

Eksplorasi Posisi Sambungan dan Penambahan Elemen Pengaku Untuk Meningkatkan Kekakuan pada Balok RISHA

CARISSA^{1,2*}, DEWI LARASATI², SUGENG TRIYADI², MIA WIMALA³,
ALTHO SAGARA³, ADHIE IRHAM¹

¹Program Studi Arsitek, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

²Program Studi Arsitek, SAPPK, Institut Teknologi Bandung

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Email: laurentiacarissa@unpar.ac.id

ABSTRAK

Rangkaian panel RISHA menciptakan ruangan maksimal 3 m x 3 m. Beberapa penelitian yang dilakukan membuktikan ukuran tersebut belum nyaman jika digunakan sebagai rumah tinggal Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR). Pada perkembangannya, teknologi RISHA digunakan untuk bangunan dengan bentang balok yang lebih lebar, sehingga kekakuan balok harus ditingkatkan, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi posisi sambungan dan penambahan elemen pengaku dalam upaya meningkatkan kekakuan pada sambungan antar panel struktur RISHA. Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode pengumpulan data menggunakan simulasi software beam calculator untuk mendapatkan uji gaya momen, gaya geser, dan defleksi. Analisis menggunakan metode weighted product (WP) untuk mendapatkan posisi sambungan dan elemen pengaku terbaik. Simulasi dilakukan dengan eksplorasi posisi sambungan dan elemen pengaku untuk meningkatkan kekakuan pada sambungan antar panel struktur RISHA. Hasil pengujian menunjukkan balok yang terdiri dari tiga panel memiliki kekakuan yang lebih besar dari dua panel dan elemen pengaku splice lebih unggul dibandingkan corbel, maka penambahan elemen pengaku terbukti dapat meningkatkan kekakuan pada sambungan antar panel struktur RISHA.

Kata kunci: RISHA, kekakuan, corbel, splice, momen, gaya geser

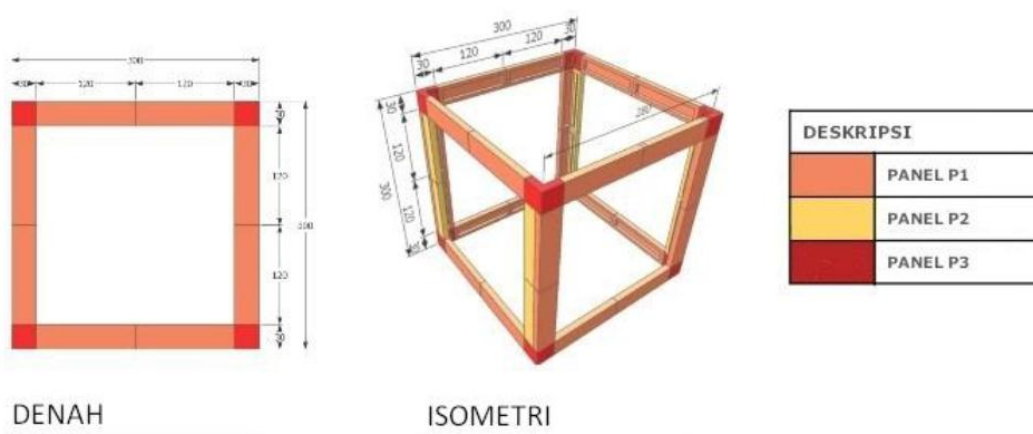
ABSTRACT

The RISHA series of panels creates a room of up to 3 m x 3 m. Several studies have been conducted to prove that this size is not comfortable when used as a low-income community residence. In its development, RISHA technology is used for buildings with wider span beams, so that beam stiffness must be increased, therefore this study aims to review the position of joints and the addition of stiffener elements to increase stiffness in joints between RISHA structural panels. This research was conducted using a quantitative approach. The data collection method uses beam calculator software simulation to obtain moment force, shear, and deflection tests. The analysis uses the weighted product (WP) method to get the best joints and stiffener elements. The simulation was carried out by exploring the position of the joints and the stiffening of the elements to increase the stiffness of the joints between the RISHA structural panels. The test results show that the beam consisting of three panels has greater stiffness than the two panels and the splice stiffener element is more than the corbel, so the addition of the stiffener element is proven to increase the elasticity at the joints between the RISHA structural panels.

Keywords: RISHA, stiffener, corbel, splice, moment, shear force

1. PENDAHULUAN

Teknologi RISHA dikembangkan sejak tahun 2004 oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (Puslitbangkim) yang sekarang berubah nama menjadi Bina Teknik (BINTEK) Permukiman dan Perumahan [16] [13] [12]. RISHA terdiri dari beberapa panel siap pakai dan siap bangun sehingga mempercepat pembangunan rumah tinggal di Indonesia dengan kualitas bangunan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem konvensional. RISHA memiliki tiga panel yaitu P1, P2 dan P3 yang disambungkan menggunakan mur dan baut. Panel P1 dan P2 dapat digunakan untuk komponen balok atau kolom, sementara panel P3 dapat difungsikan sebagai sambungan pada area simpul. Perakitan panel struktur RISHA menjadi modul dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Rangkaian panel RISHA [18]

Panel-panel RISHA membentuk bentang balok sebesar 3 m dengan menggunakan dua panel P1 dan dua panel P3, sehingga menyisakan bentang balok bebas sepanjang 2,4 m. Hampir sama dengan panel P1, panel P2 dengan dimensi yang kurang lebih sama dapat digunakan sebagai kolom. Namun demikian, panel P2 tidak memiliki bingkai pada salah satu sisi memanjangnya sehingga perlu dipasang bersamaan dengan panel P1 untuk membentuk kolom. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga kekakuan gaya momen torsi pada bangunan. Panel P3 berfungsi sebagai sambungan untuk menyatukan kolom dan balok yang terbentuk dari panel-panel lainnya. Ketiga panel ini memiliki berat masing-masing kurang dari 50 kg sehingga mudah untuk ditangani saat proses perakitan di lapangan karena tidak memerlukan alat berat. Tiga panel yang ada dapat dirangkai menjadi variasi bentang 1,8 m atau 3 m.

Pada awalnya, teknologi RISHA dikembangkan untuk mengatasi masalah perumahan Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR) di Indonesia. Rumah yang dirancang tersebut umumnya memiliki dua kamar tidur berukuran masing-masing 3 m x 3 m, satu ruang tamu yang sekaligus berfungsi sebagai ruang keluarga dan ruang makan dengan ukuran 3 m x 6 m, satu ruang dapur, dengan luas total 36 m persegi (tipe 36) seperti pada **Gambar 2**. Rangkaian panel RISHA menciptakan bentangan panjang atau lebar maksimal sebesar 3 m, jika menggunakan dinding bata ringan setebal 10 cm sekeliling ruangan, maka bentangan bersih menjadi 2,8 m x 2,8 m. Pada beberapa penelitian ditemukan bahwa lebar atau panjang ruangan 2,8 m belum nyaman sebagai rumah tinggal MBR [3] [2] [6]. Pada perkembangannya, teknologi RISHA mulai digunakan untuk menjawab permasalahan rumah bencana, sekolah, masjid, pasar, rumah sakit dan lain sebagainya di Indonesia, seperti yang telah dibangun di beberapa tempat antara lain di Aceh, Nias, Sumatera Barat, Bengkulu, Lampung, Bangka Belitung, Kalimantan Selatan, Sulawesi Utara, Nusa Tenggara Barat, Jawa Barat, dan DKI Jakarta [14]. Karakteristik fungsi bangunan yang berbeda ini tentu saja akan memerlukan

Eksplorasi Posisi Sambungan dan Penambahan Elemen Pengaku Untuk Meningkatkan Kekakuan pada Balok RISHA

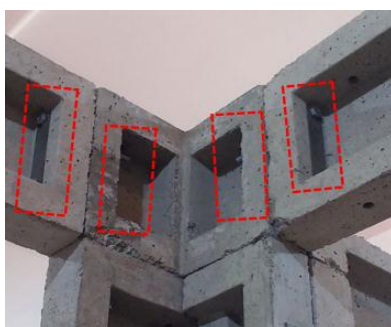
modul ruang yang lebih besar sehingga membutuhkan bentangan balok yang lebih besar. Bentangan balok yang lebih besar didapatkan apabila kekakuan balok dapat ditingkatkan, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan eksplorasi posisi sambungan dan penambahan elemen pengaku untuk meningkatkan kekakuan pada balok RISHA.



Gambar 2. Denah rumah RISHA [15]

2. TINJAUAN PUSTAKA

Ketiga panel RISHA disambungkan dengan menggunakan sistem mur dan baut, sehingga pemasangan relatif mudah dan cepat. Pada sambungan semi rigid diperlukan pengaku tambahan, seperti *bracing*, pengisi dinding, dan pengaku lain. Sambungan RISHA merupakan semi rigid karena sifatnya berada diantara rigid dan sendi (**Gambar 3**). Sambungan ini bisa menahan dan menerima gaya tekan aksial, tetapi tidak dapat menahan gaya momen sepenuhnya. Pada sambungan semi rigid defleksi dapat terjadi apabila terpengaruh oleh gaya momen. Sambungan ini berbeda dengan sambungan rigid karena adanya gaya momen dan gaya geser. Penggunaan *corbel* dan *splice* adalah salah satu upaya menjadikan sambungan RISHA menjadi lebih kaku.



Gambar 3. Sambungan RISHA

Gaya-gaya yang mempengaruhi kekakuan komponen balok adalah gaya momen dan gaya geser. Gaya momen merupakan gaya yang bersifat rotasional atau lentur (*bending*) saat menerima gaya atau beban rotasi yang terjadi secara transversal sama dengan hasil kali besar gaya yang diterima dan jarak tegak lurus dari garis kerja gaya [17]. Gaya geser juga turut

mempengaruhi desain komponen balok. Gaya ini diibaratkan seperti sebuah balok yang menerima gaya transversal yang kemudian mengalami patahan atau tergelincir satu sama lain dalam arah searah dengan bidangnya [17].

Metode Analisis WP adalah metode pengambilan keputusan dengan cara perkalian untuk dapat menghubungkan nilai atribut, dimana setiap atribut harus dipangkatkan terlebih dahulu dengan bobot atribut yang bersangkutan [8]. Perhitungan WP melalui tiga tahapan, yaitu: penentuan nilai bobot W , nilai vektor S , dan nilai vektor V [1]. Nilai bobot awal W digunakan untuk menunjukkan tingkat kepentingan relatif dari setiap kriteria. Menentukan nilai vektor S diperoleh dengan cara memangkatkan nilai atribut yang dimiliki setiap kriteria dengan hasil normalisasi bobot yang berpangkat positif untuk kriteria menguntungkan (*benefit*) dan yang berpangkat negatif untuk kriteria merugikan (*cost*). Nilai vektor (V) merupakan preferensi alternatif yang akan digunakan untuk perbandingan dengan cara membagi masing-masing jumlah nilai vektor S dengan jumlah seluruh vektor S . **Persamaan 1** untuk mencari vektor S (1) dan **Persamaan 2** untuk mencari vektor V (2) [5], sebagai berikut:

$$S_i = \prod_{j=1}^n X_{ij}^{W_j} \quad \dots(1)$$

$$V_i = \frac{S_i}{\prod_{j=1}^n (X_j^*)^{w_j}} \quad \dots(2)$$

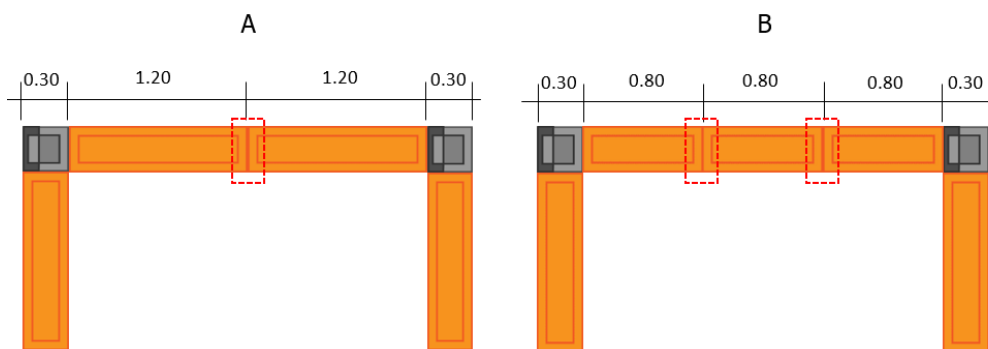
dengan:

- S_i = hasil normalisasi matrik,
- V_i = hasil normalisasi matrik,
- X_{ij} = nilai variabel dari alternatif setiap atribut,
- W_j = nilai bobot kriteria,
- n = banyaknya kriteria,
- i = nilai alternatif,
- j = nilai kriteria.

3. METODE

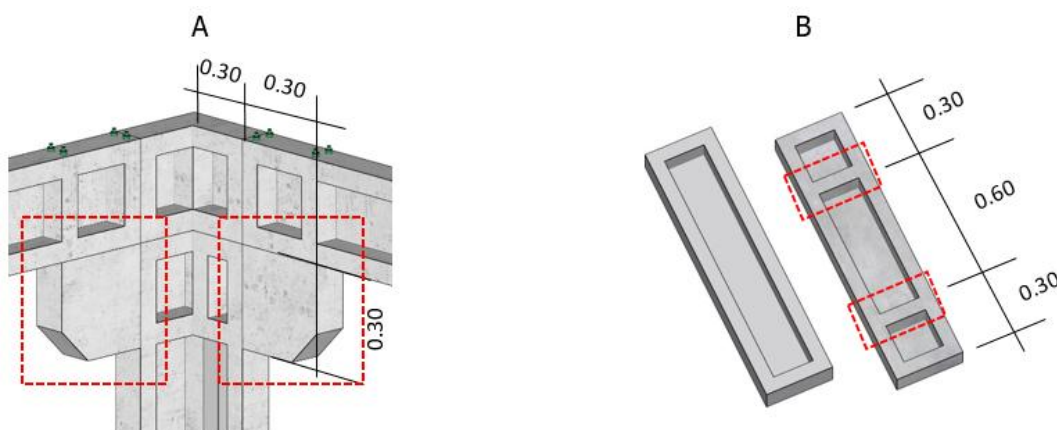
Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode pengumpulan data menggunakan simulasi software beam calculator untuk mendapatkan uji gaya momen, gaya geser, dan defleksi. Analisis menggunakan metode *Weighted Product* (WP) untuk mendapatkan posisi sambungan dan elemen pengaku terbaik. Simulasi dilakukan dengan eksplorasi posisi sambungan dan penambahan elemen pengaku untuk meningkatkan kekakuan pada balok RISHA. Eksplorasi posisi sambungan dipilih karena momen maksimum balok berada pada tengah bentangan balok, sedangkan sambungan panel RISHA juga berada di tengah balok. Sambungan panel di momen maksimum (area kritis) diduga akan menjadi perlemahan pada struktur RISHA, oleh karena itu simulasi pertama yang ditunjukkan pada **Gambar 4** adalah mengubah posisi sambungan balok dari 2 panel (A) menjadi 3 panel (B), dengan hipotesis lokasi sambungan pada area dengan gaya dalam yang tidak kritis akan meminimalisir kebutuhan desain sambungan dan juga turut meningkatkan kekakuan balok.

Eksplorasi Posisi Sambungan dan Penambahan Elemen Pengaku Untuk Meningkatkan Kekakuan pada Balok RISHA

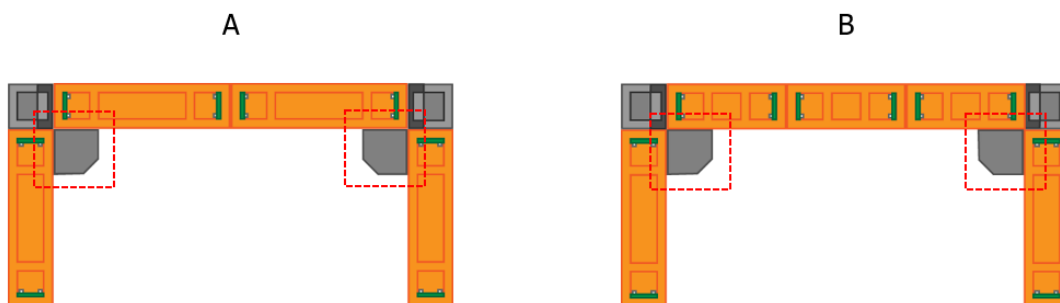


Gambar 4. (A) Posisi sambungan balok 2 panel, (B) Posisi sambungan balok 3 panel

Eksplorasi penambahan elemen pengaku pada sambungan dipilih karena adanya gaya geser antara kolom dengan balok yang perlu diakomodir (**Gambar 5**). Penambahan elemen pengaku diharapkan dapat meningkatkan kekakuan pada sambungan sehingga menambah kekakuan komponen balok khususnya kekakuan pada arah rotasi sumbu kuat balok (**Gambar 6**). Parameter kekakuan komponen balok akan terlihat pada defleksi balok akibat pembebanan. Elemen pengaku yang akan diujicobakan adalah elemen yang biasa digunakan pada panel prapabrikasi, yaitu corbel [20] [4] [7] [9] [10] [19] pada tumpuan balok dengan kolom, serta splice [11] pada sambungan balok dengan balok.



Gambar 5. (A) Sambungan corbel pada RISHA (B) Penambahan adisi pada panel P1 RISHA

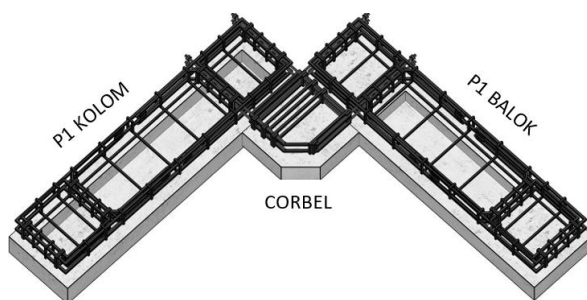


Gambar 6. (A) Penambahan Corbel pada balok yang terdiri dari 2 Panel (B) Penambahan Corbel pada balok yang terdiri dari 3 Panel

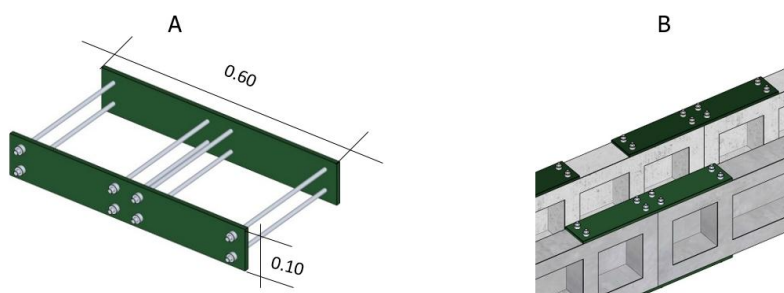
Peningkatan rigiditas pada komponen balok dan kolom pada bagian-bagian tersebut dilakukan dengan penambahan adisi pada bagian panel P1 kolom dan P1 balok seperti pada **Gambar 7**. Penambahan adisi ini digunakan sebagai tempat masuknya rangka corbel dan merupakan

bagian panel yang menerima dan melawan gaya yang dibuat oleh *corbel*, sehingga kemungkinan terjadinya robek karena deformasi tekanan dari *corbel* dapat diminimalisir. Adisi ditambahkan pada seluruh panel P1 karena sifat panel yang modular sehingga harus bisa digunakan pada berbagai bagian bangunan. Adisi ini ditambahkan pada bagian bawah P1 agar panel dapat digunakan pada orientasi manapun. Kekurangan dari elemen *corbel* adalah dari sisi ukuran dan material yang digunakan. Ukuran *corbel* 30 cm x 30 cm x 10 cm ini cukup besar dan setara dengan ukuran panel P3 atau simpul. Material yang terbuat dari beton bertulang membuat beban panel bertambah dan meningkatkan biaya dan kebutuhan transportasi. Rangka besi baja yang diperlukan cukup rumit sehingga material yang digunakan lebih banyak dan harga lebih tinggi.

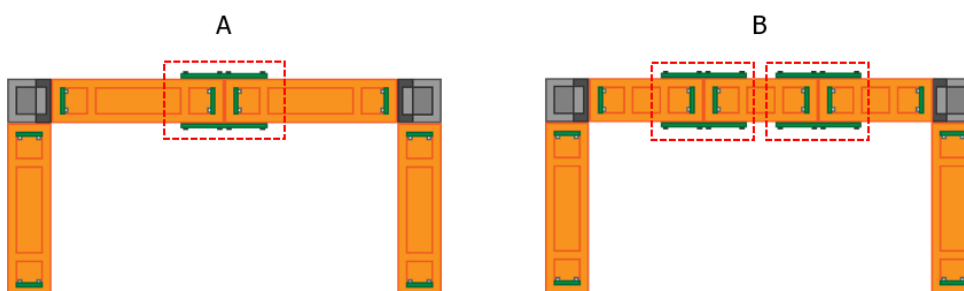
Splice digunakan untuk mengurangi defleksi pada sambungan antara komponen balok dengan balok yang terinspirasi dari sambungan baja untuk meningkatkan kekakuan rangkaian balok baja (**Gambar 8**). *Splice* digunakan pada konstruksi baja untuk mengurangi gaya momen dan gaya geser vertikal yang terjadi pada sambungan antara balok atau kolom baja. *Splice* terbuat dari plat baja dengan minimal ketebalan 5 mm dan dipasang dengan menggunakan mur dan baut. Mur dan baut ini juga akan dipasang pada lubang mur dan baut untuk *corbel* yang tidak digunakan pada saat panel P1 digunakan menjadi balok. Kekurangan dari komponen *splice* adalah dari sisi biaya. Plat baja memiliki harga yang cukup tinggi sehingga dapat membebani harga jual panel.



Gambar 7. Rangka Tulang RISHA dan Corbel

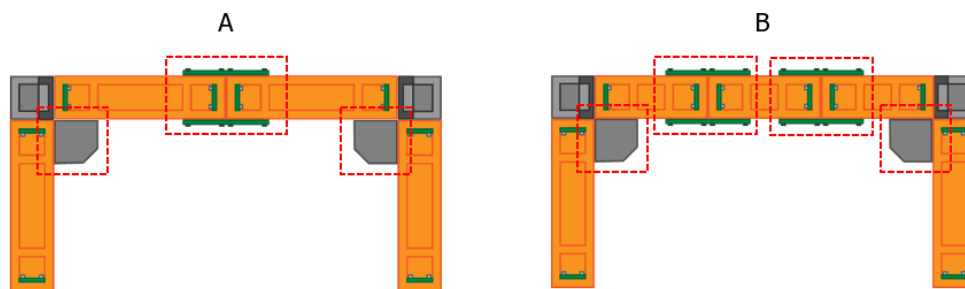


Gambar 8. (A) Isometri Splice, (B) Pemasangan Splice pada Balok



Gambar 9. (A) Penambahan Splice pada Balok yang terdiri dari 2 Panel (B) Penambahan Splice pada Balok yang terdiri dari 3 Panel

Eksplorasi Posisi Sambungan dan Penambahan Elemen Pengaku Untuk Meningkatkan Kekakuan pada Balok RISHA



Gambar 10. (A) Penambahan *Splice* dan *Corbel* pada Balok yang terdiri dari 2 Panel (B) Penambahan *Splice* dan *Corbel* pada Balok yang terdiri dari 3 Panel

Simulasi menggunakan software beam calculator untuk mendapatkan uji gaya momen, gaya geser, dan defleksi dengan eksplorasi posisi sambungan dan penambahan perkuatan sambungan. Simulasi dilakukan sebanyak delapan kali seperti pada **Tabel 1** dengan variabel bebasnya antara lain: jumlah panel dalam komponen balok dan jenis elemen pengaku seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.

Tabel 1. Jenis-Jenis Produk Alternatif

Varian	Jumlah Panel dalam Satu Balok	Panjang per Panel (cm)	Penambahan Elemen Pengaku
A			Tidak ada
B	2	120	<i>Splice</i>
C			<i>Corbel</i>
D			<i>Splice + corbel</i>
E			Tidak ada
F	3	80	<i>Splice</i>
G			<i>Corbel</i>
H			<i>Splice + corbel</i>

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada tahap awal dilakukan input data di *software* seperti terlihat pada **Tabel 2**. Data di-*input* sesuai dengan data panel RISHA eksisting. Data yang diinput yaitu: panjang balok keseluruhan, *young modulus*, *area of section*, *moment of inertia*, sambungan yang digunakan, beban merata, panjang per panel untuk balok yang terdiri dari dua panel maupun tiga panel.

Tabel 2. Input Data Software

Panjang balok	2.400 mm
<i>Young's modulus</i>	200.000 MPa
<i>Area of cross section</i>	19.200 mm ²
<i>Second moment of area (moment of inertia)</i>	225.000.000 mm ⁴
Jenis sambungan di kiri	
Jenis sambungan di tengah	<i>pinned</i> (sambungan eksisting), <i>fixed</i> (<i>corbel</i> dan <i>splice</i>)
Jenis sambungan di kanan	
Eksitasi beban mati + beban hidup	13,4 kN/m
<i>Span length</i> untuk balok yang terdiri dari 2 panel	2.400 mm (1.200 mm + 1.200 mm)
<i>Span length</i> untuk balok yang terdiri dari 3 panel	2.400 mm (800 mm + 800 mm + 800 mm)

Kajian Gaya Momen

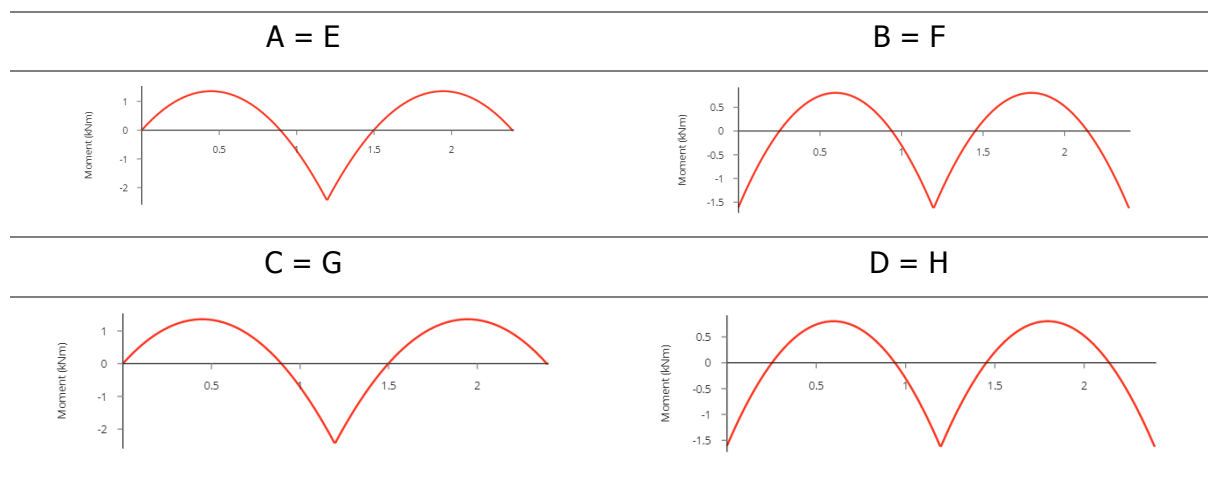
Perhitungan momen tahanan baja pada **Tabel 3** dilakukan untuk melihat kemampuan baja menahan gaya momen yang terjadi pada balok. Momen tahanan baja didapatkan dari luas tulangan total dikali kekuatan luluh dikali lengan momen dikali konstanta, maka didapatkan momen tahanan baja eksisting sebesar 11,79 kNm. Gaya momen (**Tabel 4**) pada setiap varian

dapat dilihat pada tabel 4 dan 7, berturut-turut dari A sampai D adalah 2,41 kNm; 1,61 kNm; 2,41 kNm; dan 1,61 kNm. Gaya momen terbesar berada pada varian A dan C sebesar 2,41 kN, namun masih lebih kecil dari kemampuan momen tahanan baja panel eksisting RISHA, maka tulangan baja eksisting pada RISHA mampu menahan semua gaya momen di setiap varian uji coba. Untuk gaya dalam momen pada varian E sampai H memiliki nilai gaya dalam momen yang identik sama dengan varian A sampai D, hal ini terkait distribusi gaya dalam yang tidak dipengaruhi oleh keberadaan sambungan (*joint*) antar panel.

Tabel 3. Perhitungan Momen Tahanan Baja

Ukuran tulangan momen polos	8 mm
Jumlah tulangan	4
Luas tulangan total	200,96 mm ²
Kekuatan luluh tulangan polos	240 MPa
Lengan momen	287,5 mm ²
Konstanta	0,85
Momen tahanan baja	11,79 kNm

Tabel 4. Diagram Gaya Momen



Kajian Gaya Geser

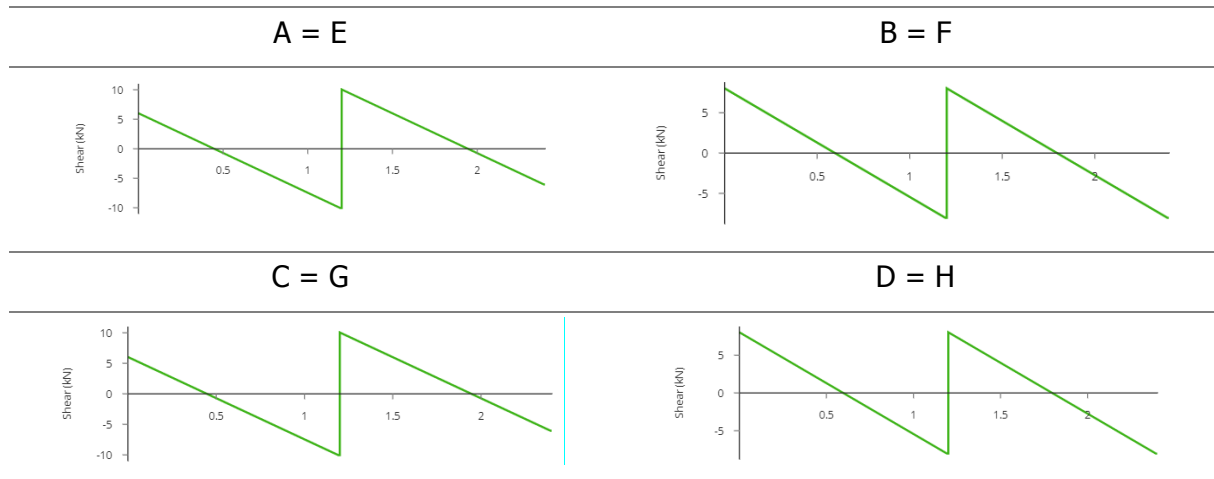
Perhitungan geser tahanan baja pada **Tabel 5** dilakukan untuk melihat kemampuan tulangan sengkang baja menahan gaya geser yang terjadi pada balok. Geser tahanan baja didapatkan dari luas tulangan total dikali kekuatan luluh dikali tinggi balok efektif dibagi jarak tulangan sengkang, maka didapatkan geser tahanan baja eksisting sebesar 9,5 kN. Gaya geser pada setiap varian dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**, berturut-turut dari A sampai D adalah 10 kN; 8,4 kN; 10 kN; dan 8,4 kNm dan nilai tersebut berlaku sama untuk varian E sampai H. Gaya geser terbesar berada pada varian A dan C sebesar 10 kN, namun apabila ditambah tahanan geser beton maka tulangan baja sengkang pada RISHA mampu menahan semua gaya geser di setiap varian uji coba.

Eksplorasi Posisi Sambungan dan Penambahan Elemen Pengaku Untuk Meningkatkan Kekakuan pada Balok RISHA

Tabel 5. Perhitungan Geser Tahanan Baja

Ukuran tulangan geser polos	6 mm
Jumlah tulangan geser	2
Luas tulangan total	56,25 mm ²
Kekuatan luluh tulangan polos	240 MPa
Tinggi balok efektif	280 mm
Geser tahanan baja	9,5 kN

Tabel 6. Diagram Gaya Geser



Kajian Defleksi

Gaya defleksi pada masing-masing varian dapat dilihat pada **Tabel 7** yang mana semakin kaku sebuah balok maka defleksinya semakin kecil. Pada setiap varian berturut-turut dari A sampai H adalah mengalami defleksi sebesar 0,0285 mm; 0,0137 mm; 0,0285 mm; 0,0137 mm; 0,00714 mm; 0,0027 mm; 0,00562 mm; dan 0,0027 mm. Defleksi terbesar berada pada varian A dan C sebesar 0,0285 mm, namun masih berada di dalam batas toleransi defleksi RISHA sebesar 1 cm.

Tabel 7. Hasil Uji Gaya Momen, Gaya Geser, dan Defleksi

Varian	Gaya Momen Maksimum [kNm]	Gaya Geser Maksimum [kN]	Gaya Defleksi Maksimum [mm]
A	2,41	10	0,0285
B	1,61	8,04	0,0137
C	2,41	10	0,0285
D	1,61	8,04	0,0137
E	2,41	10	0,00714
F	1,61	8,04	0,0027
G	2,41	10	0,00562
H	1,61	8,04	0,0027

Kajian Peningkatan Kekakuan

Perhitungan penentuan alternatif produk terbaik menggunakan metode WP dimulai dengan menyusun tabel alternatif seperti pada **Tabel 1**, kemudian menyusun tabel kriteria seperti pada **Tabel 8**, selanjutnya diberikan bobot yang sama pada masing-masing kriteria seperti pada **Tabel 9**. Gaya momen maksimum, gaya geser maksimum, dan defleksi maksimum dianggap setara maka diberikan bobot yang sama. Tahap berikutnya dilanjutkan dengan perhitungan nilai relatif bobot awal (W_j) yang mana $\sum W_j$ harus sama dengan 1. Pada **Tabel 9**, $\sum W_j$ merupakan penjumlahan kolom C1, C2, dan C3 yang jumlahnya telah sama dengan 1. Selanjutnya merupakan berupa matriks pertemuan alternatif dan kriteria seperti pada **Tabel**

7. **Tabel 11** merupakan perhitungan nilai vektor S yang dilanjutkan dengan perhitungan nilai vektor V pada **Tabel 12**, maka nilai vektor V dapat di-ranking.

Tabel 8. Kriteria Pemilihan Produk

Kriteria	Bobot	Cost/Benefit	Kode
Gaya momen maksimum	1	Cost	C1
Gaya geser maksimum	1	Cost	C2
Defleksi maksimum	1	Cost	C3
Jumlah	3		

Tabel 9. Bobot Kepentingan pada Tiap Kriteria

Bobot	C1	C2	C3
Bobot Kepentingan	0,33	0,33	0,33

Tabel 10. Perhitungan Nilai Vektor S

Alternatif	S
A	1,133389972
B	1,779914616
C	1,133389972
D	1,779914616
E	1,797883646
F	3,058567741
G	1,947222357
H	3,058567741
Jumlah	15,68885066

Tabel 12. Perhitungan Nilai Vektor V (Preferensi Relatif) dan Perankingan

Alternatif	V	Rangking
A	0,072241746	5
B	0,113450925	4
C	0,072241746	5
D	0,113450925	4
E	0,114596262	3
F	0,194951677	1
G	0,124115042	2
H	0,194951677	1
Jumlah	1	

Melalui perhitungan dengan metode WP didapatkan ada 5 buah urutan ranking dengan ranking teratas seluruhnya ditempati oleh komponen balok yang terdiri dari tiga buah panel RISHA, yang mana menggunakan panel lebih pendek (80 cm) dibandingkan panel eksisting (120 cm). Dari hasil analisis didapatkan bahwa panel yang lebih pendek dapat menaikan kekakuan balok, balok yang terdiri dari tiga panel juga lebih unggul karena memiliki nilai defleksi yang lebih kecil, dapat menurunkan tinggi balok, mengurangi tulangan sengkang yang sekaligus dapat menurunkan harga panel, serta mempermudah proses transportasi dan konstruksinya, maka balok yang terdiri dari tiga buah panel lebih optimal dibandingkan balok yang terdiri dari dua panel.

Hasil perhitungan pada balok dengan jumlah panel yang sama menunjukkan bahwa penggunaan elemen pengaku *splice* dan *splice + corbel* menempati ranking tertinggi. Balok yang ditambahkan elemen pengaku *splice* dibandingkan dengan balok yang ditambahkan elemen pengaku *splice + corbel* memiliki nilai vektor V yang sama, namun harga yang berbeda. Penggunaan elemen pengaku *splice* saja tentu lebih murah dibandingkan menggunakan elemen pengaku *splice + corbel*, selain itu penggunaan *splice* saja juga memiliki kelebihan karena tidak mengurangi tinggi bersih dari ruangan, oleh karena itu dapat disimpulkan menggunakan elemen pengaku *splice* merupakan pilihan yang paling optimal.

5. KESIMPULAN

Gaya dalam momen pada varian E sampai H memiliki nilai gaya dalam momen yang identik sama dengan varian A sampai D, hal ini terkait distribusi gaya dalam yang tidak dipengaruhi oleh keberadaan sambungan (*joint*) antar panel. Gaya geser terbesar berada pada varian A dan C sebesar 10 kN, namun apabila ditambah tahanan geser beton maka tulangan baja sengkang pada RISHA mampu menahan semua gaya geser di setiap varian uji coba. Gaya defleksi menunjukkan semakin kaku sebuah balok maka defleksinya semakin kecil. Defleksi terbesar berada pada varian A dan C sebesar 0,0285 mm; namun masih berada di dalam batas toleransi defleksi RISHA sebesar 1 cm. Balok yang terdiri dari tiga panel (dalam upaya mendapatkan bentangan balok yang lebih besar) lebih unggul dibandingkan balok eksiting yang terdiri dari dua panel, karena memiliki nilai defleksi yang lebih kecil, dapat menurunkan tinggi balok, mengurangi tulangan sengkang yang sekaligus dapat menurunkan harga panel, serta mempermudah proses transportasi dan konstruksinya karena balok berukuran lebih kecil. Hasil perhitungan pada balok dengan jumlah panel yang sama menunjukkan penggunaan elemen pengaku *splice* saja lebih unggul dibandingkan alternatif lainnya karena penggunaan elemen pengaku *splice* saja tentu lebih murah dibandingkan menggunakan elemen pengaku *splice + corbel*, selain itu penggunaan *splice* saja juga memiliki kelebihan karena tidak mengurangi tinggi bersih dari ruangan. Maka penggunaan balok yang terdiri dari tiga panel dan penambahan elemen pengaku *splice* saja merupakan pilihan terbaik untuk meningkatkan kekakuan balok RISHA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arsyad, M. (2016). Sistem Pendukung Keputusan Untuk Seleksi Calon Ketua Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) STMIK Banjarbaru Dengan Metode Weighted Product (WP) Muhammad Arsyad. *Jurnal Bianglala Informatika*, 4(1), 51–59.
- [2] Carissa, Anastasia Maurina, Budianastas Prastyatama, & Mia Wimala. (2021). Comparative Suitability of RISHA's Modular Structure for the Spatial Dimension of Human Activities Case Study The Living Bandung Korean Project Building, Indonesia..pdf. *JAITA*, 2(2).
- [3] Carissa, C., Larasati, D., Triyadi, S., & Slamet, V. (2022). Evaluasi Modul RISHA pada Rumah Susun Kampung Deret Petogogan. *Journal of Sustainable Construction*, 1(2), 19–32. <https://doi.org/10.26593/josc.v2i1.5708>
- [4] Chehab, A. I., Eamon, C. D., Parra-Montesinos, G. J., & Dam, T. X. (2018). Shear testing and modeling of AASHTO type II prestressed concrete bridge girders. *ACI Structural Journal*, 115(3), 801–812. <https://doi.org/10.14359/51701917>
- [5] Fitriyani, A., Komarudin, R., Maulana, Y. I., & Haidir, A. (2020). Penerapan Metode Weighted Product (WP) Pada Pemilihan Supplier Kimia Terbaik PT. Mayer Indah Indonesia Bogor. *Bianglala Informatika*, 8(1), 36–43. <https://doi.org/10.31294/bi.v8i1.8106>
- [6] Heston, Y. P. (2015). *RISHA Home Development with Knockdown Technology according to Local Contextual Needs (Pengembangan Rumah RISHA dengan Teknologi Knockdown sesuai Kebutuhan Kontekstual Lokal, in Indonesian)*. 6.
- [7] Huang, Y., Han, B., & Yin, W. (2022). Reinforced Concrete Corbels Shear Test: The Triangular-Truss Method Evaluation. *Buildings*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/buildings12101619>
- [8] Kurniawan, D. E., & Amanda, S. T. (2017). Pemilihan Rumah Menggunakan Metode Weight Product Dengan Visualisasi Lokasi Objek. *Klik - Kumpulan Jurnal Ilmu Komputer*, 4(1), 102. <https://doi.org/10.20527/klik.v4i1.77>
- [9] Li, J., Liu, H., Zuo, J., Xia, R., & Zillante, G. (2018). Are construction enterprises ready for industrialized residential building policy? A case study in Shenzhen. *Sustainable Cities and Society*, 41(January), 899–906. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.033>
- [10] Liu, H., Kong, P., & Ye, T. (2021). Influence of Precast Member Corbels on Seismic

- Performance of Precast Beam-Slab-Column Joints. *Advances in Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7107569>
- [11] Lyu, Y. F., Li, G. Q., Cao, K., Zhai, S. Y., Li, H., Chen, C., & Wang, Y. Z. (2021). Behavior of splice connection during transfer of vertical load in full-scale corner-supported modular building. *Engineering Structures*, 230(December 2020), 111698. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111698>
- [12] Pramantha, R. Q. (2019). PENATAAN PERMUKIMAN KUMUH DENGAN TEKNOLOGI RISHA DI KAMPUNG DERET PETOGOGAN, JAKARTA SELATAN. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 18(1). <https://doi.org/10.35760/dk.2019.v18i1.1955>
- [13] PUPR. (2020a). *Pengenalan Teknologi RISHA Rumah Instan Sederhana Sehat*. KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT DIREKTUR JENDERAL CIPTA KARYA.
- [14] PUPR. (2020b). *Pengenalan Teknologi RISHA Rumah Instan Sederhana Sehat* (Issue 1).
- [15] Raihan, M., & Sulthan, F. (2020). Penerapan Konsep Rumah Tumbuh Pada Teknologi Struktur Risha. *Prosiding Applicable Innovation of Engineering and Science Research*, 2020(1), 355–362.
- [16] Sabaruddin, A., & Nana Puja Sukmana. (2005). *Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA)*.
- [17] Schodek, D. L. (1991). *STRUKTUR*. PT Eresco.
- [18] Wimala, M., Bonardo, B., Perceka, W., & Carissa. (2022). *Keunggulan Kompetitif Teknologi Modular Rumah Instan Sederhana dan Sehat (RISHA) Jayagiri*. 20(2), 331–344.
- [19] Yassin, L., Sayhood, E. K., & Hasan, Q. A. M. (2015). Reinforced concrete corbels - state of the art. *Journal of Materials and Engineering Structures*, 2.
- [20] Yip, C. C., Wong, J. Y., & Lim, X. P. (2019). Flexural strength test of precast industrialised building system beam-corbelt connection. *Jurnal Teknologi*, 81(5), 69–79. <https://doi.org/10.11113/jt.v81.13174>