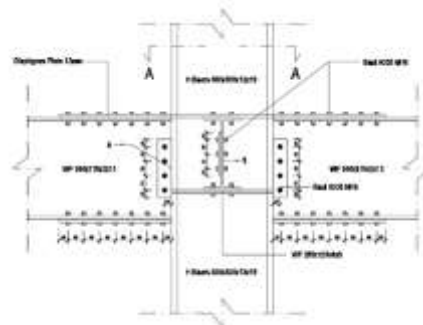
Gambar 2 Grafik Spektran Percepatan Gempa Wilayah Pasuruan dengan Periode Ulang 500 Tahun

Sumber: Web puskim.pu.go.id

4. DATA SAMBUMANG KOLOM DENGAN BALOK INDUK BERDASARKAN PERENCANAAN



Gambar 3 Tampak Atas Sambungan Balok Induk – Kolom
Sumber: Hasil Analisa



Gambar 4 Tampak Samping Sambungan Balok Induk – Kolom
Sumber: Hasil Analisa

Diketahui :

Kolom : H Beam 350 x 350 x 12 x 19
 H kolom : 4 m
 Balok Induk : WF 350 x 175 x 7 x 11
 d balok : 350 mm
 Z_x : 775 cm³
 L balok : 4,5 m
 Output SAP :
 M_u = 6158,76 kg.m
 V_u = 4446,34 kg
 E = 200000 MPa = 2038736 kg/cm²

BJ 41,

f_y = 250 MPa = 2548,42 kg/cm²
 f_u = 410 MPa = 4179,41 kg/cm²
 R_y = 1,5
 f'_c = 30 MPa = 305,81 kg/cm²

Direncanakan :

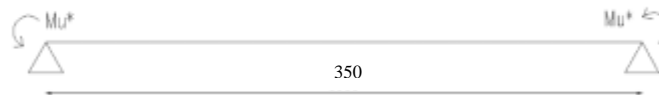
Baut :

Mutu = A 325
 \varnothing baut = M16 = 1,6 cm
 Abaut = 201,06 mm² = 2,01 cm²
 F_{nv} = 475 MPa = 4658,51 kg/cm²
 D lubang = 18 mm (Tabel J3.3 SNI 1729:2015)
 m = 1

Single pelat, $t = 10 \text{ mm}$
 Las : sudut
 Mutu las = FE90XX
 $f_y = 90 \times 70,33 = 6329,7 \text{ kg/cm}^2$
 Ukuran las minimum = 5 mm (SNI 1729:2015, Pasal J2.4)
 Ukuran las maksimum = 5 mm (SNI 1729:2015, Pasal J2.2b)
 Dipakai $t_e = 5 \text{ mm} = 0,5 \text{ cm}$

A. Perhitungan gaya geser pada sambungan

1. Akibat kapasitas balok induk



Gambar 5 Momen pada sambungan

$$\begin{aligned} Mu^* &= 1,1 \times R_y \times Z_x \times f_y \\ &= 1,1 \times 1,5 \times 775 \text{ cm}^3 \times 2548,42 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 3258792 \text{ kg.cm} \\ &= 32587,92 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 2 \times (Mu^*) / L \\ &= 2 \times 32587,92 / 4,5 \\ &= 14483,52 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Akibat beban kombinasi 1,2D + 0,5L

WBI	= 49,6 kg/m x 4,5 m	= 223,02 kg
qd pelat	= 479,2 kg/m ² x 4,5 m x 4 m	= 8625,60 kg+
2xWBA	= 2 x 29,6 kg/m x 5,4 m	= <u>319,25 kg</u> +
	Pd	= 9167,87 kg

pl pelat	= 254,84 kg/m ² x 4,5 m x 4 m	= 4587,16 kg
----------	------------------------------------------	--------------

$$\begin{aligned} V_u &= (1,2 P_{(d)} + 0,5 P_1) / 2 \\ &= (1,2 \times 9167,87 + 0,5 \times 4587,16) / 2 \\ &= 6647,51 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ total} &= V_u \text{ kombinasi} + V_u \text{ sambungan} \\ &= 6647,51 \text{ kg} + 14483,52 \text{ kg} \\ &= 21131,03 \text{ kg} \end{aligned}$$

B. Sambungan geser pada badan balok

a. Jarak baut (SNI 1729:2015, Pasal J3.3, Pasal J3.4, Pasal J3.5)

Jarak antar baut (S)

3db	≤ S	≤ 24 tp
3 x 16 mm	≤ S	≤ 24 x 7 mm atau 168 mm
48 mm	< 50 mm	< 168 mm <input type="checkbox"/> OK

Jarak baut ke tepi (S1)

22	≤ S1	≤ 12 tp
22	≤ S1	≤ 12 x 10 mm atau 150 mm
22 mm	< 25 mm	< 120 mm <input type="checkbox"/> OK

Oleh karena itu, spasi antara setiap baut yang diterapkan adalah $S = 50 \text{ mm}$ dan jarak dari baut ke tepi adalah $S1 = 25 \text{ mm}$.

b. Sambungan baut dengan pelat tunggal pada balok induk

1. Kuat geser baut (SNI 1729:2015, Pasal J3.6)

$$\begin{aligned}m &= 1 \\ \emptyset &= 0,75 \\ \emptyset R_n &= \emptyset (F_{nv} \times A_b \times m) \\ &= 0,75 \times (4658,51 \text{ kg/cm}^2 \times 2,01 \text{ cm}^2 \times 1) \\ &= 7024,87 \text{ kg}\end{aligned}$$

2. Kuat tumpu baut (SNI 1729:2015, Pasal J3.10)

$$\begin{aligned}l_c &= S_1 - d/2 \\ &= 25 \text{ mm} - (16 \text{ mm})/2 \\ &= 17 \text{ mm} \\ &= 1,7 \text{ cm} \\ \emptyset &= 0,75 \\ \emptyset R_{n1} &= \emptyset (1,2 \times l_c \times t \times f_u) \\ &= 0,75 \times (1,2 \times 1,7 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 4179,41) \\ &= 6394,5 \text{ kg} \\ \emptyset R_{n2} &= \emptyset (2,4 \times d \times t \times f_u) \\ &= 0,75 \times (2,4 \times 1,6 \text{ cm} \times 0,7 \text{ cm} \times 4179,41) \\ &= 8425,69 \text{ kg}\end{aligned}$$

Dalam hal kekuatan tumpuan yang dipilih, nilai yang diambil adalah nilai terendah antara $\emptyset R_{n1}$ dan $\emptyset R_{n2}$, sehingga nilai yang digunakan untuk kekuatan tumpuan adalah 6394,5 kg.

c. Kuat nominal

Kekuatan nominal diperoleh dengan memilih nilai terendah antara kekuatan geser baut dan kekuatan tumpuan baut. Dengan demikian, nilai $\emptyset R_n$ yang digunakan adalah 6394,5 kg

d. Jumlah baut

$$\begin{aligned}n &= \frac{V_u}{\emptyset R_n} \\ &= \frac{21131,03 \text{ kg}}{6394,5 \text{ kg}} \\ &= 3,30 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

e. Kontrol elemen terpengaruh penyambung pada balok anak

1. Kuat elemen dalam geser (SNI 1729:2015, Pasal J4.2)

$$\begin{aligned}L_{pelat} &= 2 \times S_1 + (n-1) \times S \\ &= 2 \times 25 \text{ mm} + (4-1) \times 50 \text{ mm} \\ &= 200 \text{ mm} \\ B_{pelat} &= 2 \times S_1 \\ &= 2 \times 25 \text{ mm} \\ &= 50 \text{ mm}\end{aligned}$$

a. Untuk pelelehan geser dari elemen

$$\begin{aligned}A_{gv} &= L_{pelat} \times t_{pelat} \\ &= 200 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \\ &= 2000 \text{ mm}^2 = 20 \text{ cm}^2 \\ \emptyset &= 1 \\ \emptyset R_n &= \emptyset (0,6 \times f_y \times A_{gv})\end{aligned}$$

$$= 1 \times (0,6 \times 2548,42 \text{ kg/cm}^2 \times 20 \text{ cm}^2)$$

$$= 30581,04 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$V_u \leq \phi R_n \times \text{jumlah pelat}$$

$$21131,03 \text{ kg} \leq 30581,04 \text{ kg} \times 1$$

$$21131,03 \text{ kg} < 30581,04 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}$$

b. Untuk keruntuhan geser dari elemen

$$L_{nv} = L_{\text{pelat}} - (n - D \text{ lubang})$$

$$= 200 \text{ mm} - (4 \times 18 \text{ mm})$$

$$= 128 \text{ mm}$$

$$A_{nv} = L_{nv} \times t_{\text{pelat}}$$

$$= 128 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$$

$$= 1280 \text{ mm}^2 = 12,8 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi R_n = \phi (0,6 \times f_u \times A_{nv})$$

$$= 1 \times (0,6 \times 4179,41 \text{ kg/cm}^2 \times 12,8 \text{ cm}^2)$$

$$= 24073,39 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$V_u \leq \phi R_n \times \text{jumlah pelat}$$

$$21131,03 \text{ kg} \leq 24073,39 \text{ kg} \times 1$$

$$21131,03 \text{ kg} < 24073,39 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}$$

C. Sambungan geser pada kolom

Direncanakan dengan single plate dengan las sudut dengan tebal pelat 10 mm dan panjang 200 mm. Pengelasan dilakukan pada 2 sisi single plate dengan las mutu FE90XX dengan tebal efektif las, $t_e = 0,5 \text{ cm}$

$$\text{Alas} = 2 \times (L_{\text{pelat}} \times t_e)$$

$$= 2 \times (20 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm})$$

$$= 20 \text{ cm}^2$$

Akibat beban sentris

$$f_v = P_u / A_{\text{las}}$$

$$= 20939,48 / 20$$

$$= 1046,97 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u \text{ las} = \phi (0,6 \times f_{yw} \times l_w \times t_e)$$

$$= 0,75 \times (0,6 \times 6329,7 \text{ kg/cm}^2 \times 2 \times 20 \text{ cm} \times t_e)$$

$$= 113934,6 \text{ kg/cm} \times t_e$$

$$f_{\text{total}} = f_u \text{ las}$$

$$f_v = 113934,6 \text{ kg/cm}^2 \times t_e$$

$$t_e = f_v / f_{\text{total}}$$

$$= 1046,97 / 113934,6$$

$$= 0,009 \text{ cm}$$

$$a = t_e / 0,707$$

$$= 0,009 / 0,707$$

$$= 0,012 \text{ cm}$$

$$= 0,12 \text{ mm}$$

Menurut standar SNI 1729:2015, Tabel J2.4, dimensi minimal dari sudut las diambil dari lapisan material yang paling tipis. Dengan demikian, untuk material

dengan ketebalan antara 6 mm hingga 13 mm, dimensi minimal adalah 5 mm. Oleh karena itu, dipilih sudut las dengan ketebalan 5 mm sesuai standar tersebut.

D. Sambungan pada diaphragm plate dengan kolom

Direncanakan akan digunakan jenis las tumpul dengan penetrasi penuh berukuran 12 mm, dan untuk plat diafragma akan memiliki ketebalan 12 mm.

1. Gaya tarik akibat M_u

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{M_u}{d_{\text{balok}}} \\ &= \frac{32587,92 \text{ kg.m}}{0,35 \text{ m}} \\ &= 93108,34 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Kekuatan rencana las tumpul

$$\begin{aligned} t_e &= 12 \text{ mm} \\ t_{\text{pelat}} &= 12 \text{ mm} \\ f_yw &= 6329,7 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi &= 0,75 \\ \phi f_u \text{ las} &= \phi (0,6 f_yw) \\ &= 0,75 \times (0,6 \times 6329,7 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 2848,37 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi &= 0,75 \\ \phi f_u \text{ baja} &= \phi (0,6 f_u) \\ &= 0,75 \times (0,6 \times 4179,41 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 1880,73 \text{ kg/cm}^2 \\ f_u \text{ min} &= 1880,73 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

3. Luas las tumpul

$$\begin{aligned} A_{\text{las}} &= t_e \times b_{\text{kolom}} \\ &= 1,2 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} \\ &= 42 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi akibat beban tarik

$$\begin{aligned} f_{\text{total}} &= \frac{P_u}{A_{\text{las}}} \\ &= \frac{20939,48 \text{ kg}}{42 \text{ cm}^2} \\ &= 498,56 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4. Kapasitas las

$$\begin{aligned} f_{\text{total}} &\leq f_u \text{ min} \\ 498,56 \text{ kg/cm}^2 &< 1880,73 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

E. Sambungan pada diaphragm plate dengan sayap balok

1. Jarak baut (SNI 1729:2015, Pasal J3.3, Pasal J3.4, Pasal J3.5)

Jarak antar baut (S)

$$\begin{aligned} 3d_b &\leq S \leq 24 t_p \\ 3 \times 16 \text{ mm} &\leq S \leq 24 \times 11 \text{ mm atau } 264 \text{ mm} \\ 48 \text{ mm} &< 55 \text{ mm} < 264 \text{ mm} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Jarak baut ke tepi (S1)

$$22 \leq S1 \leq 12 t_p$$

$$22 \leq S1 \leq 12 \times 10 \text{ mm atau } 120 \text{ mm}$$

$$22 \text{ mm} < 30 \text{ mm} < 120 \text{ mm} \square \text{OK}$$

Oleh karena itu, spasi antara setiap baut yang diterapkan adalah $S = 55 \text{ mm}$ dan jarak dari baut ke tepi adalah $S1 = 30 \text{ mm}$.

2. Sambungan baut dengan sayap balok induk

a. Kuat geser baut (SNI 1729:2015, Pasal J3.6)

$$m = 1$$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi R_n = \phi (F_{nv} \times A_b \times m)$$

$$= 0,75 \times (4658,51 \text{ kg/cm}^2 \times 2,01 \text{ cm}^2 \times 1)$$

$$= 7024,87 \text{ kg}$$

b. Kuat tumpu baut (SNI 1729:2015, Pasal J3.10)

$$l_c = S1 - d/2$$

$$= 30 \text{ mm} - (16 \text{ mm})/2$$

$$= 22 \text{ mm}$$

$$= 2,2 \text{ cm}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi R_{n1} = \phi (1,2 \times l_c \times t \times f_u)$$

$$= 0,75 \times (1,2 \times 2,2 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} \times 4179,41)$$

$$= 9930,28 \text{ kg}$$

$$\phi R_{n2} = \phi (2,4 \times d \times t \times f_u)$$

$$= 0,75 \times (2,4 \times 1,6 \text{ cm} \times 1,2 \text{ cm} \times 4179,41)$$

$$= 13240,37 \text{ kg}$$

Kuat tumpu pakai adalah yang minimum diantara ϕR_{n1} dan ϕR_{n2} maka, dipakai nilai kuat tumpu = 9930,28 kg

c. Kuat nominal

Kuat nominal diperoleh dari nilai terkecil antara kuat geser baut dan kuat tumpu baut. Sehingga $\phi R_n = 7024,87 \text{ kg}$

d. Jumlah baut

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

$$= \frac{93108,34 \text{ kg}}{7024,87 \text{ kg}} = 13,25 \approx 14 \text{ buah (untuk 2 sisi)}$$

e. Kontrol elemen terpengaruh penyambung pada balok anak

1. Kuat elemen dalam geser (SNI 1729:2015, Pasal J4.2)

$$L_{pelat} = (2 \times S1 + (n-1) \times S) \times 1,5$$

$$= (2 \times 30 \text{ mm} + (14/2-1) \times 55 \text{ mm}) \times 1,5$$

$$= 585 \text{ mm}$$

$$B_{pelat} = 2 \times S1$$

$$= 2 \times 30 \text{ mm}$$

$$= 60 \text{ mm}$$

2. Untuk pelelehan geser dari elemen

$$A_{gv} = L_{pelat} \times t_{pelat}$$

$$= 585 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$$

$$= 7020 \text{ mm}^2 = 70,2 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 1$$

$$\phi R_n = \phi (0,6 \times f_y \times A_{gv})$$

$$= 1 \times (0,6 \times 2548,42 \text{ kg/cm}^2 \times 70,20 \text{ cm}^2)$$

$$= 107339,45 \text{ kg}$$

Kontrol :

$$V_u \leq \phi R_n \times \text{jumlah pelat}$$

$$93108,34 \text{ kg} \leq 107339,45 \text{ kg} \times 1$$

$$93108,34 \text{ kg} < 107339,45 \text{ kg} \quad \square \text{ OK}$$

3. Untuk keruntuhan geser dari elemen

$$L_{nv} = L_{\text{pelat}} - (n - D \text{ lubang})$$

$$= 585 \text{ mm} - (7 \times 18 \text{ mm}) = 459 \text{ mm}$$

$$A_{nv} = L_{nv} \times t_{\text{pelat}}$$

$$= 459 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$$

$$= 5508 \text{ mm}^2 = 55,08 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi R_n = \phi (0,6 \times f_u \times A_{nv})$$

$$= 1 \times (0,6 \times 4179,41 \text{ kg/cm}^2 \times 55,08 \text{ cm}^2)$$

$$= 103590,83 \text{ kg}$$

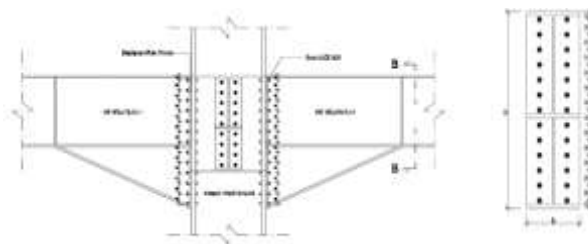
Kontrol :

$$V_u \leq \phi R_n \times \text{jumlah pelat}$$

$$93108,34 \text{ kg} \leq 103590,83 \text{ kg} \times 1$$

$$93108,34 \text{ kg} < 103590,83 \text{ kg} \quad \square \text{ OK}$$

5. DATA SAMBUNGAN KOLOM DENGAN BALOK INDUK BERDASARKAN EKSISTING



Gambar 6 Tampak Depan dan Samping Sambungan Balok Induk – Kolom
 Sumber: Hasil Analisa

A. Data Sambungan

Gaya geser akibat beban terfaktor, $V_u = 43612 \text{ N}$
 Momen akibat beban terfaktor, $M_u = 60376523 \text{ Nmm}$

1. Data Baut

Jenis baut yang digunakan, Tipe baut : A-325
 Tegangan tarik putus baut, $f_u^b = 825 \text{ MPa}$
 Diameter baut, $d = 20 \text{ mm}$
 Jarak antara baut, $a = 50 \text{ mm}$

Jumlah baut dalam satu baris,	n_x	= 2 bh
Jumlah baris baut,	n_y	= 13 baris
Faktor reduksi kekuatan Tarik baut,	ϕ_t	= 0,75
Faktor reduksi kekuatan geser baut	ϕ_f	= 0.75
2. Plat Sambung		
Tegangan leleh plat,	f_y	= 240
Tegangan Tarik putus plat,	f_u^p	= 370
Lebar plat sambung	b	= 175
Tebal plat sambung	t	= 10

B. Letak Garis Netral

Jumlah baut total,

$$n = n_x * n_y$$

$$n = 2 * 13$$

$$n = 26 \text{ bh}$$

Tinggi plat sambung,

$$h = n_y * a$$

$$h = 13 * 50$$

$$h = 650 \text{ bh}$$

Lebar plat sambung ekivalen sebagai baut Tarik,

$$\delta = n_x * (\pi / 4 * D^2) / a$$

$$\delta = 2 * (3,14 / 4 * 20^2) / 50$$

$$\delta = 12,57 \text{ mm}$$

Lebar efektif plat sambung bagian tekan,

$$b^1 = 0,75 * b$$

$$b^1 = 0,75 * 175$$

$$b^1 = 131,25 \text{ mm}$$

Misal garis netral terletak pada jarak x dari sisi atas plat sambung.

Momen statis luasan terhadap garis netral,

$$\frac{1}{2} * b^1 * (h - x)^2 = \frac{1}{2} * \delta * x^2$$

$$(b^1 - \delta) / 2 * x^2 - b^1 * h * x + \frac{1}{2} * b^1 * h^2 = 0$$

$$(b^1 - \delta) / 2 * x^2 - b^1 * h * x + \frac{1}{2} * b^1 * h^2 = 0$$

(Persamaan kuadrat dalam x)

$A_x = (b^1 - d) / 2$	=	59
$B_x = -b^1 * h$	=	-85313
$C_x = \frac{1}{2} * b^1 * h^2$	=	27726563
$D_x = B_x^2 - 4 * A_x * C_x$	=	696844520
$x = [-B_x - \sqrt{D_x}] / (2 * A_x)$	=	496,40

C. Tegangan Yang Terjadi Pada Baut

Persamaan hubungan tegangan

$$\sigma_3 = (h - x) / x * \sigma_1 \quad \longleftarrow \text{ Pers. (1)}$$

$$\sigma_2 = (x - a / 2) / x * \sigma_1 \quad \longleftarrow \text{ Pers. (2)}$$

Persamaan momen:

$$\frac{1}{2} * (h - x) * b^1 * \sigma_3 * \frac{2}{3} * (h - x) + \frac{1}{2} * x * \delta * \sigma_1 * \frac{2}{3} * x = Mu$$

$$\frac{1}{2} * (h - x) * b^1 * (h - x) / x * \sigma_1 * \frac{2}{3} * (h - x) + \frac{1}{2} * x * \delta * \sigma_1 * \frac{2}{3} * x = Mu$$

Maka diperoleh

$$\sigma_1 = 3 * M_u / [(h - x)^3 / x * b^1 + x^2 * \delta] \quad \longleftarrow \quad \text{Pers. (3)}$$

Tegangan pada masing-masing baris baut dihitung sebagai berikut:

Tegangan Tarik pada sisi atas plat sambung,

Dari pers. (3):

$$\sigma_1 = 3 * M_u / [(h - x)^3 / x * b^1 + x^2 * \delta]$$

$$\sigma_1 = 3 * 60376523 / [(650 - 496,40)^3 / 496,40 * 131,25^1 + 496,40^2 * 12,57]$$

$$\sigma_1 = 181129569 / 4054674,34$$

$$\sigma_1 = 44,67 \text{ MPa}$$

Tegangan tekan pada sisi bawah plat sambung,

Dari pers. (1):

$$\sigma_3 = (h - x) / x * \sigma_1$$

$$\sigma_3 = (650 - 496,40) / 496,40 * 44,67$$

$$\sigma_3 = 13,82 \text{ MPa}$$

Tegangan Tarik pada baut baris teratas,

Dari pers. (2):

$$\sigma_2 = (x - a / 2) / x * \sigma_1$$

$$\sigma_2 = (496,40 - 50 / 2) / 496,40 * 44,67$$

$$\sigma_2 = 42,42 \text{ MPa}$$

Tegangan Tarik putus pada baut dan plat:

Tegangan Tarik putus baut,

$$f_u^b = 825 \quad \text{Mpa}$$

Tegangan Tarik putus plat,

$$f_u^p = 370 \quad \text{Mpa}$$

D. Gaya Tarik Pada Baut

Gaya Tarik yang terjadi pada baut baris teratas

$$T_u = \sigma_2 * a * \delta$$

$$T_u = 42,42 * 50 * 12,57$$

$$T_u = 26655 \text{ n}$$

Gaya Tarik yang ditahan satu baut,

$$T_{u1} = T_u / n_x$$

$$T_{u1} = 26655 / 2$$

$$T_{u1} = 13327 \text{ N}$$

Luas penampang baut,

$$A_b = \pi / 4 * d^2$$

$$A_b = 3,14 / 4 * 20^2$$

$$A_b = 314 \text{ mm}^2$$

Tahanan Tarik nominal satu baut,

$$T_n = 0,75 * A_b * f_u^b$$

$$T_n = 0,75 * 314 * 825$$

$$T_n = 194386 \text{ N}$$

Tahanan tarik satu baut,

$$\phi_t * T_n =$$

$$0,75 * 194386 = 145790 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$T_{u1} \leq \phi_t * T_n$$

$$13327 < 145790 \quad \longrightarrow \quad \text{AMAN (OK)}$$

E. Gaya Geser Pada Baut

Gaya geser yang ditahan oleh satu baut,

$$V_{s1} = V_u / n$$

$$V_{s1} = 43612 / 26$$

$$V_{s1} = 1677 \text{ N}$$

Kondisi sambungan baut geser tunggal, maka nilai $m = 1$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser $r_1 = 0,4$

Luas penampang baut,

$$A_b = \pi / 4 * d^2$$

$$A_b = 3,14 / 4 * 20^2$$

$$A_b = 314 \text{ mm}^2$$

Tahanan geser nominal baut,

$$V_n = r_1 * m * A_b * f_u^b$$

$$V_n = 0,4 * 1 * 314 * 825$$

$$V_n = 103673 \text{ N}$$

Tahanan geser baut,

$$\phi f * V_n =$$

$$0,75 * 103673 = 77754 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$\begin{array}{l} V_{s1} \leq \phi f * V_n \\ 1677 < 77754 \longrightarrow \text{AMAN (OK)} \end{array}$$

F. Gaya Tumpu Pada Baut

Gaya tumpu yang ditahan satu baut,

$$R_{s1} = V_{s1} = 1677 \text{ N}$$

$$\text{Diameter baut (d)} = 20$$

$$\text{Tebal plat sambung (t)} = 10$$

$$\text{Tegangan tarik putus plat (} f_u^p \text{)} = 370$$

Tahanan tumpu nominal,

$$R_n = 2,4 * d * t * f_u^p$$

$$R_n = 2,4 * 20 * 10 * 370$$

$$R_n = 177600 \text{ N}$$

Tahanan tumpu,

$$\phi f * R_n =$$

$$0,75 * 177600 = 133200 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$\begin{array}{l} R_{s1} \leq \phi f * R_n \\ 1677 < 133200 \longrightarrow \text{AMAN (OK)} \end{array}$$

G. Kombinasi Geser dan Tarik

Konstanta tegangan (f_1) untuk baut mutu tinggi

$$f_1 = 807 \text{ MPa}$$

Konstanta tegangan (f_2) untuk baut mutu tinggi

$$f_2 = 621 \text{ MPa}$$

Faktor pengalir ulir pada bidang geser (r_2) = 1,9

Tegangan geser yang terjadi,

$$F_{uv} = V_u / (n * A_b)$$

$$F_{uv} = 43612 / (26 \cdot 314)$$

$$F_{uv} = 5,34 \text{ MPa}$$

Tahanan geser baut,

$$\phi f \cdot r_1 \cdot m \cdot f_u^b =$$

$$0,75 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 825 = 247,50 \text{ MPa}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$F_{uv} = V_u / (n \cdot A_b) \leq \phi f \cdot r_1 \cdot m \cdot f_u^b$$

$$5,34 < 247,50 \longrightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Gaya tarik yang terjadi (T_{u1}) = 13327

Tahanan tarik baut,

$$\phi f \cdot T_n = \phi f \cdot f_1 \cdot A_b$$

$$\phi f \cdot T_n = 0,75 \cdot 807 \cdot 314$$

$$\phi f \cdot T_n = 190145 \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$T_{u1} \leq \phi f \cdot T_n$$

$$13327 < 190145 \longrightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Tegangan tarik,

$$f_t = 0,75 \cdot f_u^b$$

$$f_t = 0,75 \cdot 825$$

$$f_t = 618,75 \text{ MPa}$$

Nilai tegangan kombinasi,

$$f_1 - r_2 \cdot f_u^v =$$

$$807 - 1,9 \cdot 5,34 =$$

$$796,86 \text{ MPa}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$f_t \leq f_1 - r_2 \cdot f_{uv}$$

$$618,75 < 796,86 \longrightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$f_t \leq f_2$$

$$618,75 < 621,00 \longrightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Hasil Perbandingan dari data diatas dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut:

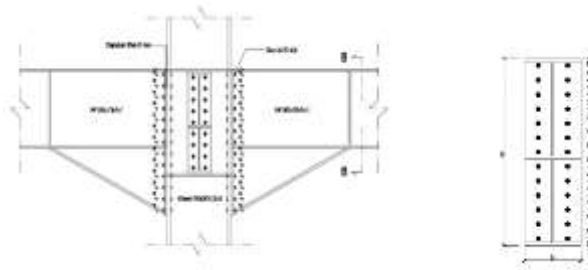
Tabel 2 Data Hasil Perencanaan dan Eksisting

Uraian	Jenis Sambungan	Tipe baut & Diameter baut	Jumlah baut	Ukuran las
Sambungan berdasarkan rencana (Menggunakan plat tb. 10 mm)	Las dan Baut	A-325 M16	32 buah	5 mm
Sambunga berdasarkan eksisting (Tanpa plat)	Baut	A-325 M20	26 buah	

KESIMPULAN

Gedung SMP Bhinneka Tunggal Ika Pasuruan gedung yang terdiri dari 3 lantai dengan ketinggian 15,95 m. Dari hasil evaluasi yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban yang bekerja pada Gedung smp bhinneka tunggal ika pasuruan sebesar 6158,76 Kg/m atau 60376523 N/mm.
2. Sambungan Rencana menggunakan sambungan las dan baut dengan ukuran Las 5 mm dan tipe baut A-325 Diameter M16 dengan jumlah 32 buah. Sedangkan sambungan eksisting menggunakan sambungan baut dengan tipe baut A-325 Diameter M20 dengan jumlah 26 buah. Dalam hal ini sambungan rencana lebih baik jika dibandingkan dengan eksisting, meskipun dengan biaya yang lebih mahal, Karena plat pada sambungan rencana mampu menahan beban gempa dan beban puntir lebih baik dari pada sambungan eksisting.
3. Hasil gambar eksisting sambungan dapat dilihat pada gambar 5.1 dibawah ini.



Gambar 5.1 Tampak Atas & Samping Sambungan (*Hasil Analisa*)

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. (2010), *Seismic Provision for Structural Steel Buildings*. AISC, Inc.
- Anggriawan, V. (2016). Perencanaan Struktur Baja Castella Menggunakan Metode Load And Resistance Factor Design (LRFD) Pada Struktur Gable Frame Di Pelmbangunan Pasar Moldelrn Pellailharil, Banjarmasinln. *Skrilpsil*, 2, 1–23.
- Badan Standardisasil Nasilolnal. (2012). Tata Cara Pelreencanaan Keltahanan Gelmpa Ulntulk Bangulnan Geldulng (SNII 03-1726-2012). Bandung: BSN
- Badan Standardisasil Nasilolnal. (2015). Tata Cara Pelreencanaan Struktulr Baja Ulntulk Bangulnan Geldulng (SNII 03-1729-2015). Bandung: BSN
- Belckelr, Roly & Milchaell Ilshlelr. (1996). Selilsmilc Delsilgn Practilcel Folr Elcelntrilcally Braceld Framels. Calilfolrnla: Stelell Tilps Pulblilcatiloln.
- Delpartelmeln Pelkelrjaan Ulmulm. (1983). Pelratulran Pelmbelbanan IIndolnelnila Ulntulk Bangulnan Geldulng (PPIIUIG 1983). Bandung: Yayasan Leimbaga Pelnyellidilkan Masalah Bangulnan.
- Praja, N. K., & Olmang, A. (2021). Gelmpa Bulmil Melrulsak Jawa Tilmulr Sellatan. *Julrnal GEIOMIINEIRBA*, 6(2), 136–149.

- Qulilcol adellilnol julnilolr. (2017). Pelrelnanaan sambulngan pada polrtal baja geldulng kantolr stilkels kelpanjeln delngan meltodel LRFD. 2, 167.
- Ramdhilnil, M. (2018). Moldilfilkasil Delsain Struktulr Apartelmeln Aelrolpollils Lulcelnt Relcildelncel Melnggulnakan Baja Silstelm Elcelntrilcally Braceld Framel (Elbf) Dil Yolgyakarta.
- Seltilawan, Aguls. (2008). Pelrelnanaan Struktulr Baja delngan Meltodel LRFD (Belrdasarkan SNI 1729:2002). Jakarta: Elrlangga.