

STUDI PERILAKU SAMBUNGAN BALOK SLOOF-KOLOM DOUBLE CNP PADA RUMAH INSTAN STRUKTUR BAJA (RISBA) DENGAN PEMBEBANAN MONOTONIK

Sanggabuana Satria Krisma Putra^{1*}, Iman Satyarno², Ashar Saputra³

^{1,2,3} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Bulaksumur, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

*Email: sanggabuana.satria@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Salah satu alternatif usulan dari Rumah Tahan Gempa (RTG) guna keperluan rekonstruksi kembali pasca bencana adalah Rumah Instan Struktur Baja (RISBA). RISBA memiliki konsep perencanaan pada bagian sambungan diharapkan tetap pada kondisi elastis ketika kapasitas penampang yang disambung telah mencapai kondisi plastis akibat penerimaan beban. Uji monotonik dilakukan pada spesimen berupa sambungan balok sloof-kolom untuk mengetahui perilakunya ketika diberi beban lateral. Dilakukan variasi pengujian dengan tipe sambungan tengah dan tepi, arah pembebanan pada sumbu kuat dan lemah, serta penambahan mortar di dalam profil kolom double CNP. Hasil pengujian benda uji SRBA-1 memiliki nilai P_{peak} yang lebih tinggi dibandingkan SRBA-2. Pembebanan arah sumbu kuat menghasilkan nilai P_{peak} yang lebih tinggi dibandingkan beban arah sumbu lemah. Benda uji SRBA-1 pembebanan sumbu kuat terisi mortar memiliki kapasitas sambungan tertinggi dimana menerima beban puncak P_{peak} sebesar 7,485 kN, kekakuan elastis sebesar 0.1089 kN/mm dan daktilitas 4.199. Pada pengujian SRBA-2 pembebanan sumbu kuat terisi mortar memiliki kapasitas sambungan tertinggi dimana menerima beban puncak P_{peak} sebesar 4.444 kN, dengan kekakuan elastis sebesar 0.0684 kN/mm dan daktilitas 2,537. Pada benda uji sambungan SRBA-1 ditemukan kerusakan yang terjadi berupa kegagalan tekuk pada lokasi yang diharapkan terbentuk sendi plastis serta kegagalan fraktur pada bagian balok sloof pada benda uji sambungan SRBA-2.

Kata kunci: sambungan balok sloof-kolom, monotonik, rumah tahan gempa, struktur baja

PENDAHULUAN

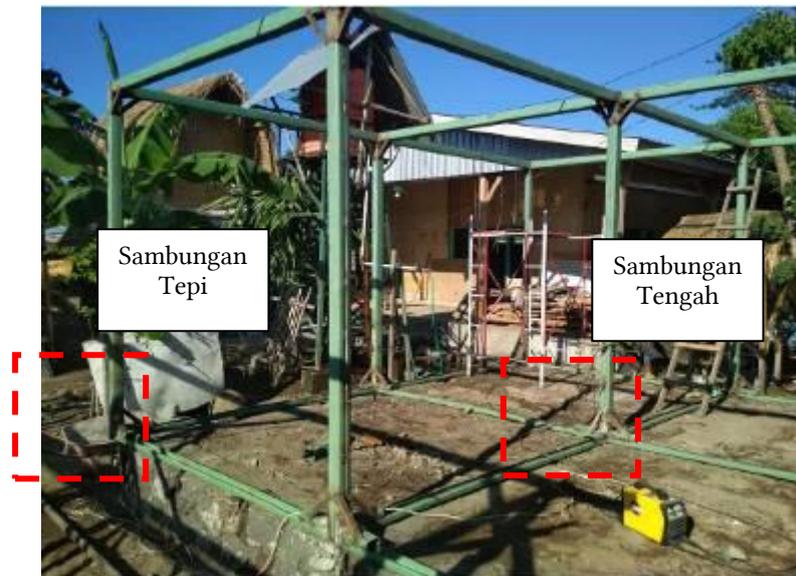
Gempa merupakan bencana yang tidak dapat diprediksi, berdampak luas, serta mengakibatkan kerusakan fisik hingga sosial ekonomi masyarakat. Indonesia merupakan salah satu negara dengan nilai frekuensi gempa yang tinggi. Beberapa peristiwa gempa besar terjadi di Indonesia seperti gempa Jogja (2006) dengan skala 6.3M, gempa Lombok (2018) dengan skala 7.0M, gempa Palu (2018) sebesar 7.4M tidak hanya menimbulkan korban jiwa, melainkan juga kerusakan pada bangunan terutama bangunan sederhana (bangunan *non-engineered*).

Bangunan *non-engineered* dikategorikan sebagai bangunan rumah tinggal yang direncanakan tanpa bantuan arsitek maupun ahli struktur [Boen, 2007]. Kegagalan pada bangunan *non-engineered* ini terjadi dikarenakan dinding pasangan batu bata memiliki sifat yang getas dan berat disertai oleh faktor buruknya sambungan antar dinding, atap, maupun dengan fondasi. Pembangunan kembali rumah sesuai keadaan semula membutuhkan waktu dan biaya menjadi fokus utama pemerintah dikarenakan tingginya angka kerusakan.

Muncul alternatif solusi terkait kebutuhan rekonstruksi tempat tinggal bagi korban gempa RISBA (Rumah Instan Struktur Baja) berdasarkan semboyan "*build back better*" dengan harapan korban dapat segera meninggalkan pengungsian, kembali ke rumah, dan membangun kembali yang lebih baik [Setiawan dan Saputra, 2019]. Konstruksi RISBA menggunakan struktur utama terbuat dari baja dengan profil kanal double CNP 95x33x10x1,8 dibangun dengan waktu 5 hari berdasarkan simulasi riil di lapangan. Sifat material baja yang daktil membuat RISBA unggul dibandingkan material getas ketika terjadi kejadian gempa di masa datang. Keawetan material yang digunakan terjamin dengan pelapisan menggunakan lapisan anti karat (*Zinchromate*) minimal 2 lapis untuk meningkat durabilitas bahan. Profil baja CNP disambung dengan menggunakan las listrik, hal ini didasarkan pada metodenya yang sederhana tanpa ada standar pengelasan khusus serta sudah banyak dikuasai masyarakat sehingga memudahkan pelaksanaan pekerjaannya RISBA memiliki tinggi dinding 3 meter menggunakan bahan *kalsiboard* dengan ukuran 1,2 m x 2,4 m untuk menghindari sisa material dan pasangan bata 60 cm yang bertujuan sebagai tambahan pengaku sekaligus massa yang diperlukan ketika struktur bergoyang

akibat beban angin serta dapat diterima oleh masyarakat yang masih trauma dengan dinding pasangan bata keseluruhan.

Sambungan pada struktur RISBA direncanakan masih berada pada kondisi elastis ketika kapasitas penampang yang disambung sudah mencapai kondisi plastis akibat menerima pembebanan. Untuk mengetahui perilaku sambungannya ketika diberi beban lateral dilakukan studi lebih lanjut dengan studi eksperimental terhadap sistem sambungan balok sloof-kolom dari RISBA. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pembebanan lateral monotonik untuk mengetahui kurva hubungan antara beban dan perpindahan, kekakuan elastis, daktilitas, serta pola kerusakan yang terjadi.



Gambar 14. Bangunan RISBA (Bimbingan Teknis Penerapan Teknologi Rumah Tahan Gempa Mataram, NTB, 2019)

METODE PENELITIAN

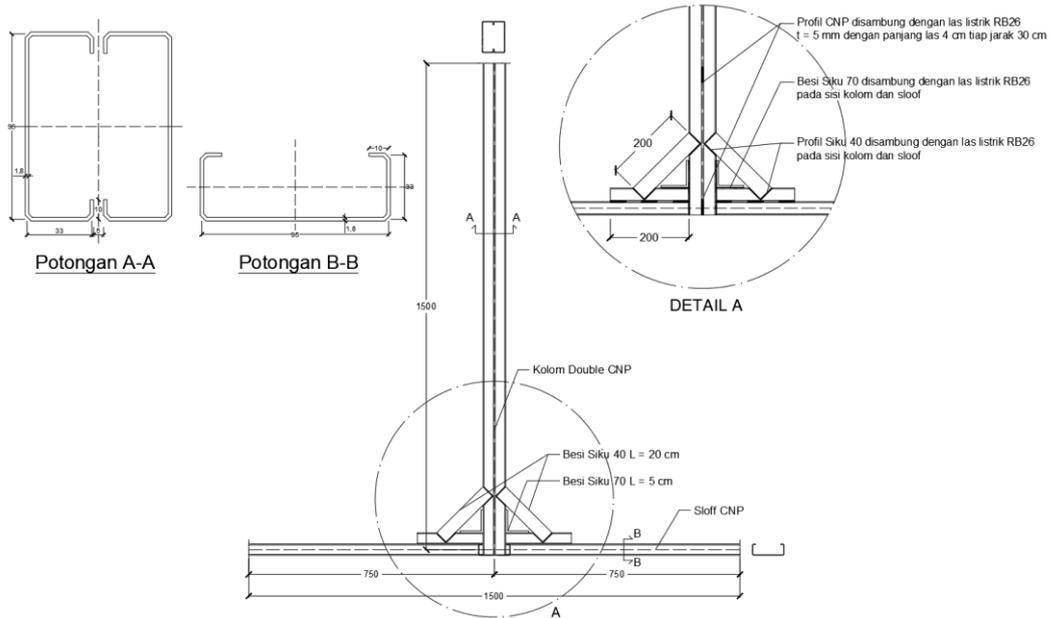
Uji Eksperimental

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Gadjah Mada. Pengujian dilakukan menggunakan spesimen berupa sambungan balok sloof-kolom yang diberi pembebanan monotonik. Hasil dari pengujian berupa kurva hubungan antara beban dan perpindahan serta pola kerusakan yang terjadi.

Benda Uji

Benda uji menggunakan profil baja CNP dimensi 95x33x10x1,8 untuk penampang kolom dan balok sloof, serta besi siku L40 dan L70 yang digunakan sebagai pengaku. Berdasarkan hasil uji tarik, diperoleh nilai rata-rata tegangan leleh (f_y) 268,104 MPa dan kuat tarik (f_u) 331,311 MPa. Penyambungan antar profil CNP menggunakan las listrik dengan kawat las tipe RB26 yang diproduksi oleh *Kobe Steel*. Tinggi dari kolom diambil 1,5 meter berdasarkan nilai $1/2 H$ *Infection Point* dari total tinggi bangunan (H) 3 meter. Detail dari benda uji dan persyaratannya dalam perkerjaan perakitan sambungan dapat dilihat pada Gambar 2.

Terdapat dua tipe sambungan yaitu tengah dan tepi yang dapat dilihat pada Gambar 2. Pada masing-masing tipe sambungan diberi arah pembebanan yang berbeda mengikuti sumbu kuat maupun lemah serta variasi penambahan isi dan tanpa mortar pada profil kolom *double* CNP. Profil *double* CNP diisi dengan mortar pasir semen 1:5 dan telah diuji di laboratorium dengan nilai berat jenis rata-rata 2003 kg/m³ serta kuat tekan rata-rata 9,122 MPa. Benda uji dibuat berjumlah delapan (8) buah dengan rincian dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 15. Detail Benda Uji Eksperimental



(a)



(b)

Gambar 16. Tipe Sambungan: (a) Sambungan Tengah (SRBA-1), (b) Sambungan Tepi (SRBA-2)

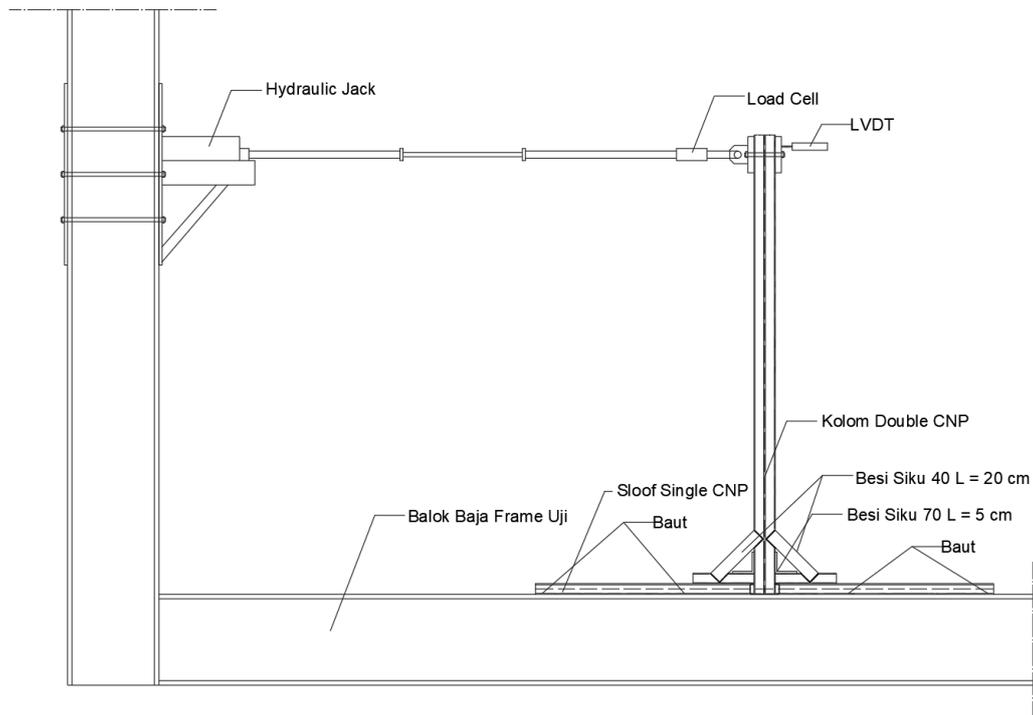
Tabel 12. Variasi Jumlah Tipe Benda Uji

Spesimen	Arah Pembebanan	Variasi Isi	Jumlah (buah)
SRBA-1	Arah X	Tanpa Isi	1
		Mortar	1
	Arah Y	Tanpa Isi	1
		Mortar	1
SRBA-2	Arah X	Tanpa Isi	1
		Mortar	1
	Arah Y	Tanpa Isi	1
		Mortar	1
Total			8

Instrumentasi dan Set-up Pengujian

Setting alat pengujian pemberian beban lateral secara bertahap menggunakan alat *hydraulic jack* serta *load cell* kapasitas 5 ton untuk pembacaan besarnya beban. Penentuan besarnya kapasitas alat ditentukan berdasarkan hasil analisis numerik nilai beban maksimal dari berbagai variasi benda uji sekitar 800 kg. Pengukuran besarnya perpindahan yang terjadi menggunakan LVDT (*Linear Variable Differential Transducer*) dengan kemampuan baca 100 mm dan ketelitian 1/100 mm yang dipasang di

bagian ujung atas kolom. Alat rekam data yang digunakan selama pengujian menggunakan *data logger* TS-303.



Gambar 17. *Set-up* Alat Pengujian

Prosedur Analisis

Analisis hasil dari uji eksperimental beban monotonik menggunakan hasil kurva hubungan antara beban dan perpindahan untuk menghitung Kurva EEEP (*Equivalent Energy Elastic-Plastic Curve*) berdasarkan ASTM-E2126. Kurva awal berupa garis dengan kemiringan yang sama dengan kurva beban dan perpindahan pada saat beban mencapai 0.4 P_{peak} (beban puncak) dengan perpindahan elastis (Δ_e) dan garis mendatar yang menghubungkan perpindahan leleh (Δ_{yield}) dan perpindahan ultimit (Δ_u) seperti pada Gambar 5.

Kekakuan elastis (K_e) berdasarkan ASTM-E2126 merupakan kemiringan dari beban pada kondisi 0.4 P_{peak} dan perpindahan Δ_e dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1.

$$K_e = \frac{0,4 P_{peak}}{\Delta_e} \tag{1}$$

dimana:

K_e = Kekakuan geser elastis (kg/mm)

0,4 P_{peak} = Beban pada kondisi 40% dari beban puncak (kg)

Δ_e = Perpindahan elastis ketika beban pada kondisi 40% dari beban puncak (mm)

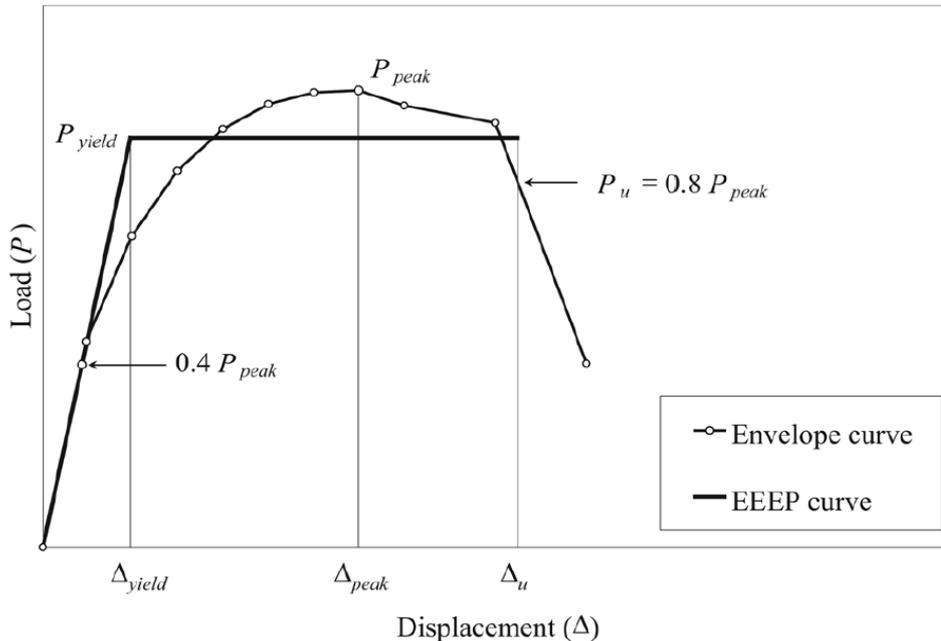
Beban pada kondisi leleh (P_{yield}) didapatkan berdasarkan keseimbangan luasan di bawah kurva *envelope* dengan luasan di bawah kurva EEEP pada Gambar 5 yang dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2. Nilai dari perpindahan saat leleh pertama (Δ_{yield}) kemudian dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.

$$P_{yield} = \Delta_u \cdot \sqrt{\Delta_u^2 - \frac{2A}{K_e}} \tag{2}$$

$$\Delta_{yield} = \frac{P_{yield}}{K_e} \tag{3}$$

dimana:

- P_{yield} = Beban pada kondisi leleh (kg)
 Δ_u = Perpindahan ultimit (mm)
 A = Luas di bawah kurva *envelope* (kg.mm)
 K_e = Kekakuan geser elastis (kg/mm)



Gambar 18. Kurva Elastis-Plastis (ASTM E2126-11, 2015)

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba (getas) tetapi masih mampu mengalami deformasi yang cukup besar pada saat beban maksimum tercapai sebelum struktur mengalami keruntuhan. Faktor daktilitas struktur merupakan rasio antara perpindahan ultimit (Δ_u) dan perpindahan saat mengalami leleh pertama (Δ_{yield}). Daktilitas dapat dihitung berdasarkan Persamaan 4.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_{yield}} \quad 4)$$

dimana:

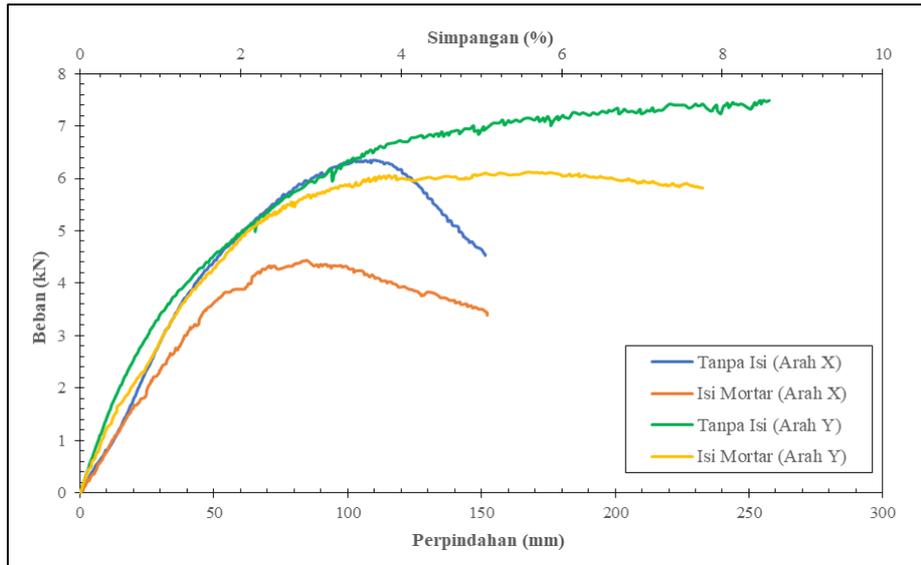
- Δ_u = Perpindahan ultimit (mm)
 Δ_{yield} = Perpindahan leleh pertama (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

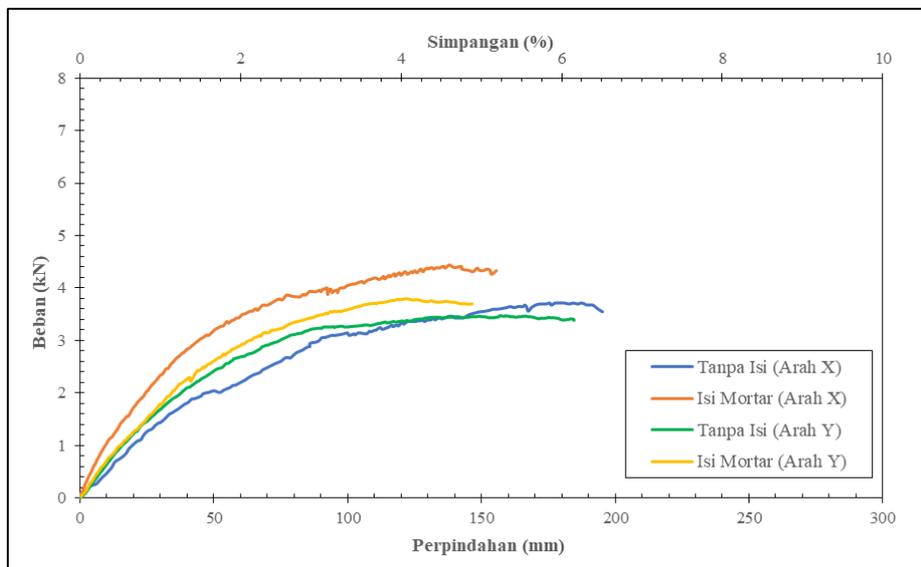
Hasil

Berdasarkan hasil uji eksperimental diperoleh kurva hubungan antara beban dan perpindahan. Kurva yang dihasilkan merupakan pembacaan beban dari *load cell* dan perpindahan dari *LVDT* di posisi ujung atas kolom. Hasil keseluruhan pengujian tipe sambungan SRBA-1 dapat dilihat pada Gambar 6 dan SRBA-2 pada Gambar 7.

Pola kerusakan yang terjadi pada SRBA-1 umumnya terjadi tekuk (*buckling*) pada kolom di posisi bagian atas pengaku dimana merupakan posisi yang diharapkan terbentuknya sendi plastis, detail pola kerusakannya dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan kurva hasil pengujian, terlihat pada benda uji SRBA-1 yang tidak diisi oleh mortar terjadi penurunan beban signifikan akibat terjadinya tekuk. Namun pada SRBA-2 tidak ditemukan terjadinya tekuk pada kolom, melainkan terjadi fraktur (*fracture*) pada bagian balok sloof secara seragam tanpa perbedaan baik tidak terisi maupun terisi mortar, detail pola kerusakannya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 19. Kurva Beban - Perpindahan Sambungan SRBA-1



Gambar 20. Kurva Beban - Perpindahan Sambungan SRBA-2



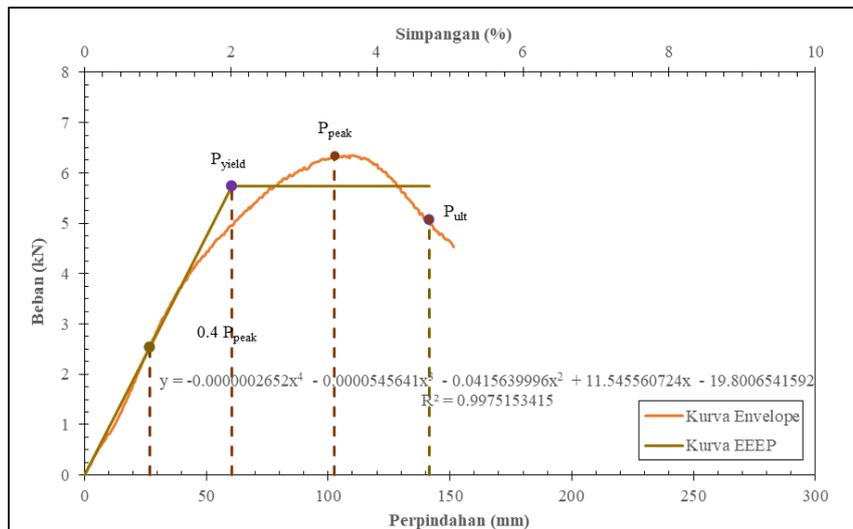
Gambar 21. Pola Kerusakan Tekuk pada Kolom: (a) Benda Uji Sambungan Tengah Tanpa Isi, (b) Benda Uji Sambungan Tengah dengan Isi



Gambar 22. Pola Kerusakan Fraktur pada Sloof: (a) Benda Uji Sambungan Tepi Tanpa Isi (b) Benda Uji Sambungan Tepi dengan Isi

Pembahasan

Analisis dilakukan untuk menggambarkan kurva *EEEEP* berdasarkan kurva beban-perpindahan hasil dari uji eksperimental. Kurva contoh perhitungan menggunakan benda uji SRBA-1 beban arah X tanpa isi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 23. Hasil Analisis Kurva EEEP pada SRBA-1 Beban Arah X Tanpa Isi

Perhitungan luasan di bawah kurva eksperimental dihitung berdasarkan nilai integral dari persamaan polinomial dengan koefisien regresi yang paling mendekati 1. Detail hasil analisis untuk mendapatkan nilai kekakuan elastis (K_e) dan daktilitas struktur (μ) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Perhitungan

Spesimen	Arah Beban	Variasi Isi	P_{peak} kN	Δ_{peak} mm	P_{ult} kN	Δ_{ult} mm	P_{yield} kN	Δ_{yield} mm	K_e kN/mm	μ
SRBA-1	Arah X	Tanpa Isi	6.347	102.59	5.078	141.364	5.739	60.588	0.0947	2.333
		Mortar	7.485	254.1	7.348	259.770	6.740	61.872	0.1089	4.199
	Arah Y	Tanpa Isi	4.444	84.84	3.555	145.495	4.019	50.120	0.0802	2.903
		Mortar	6.131	167.44	5.827	232.610	5.865	60.095	0.0976	3.871
SRBA-2	Arah X	Tanpa Isi	3.718	175.38	2.974	198.962	3.410	88.115	0.0387	2.258
		Mortar	4.444	137.83	3.555	151.331	4.081	59.646	0.0684	2.537
	Arah Y	Tanpa Isi	3.463	156.92	2.770	184.641	3.295	64.652	0.0510	2.856
		Mortar	3.796	121.53	3.698	146.59	3.579	65.956	0.0543	2.223

Berdasarkan hasil analisis dari Tabel 3, diperoleh pada benda uji SRBA-1 memiliki nilai P_{peak} yang lebih tinggi dibandingkan SRBA-2 untuk semua tipe variasi, hal ini diakibatkan karena sambungan tengah memiliki 4 sisi yang menahan secara stabil ketika diberi beban jika dibandingkan dengan sambungan tepi. Arah beban pengujian pada sumbu kuat (Arah X) menghasilkan beban P_{peak} yang lebih tinggi untuk semua tipe variasi, hal ini diakibatkan karena pada nilai inersia penampang arah sumbu kuat (I_x) memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan sumbu lemahnya. Penambahan mortar semen pada benda uji meningkatkan beban P_{peak} serta meningkatkan nilai K_e pada semua tipe variasi, hal ini diakibatkan karena terjadi aksi komposit antara mortar semen dan penampang kolom baja dalam menahan beban.

KESIMPULAN

1. Hasil pengujian SRBA-1 pembebanan arah X terisi mortar memiliki kapasitas sambungan tertinggi dimana menerima beban puncak P_{peak} sebesar 7,485 kN, dengan kekakuan elastis sebesar 0.1089 kN/mm dan daktilitas 4.199.
2. Hasil pengujian SRBA-2 pembebanan arah X terisi mortar memiliki kapasitas sambungan tertinggi dimana menerima beban puncak P_{peak} sebesar 4.444 kN, dengan kekakuan elastis sebesar 0.0684 kN/mm dan daktilitas 2,537.
3. Ditemukan terjadinya pola kerusakan berupa tekuk (*buckling*) pada penampang kolom *double* CNP di bagian yang diharapkan terjadinya sendi plastis pada setiap benda uji SRBA-1.
4. Tidak ditemukannya kerusakan tekuk pada benda uji SRBA-2, namun terjadi pola kerusakan fraktur (*fracture*) pada lokasi balok sloof dengan pola yang serupa baik benda uji SRBA-1 dan SRBA-2

DAFTAR PUSTAKA

- Boen, T. (2007). Engineering Non-Engineered Buildings, from Non-Engineered to 3D Non-Linear Analysis, Performance Based Design. *Seminar Dan Pameran HAKI 2007 "Konstruksi Tahan Gempa Di Indonesia,"* 1–16.
- Setiawan, A.F., Saputra, A.: RISBA Rumah instan struktur baja, Bimbingan Teknis Penerapan Teknologi Rumah Tahan Gempa Mataram, NTB (2019)
- ASTM - American Society For Testing And Materials. 2015. "E2126 - Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resisting Systems for Buildings." i(C):1–14. doi: 10.1520/E2126-11.2.