

## Analisis unit modular baja dengan pendekatan *frame element*

Bayu Agung Gilang Wibowo<sup>1</sup>, Ashar Saputra<sup>1\*</sup>, Iman Satyarno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departement of Civil and Environmental Engineering, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia.

### Article Info

Available online

### Keywords:

Connection  
Plastic hinges  
Steel modular unit  
Pushover analysis

### Abstract

Modular building construction is becoming popular around the world in the hope of reducing resource wastage and providing innovation opportunities that enable further advancements in the field. According to previous research, the connections between modular components are critical to maintaining the integrity of modular buildings. The present study was conducted to model steel modular units into several condition variations equipped with selected connections. The pushover analysis or nonlinear static procedures (NSPs) method was conducted to simulate the performance of the module under each condition variation. The results show that (a) the plastic joint length is taken as 0.5 of the profile height, (b) all the results of modeling the variation of conditions using links give small initial stiffness compared to the model without links. (c) modeling the modular unit by including the wall element shows linear results, so the wall model is not considered.

### Corresponding Author;

Ashar Saputra  
\*saputra@ugm.ac.id

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

Bangunan modular menjadi populer di seluruh dunia dengan harapan mengurangi pemborosan sumber daya dan memberikan peluang inovasi yang memungkinkan kemajuan lebih lanjut di bidang tersebut (Gatheeshgar et al., 2020). Bangunan seperti itu memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan metode konstruksi tradisional, seperti proses konstruksi yang lebih sedikit dan lebih cepat. Selain itu, karena dibuat dari baja modular, mereka memiliki fleksibilitas desain yang luar biasa. Keuntungan ini sangat penting ketika membangun di tempat yang tidak dapat diakses karena kondisi iklim yang ekstrim (Shirokov et al., 2020) (Shan & Pan, 2020).

Namun, dibalik keuntungan tersebut, proyek yang menggunakan struktur modular di luar lokasi harus mematuhi kode bangunan yang sama dengan proyek yang menggunakan struktur tradisional di lokasi. Hal ini dapat menimbulkan tantangan bagi tim proyek karena cara penggunaan dan persetujuan

struktur modular berbeda dari metode yang digunakan untuk struktur tradisional (Shi et al., 2020)(Thai et al., 2020)(The American Institute of Architects, 2019) (Peng et al., 2021).

Hal ini didukung dari riset yang sudah ada seperti, Farajian et al., (2021) menyelidiki pengaruh sambungan antar modular terhadap panjang efektif kolom dari struktur bergoyang dan struktur tidak bergoyang (mengacu pada pasal 7.2 dan 7.3.2(b) SNI 1729:2020). Hasil menunjukkan, penggunaan langsung dari panjang standar yang tersedia dari bangunan menjadi konservatif, tergantung pada kinerja sambungan inter-modul sebagai kondisi batas. Di sisi lain, rumus koefisien panjang efektif yang diusulkan dalam peraturan standar untuk struktur baja konvensional mungkin tidak dapat diterapkan pada modular baja dengan sambungan las sudut, terutama karena konfigurasi batas yang berbeda. Sharafi et al., (2018) mempertegas hal tersebut bahwa sambungan antara elemen modular sangat penting untuk menjaga integritas bangunan modular. Meskipun beban gravitasi normal

bergantung pada kinerja struktural unit individu, kualitas mekanisme transfer beban lateral dan kinerja keseluruhan diafragma dalam rakitan modul bergantung pada ketahanan terhadap sambungan penuh. Oleh karena itu, studi yang berkaitan dengan topik itu sangat penting.

Dalam studi ini unit modular dimodelkan sebagai *frame element* menggunakan *section designer* menjadi beberapa variasi kondisi yang dilengkapi dengan sambungan terpilih, yaitu: a) variasi pada rangka utama modular; b) variasi pada rangka utama dengan panel *discrete diaphragms*; c) variasi pada rangka utama dengan panel *discrete diaphragms* dan rangka dalam; d) variasi pada rangka utama dengan panel *discrete diaphragms* dan rangka dalam serta panel dinding.

Metode *pushover analysis* atau *nonlinear static procedures (NSPs)* dilakukan untuk mensimulasikan kinerja modul pada masing-masing variasi kondisi, yang nantinya akan dilakukan perbandingan hasil variasi pemodelan unit modular baja tanpa dan dengan menggunakan sambungan *link* setelah dilakukan analisis *pushover*.

### Konsep Sistem Modular Baja

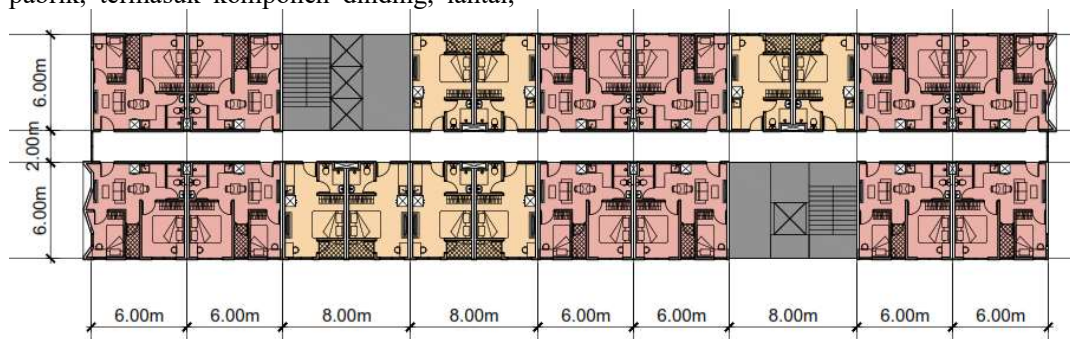
Konstruksi bangunan modular dibagi menjadi tiga tahapan utama. Tahap pertama adalah perakitan panel atau prefabrikasi modul di pabrik, termasuk komponen dinding, lantai,

langit-langit, dan penyangga jika diperlukan. Tahap kedua adalah penyelesaian modul volumetrik dan tahap ketiga adalah konstruksi modular biasa di lokasi proyek (Gatheeshgar et al., 2021).

Membatasi ukuran dan berat modular juga diperlukan, jika rute yang diambil melewati ruas jalan di bawah flyover, ketinggian juga harus dipertimbangkan. Untuk *corner supported modular system* tidak boleh lebih dari 4,5 meter tinggi (termasuk tinggi truk), lebar < 3,4 meter, panjang < 12 meter panjang, dan berat < 80 ton yang dapat diangkut (J. Y. R. Liew et al., 2019). Umumnya berat modular baja berkisar 15 sampai 20 ton (R. J. Liew et al., 2018).

Kemudian terkait mekanisme transfer beban pada bangunan modular baja terdiri dari: a) beban gravitasi disalurkan melalui pelat lalu ke balok tepi dan ke kolom sudut serta berakhir di struktur bawah dan b) beban lateral ditahan oleh *reinforced concrete core wall* (R. J. Liew et al., 2018).

Tampilan denah tinjauan modular yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 terdiri dari 2 tipe unit modular yakni, tipe 24 dengan luasan ruang 4 meter kali 6 meter berwarna *baby pink* dan tipe 36 dengan luasan ruang 6 meter kali 6 meter berwarna *pink* keungu-unguan.



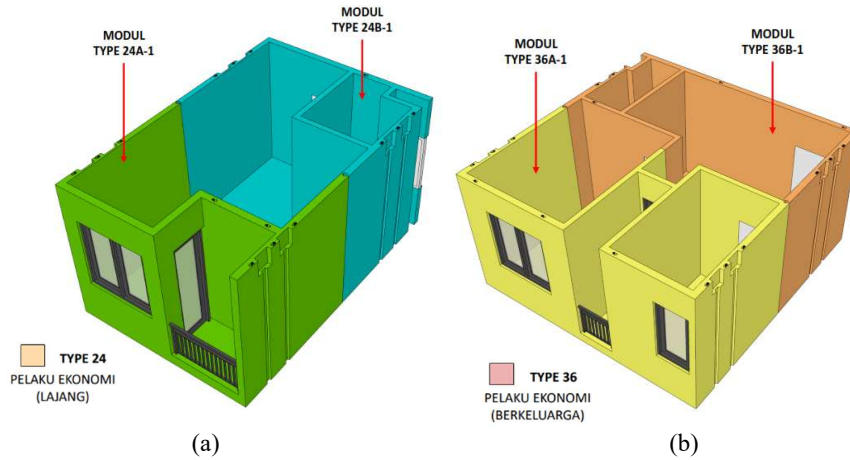
Gambar 1. Denah tinjauan bangunan modular.

Setiap tipe modul memiliki 2 segmen yaitu; segmen modular A dan segmen modular B. Untuk detail segmen modular 24 dan 36 dapat dilihat pada Gambar 2. Tiap Segmen nantinya akan didesain awal menggunakan profil IWF

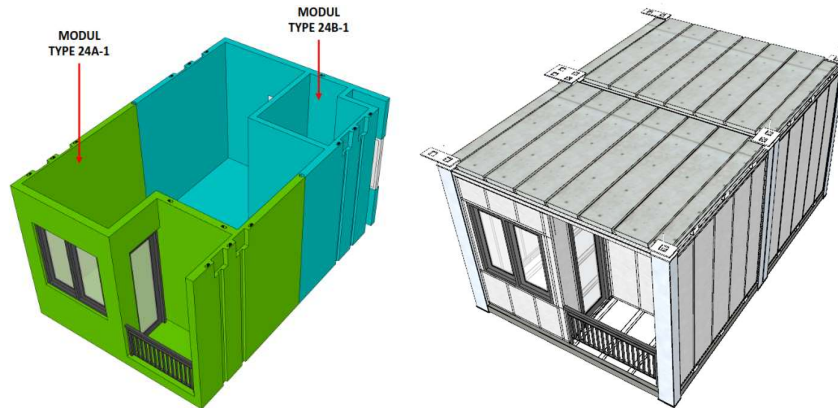
sebagai element balok, profil SHS sebagai element kolom komposit, profil C100. 41,3. 1,6 sebagai element rangka dalam dengan jarak 600 mm serta tidak lupa diberi panel lantai bawaan merk *grand elephant* yang

berada di atasnya. Panel pelat inilah yang berfungsi sebagai *discrete diaphragms*. Dari detail segmen modular tersebut ditemukan bukti bahwa pelat diletakkan di atas bukan di

bawah maka perlu ditinjau kembali (Gambar 3) untuk memunculkan model analisis pada beberapa variasi kondisi.



Gambar 2. Model tinjauan tipe unit modular (a) 24 (b) 36



Gambar 3. Peninjauan kembali sampel unit modular

### Sistem Sambungan

Berbeda dengan bangunan konvensional yang menggunakan pelat lantai menerus pada setiap lantai, bangunan modular baja dibangun dengan menghubungkan modul-modul individual di sudut-sudutnya (Chua et al., 2022). Menurut Liew et al. (2021) ada dua jenis *inter-module connection* yang dimodelkan untuk membentuk bangunan modular:

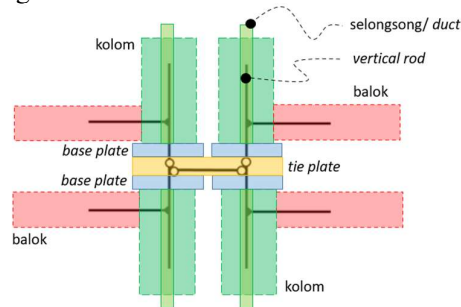
a. Sambungan vertikal kolom ke kolom (melalui batang baja berulir yang diamankan dengan mur pengunci).

b. Sambungan horizontal kolom ke kolom (melalui pelat pengikat) sekaligus menjadi jalur beban untuk gaya aksial menuju core wall.

Selain itu penting untuk mensimulasikan *real behaviour* dari bangunan modular, sehingga setiap modul, mengadopsi *rigid connection* untuk sambungan balok ke kolom/*intra-module connection* di sudut-sudutnya (Liew, 2021). Tampilan model analisis sambungan yang diadopsi dapat dilihat pada Gambar 4, dimana sambungan vertikal difokuskan pada kolom dan *vertical rod* dengan panjang

penyaluran *vertical rod* (tulangan baja ulir) yang sudah dihitung oleh peneliti berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.4.2 didapatkan nilai 57,37 cm yang dibulatkan menjadi 60 cm, serta sambungan horizontal difokuskan pada *tie plate (pin-pin)*. Koneksi *pin-pin* mencerminkan diskontinuitas struktural antara 2 segmen modul karena celah kecil.

Parameter kekakuan pada sambungan perlu dilakukan validasi di awal proses (Tabel 2 dan Tabel 1) dengan perhitungan manual dikarenakan terdapat panjang sambungan yang berbeda.



Gambar 4. Model analisis sambungan

Tabel 1. Perbandingan nilai parameter kekakuan sambungan vertikal.

	Nilai dari Liew et al., 2021	Nilai perhitungan manual	
$k_{axial}$	40000	703360	(kN/m)
$k_{shear x}$	1500000	1657895	(kN/m)
$k_{shear y}$	3000000	2967033	(kN/m)

Tabel 2. Perbandingan nilai parameter kekakuan sambungan horizontal.

	Nilai dari Liew et al., 2021	Nilai perhitungan manual	
$k_{axial x}$	11000000	11000000	(kN/m)
$k_{axial y}$	3900000	3850000	(kN/m)
$k_h shear x$	4300000	4180995	(kN/m)
$k_h shear y$	1500000	1480769	(kN/m)
$k_v shear x$	24300000	24000000	(kN/m)
$k_v shear$	16200000	18000000	(kN/m)

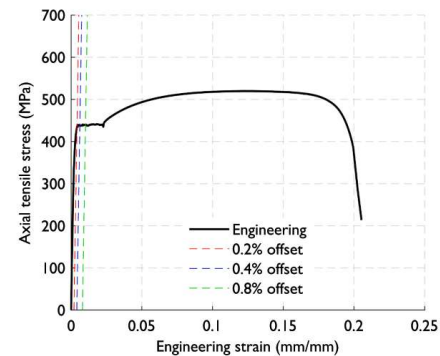
### Konsep dinding modular

Kechidi & Iuorio, (2022) membahas efek detail konstruksi modular pada perilaku lateral dinding rangka CFS. Desain element *non-dissipative (track, stud, cord stud dan hold-*

*down)* yang dilakukan sesuai bagian 1-3 dari peraturan Eurocode 3 berlaku untuk anggota dinding tipis. Perlu diingat bahwa sambungan dinding rangka CFS berupa sambungan pin (momen tidak boleh berkembang pada sambungan). Oleh karena itu, stabilitas sistem dinding disediakan oleh kekuatan geser dan kekakuan yang berasal dari kebutuhan *shear displacement* sekrup.

Pengujian dimulai dengan sekrup self-drilling di bidang OSB/*Oriented Strand Board* (15 mm) dan CP/*Cement Particle* (12.5 mm). Jarak tepi sekrup ditempatkan pada 20,5 dan 10,25 mm dari tepi papan dan ditempatkan secara longitudinal pada 150 mm.

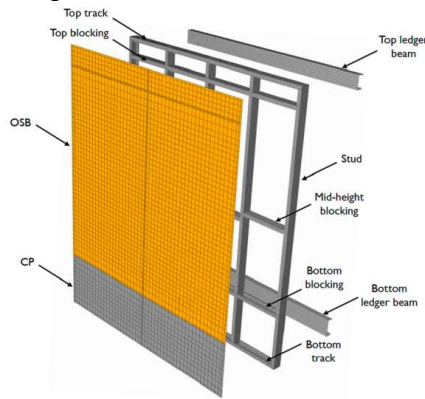
Kemudian dilanjutkan dengan rangka/ stud dimana material CFS yang digunakan adalah *one lipped channel C100-41.3-1.6* (tinggi badan 100 mm, lebar sayap 41,3 mm, panjang bibir 11 mm, dan tebal 1,60 mm) dengan grade of 450 MPa. *Modulus young* diasumsikan 203400 MPa. Hasil yang dimunculkan pada tahap ini berupa kurva tegangan regangan (Gambar 5) serta diketahui bahwa untuk bagian C100-41.3-1.6 pada *offset* 0,2% didapatkan nilai  $f_y$  dan  $f_u$  berturut-turut adalah 472,4 MPa dan 495,5 MPa.



Gambar 5. Hubungan tegangan regangan profil C100-41.3-1.6. (Kechidi & Iuorio, 2022)

Setelah pengujian sekrup dan pengecekan properti material telah dilakukan maka pada tahap selanjutnya pengujian *prototipe*, diawali dengan pembuatan model sesuai Gambar 6, dimana dinding berbingkai CFS dengan stud diberi jarak 600 mm (di bagian tengah), papan OSB dan CP disatu sisi, jarak sekrup *self-*

drilling dilapangan 300 mm dan sudut pemasangan 60°.



Gambar 6. Pemodelan sheathing boards (OSB dan CP) serta CFS frame. (Kechidi & Iuorio, 2022)

**Pemodelan Unit Modular**

**Model numerik material**

Material beton dan baja dimodelkan dengan parameter non-linearnya kecuali material untuk batang baja berulir atau vertical rod. Parameter yang diinputkan untuk material beton mengacu pada Kent-Scott-Park model yang kemudian dijadikan input ke program SAP2000 dan material baja menggunakan tinjauan kurva tegangan-regangan dari pengujian laboratorium Saloumi et, al. tahun 2015 dalam Yun et, al. (2017) untuk hot-rolled carbon steel (S355) yang dipastikan ketersediaannya ada di pasaran Indonesia mengacu produk Krakatau Steel jenis hot rolled SPAH sebagaimana Tabel 3. Sedangkan untuk material vertical rod dimodelkan sebagai simplified model (elastic perfectly plastic) dengan input kuat leleh (fy) 410.

Tabel 3. Parameter material.

Parameter	Beton		Baja		
	Cast in-situ	Panel beton ringan	Concrete filled tubes	SS coupon (S355)	
f <sub>c</sub> '	25	6.5	50	-	(MPa)
f <sub>y</sub>	-	-	-	355	(MPa)
f <sub>u</sub>	-	-	-	490	(MPa)
Elongation	-	-	-	22	(%)
B <sub>j</sub>	24000	650	33234.02	7850	(kg/m <sup>3</sup> )
v	0.2	0.2	0.2	0.3	-
E <sub>c</sub>	23500	7399.45	24000	-	(MPa)
E <sub>s</sub>	-	-	-	210000	(MPa)
Rencana element	Core-wall	Discrete Diafragma	Column	Frame	

**Model sendi plastis**

Pada SNI 7972:2020 pasal 11.3.1 menyebutkan lokasi sendi plastis diambil 1/3 tinggi balok untuk sambungan las dilapangan dan 1/6 tinggi balok untuk sambungan baut di lapangan. Sedangkan CSI Analysis Reference Manual menyebutkan setiap sendi plastis dimodelkan sebagai discrete point hinge, yang artinya harus mengasumsikan/memperkirakan panjang sendi plastis di mana regangan plastis atau kelengkungan plastis terintegrasi. Berhubung tidak adanya jurnal pendukung untuk hal ini maka

dilakukan trial error variasi panjang sendi plastis sebesar 0,25 tinggi profil, 0,50 tinggi profil, 0,75 tinggi profil, 1/3 tinggi profil dan 0,125 panjang bentang (asumsi awal).

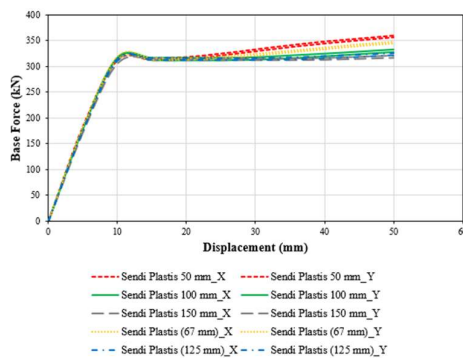
Panjang sendi plastis menggunakan program SAP2000 dengan metode analisis pushover (deformation control). Panjang sendi plastis dibuktikan dengan memodelkan 1 kolom (SHS 200.200.16) dengan panjang 1 meter yang diberi gaya transversal awal sebesar 1 kN dengan menerapkan hinge length sebesar 50 mm (untuk 0,25 tinggi profil), 100 mm (untuk 0,50 tinggi profil), 150 mm (untuk 0,75 tinggi profil), 67 mm (untuk 1/3

tinggi profil) dan 125 mm. Untuk *load to monitored displacement magnitude* diambil dari *drift collapse prevention (CP)* sebesar 5% dari panjang kolom sesuai peraturan FEMA 356 terkait *displacement control* untuk *steel frame* yakni 50 mm.

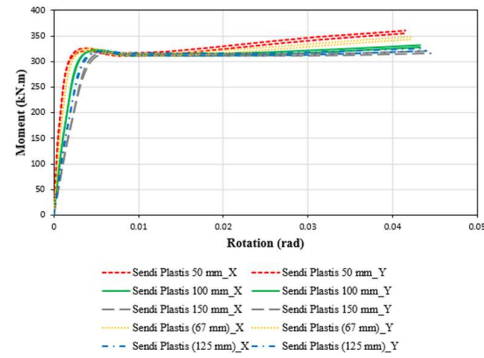
**Hasil dan Pembahasan**

**Panjang sendi plastis**

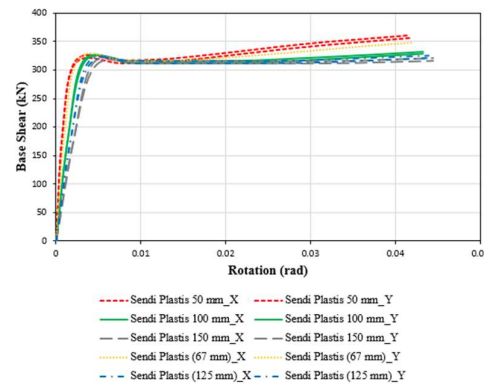
*Trial error* panjang sendi plastis disimulasi pada kolom asumsi awal dengan tumpuan jepit. Pada target *displacement* untuk *Collapse Prevention* sebesar 50 mm (5% dari tinggi kolom) didapatkan nilai *base force* pada masing – masing variasi panjang sesuai Gambar 7. Berdasarkan *overview* untuk *member level* didapat kurva hubungan *moment capacity* dengan *rotation capacity* yang ditampilkan pada Gambar 8, dengan nilai *rotation* terendah pada panjang sendi plastis 50 mm sebesar 0,0415 rad untuk arah x dan 0,0416 rad untuk arah y. Sedangkan nilai tertinggi pada panjang sendi plastis 150 mm sebesar 0,0444 rad untuk arah x dan arah y. Dari perbandingan data yang sudah disajikan sebelumnya diambil panjang sendi plastis sebesar 100 mm (0,5 dari tinggi profil) dikarenakan persamaan panjang sendi plastis untuk baja belum didapatkan, dengan nilai *rotation* 0.043 rad, nilai *base shear* sebesar 332,148 kN arah x dan 327,766 kN arah y (Gambar 9).



Gambar 7. Kurva *pushover curve* (sumbu global).



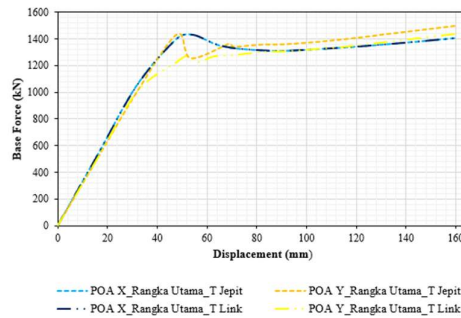
Gambar 8. Kurva *hinge result* (sumbu lokal).



Gambar 9. Kurva hubungan *base shear vs rotation*.

**Pushover rangka utama unit modular**

Analisis modul variasi kondisi pertama rangka utama modular dengan menggabungkan dua segmen untuk tujuan tipe modul 24 dengan tumpuan jepit (variasi model 1A) dan tumpuan *link* (variasi model 1B). kemudian didapat periode *natural* dari SAP2000 (Tabel 4). Gambar 10 menyajikan grafik hasil *pushover* modular dengan dan tanpa menggunakan *link*, dimana nilai *base shear* tanpa menggunakan *link* arah X dan Y terbesar yakni 1404,41 kN dan 1495,74 kN. Perbedaan hasil *base shear* antara dengan dan tanpa menggunakan *link* pada modul 24 adalah sebesar 0,01% untuk arah X dan 4,09% untuk arah Y.



Gambar 10. Kurva pushover rangka utama dengan menggunakan tumpuan link dan tidak

Tabel 4. Nilai periode *natural* (sec) rangka utama.

	Variasi kondisi 1A*		Variasi kondisi 1B**	
	Mode	Periode (sec)	Mode	Periode (sec)
Modal participating	Mode 1	0,063854	Mode 1	0,063904
mass rations tipe	Mode 2	0,062922	Mode 2	0,062971
modul 24	Mode 3	0,060713	Mode 3	0,060795

\*variasi kondisi 1A: pemodelan rangka utama + tanpa panel lantai + tanpa dinding partisi + tumpuan jepit

\*\*variasi kondisi 1B: Pemodelan rangka utama + tanpa panel lantai + tanpa dinding partisi + tumpuan link

**Pushover rangka utama dan panel lantai unit modular**

Analisis modul variasi kondisi kedua difokuskan pada variasi rangka utama dengan panel *discrete diaphragms*.

Titik monitoring, dikontrol dengan *drift ratio* kondisi *collapse prevention* (5% dari ketinggian modul) dan bentuk deformasi dari hasil *pushover* rangka utama beserta panel lantai untuk tipe modul 24 dan 36 (Tabel 5). Gambar 12 menyajikan grafik hasil *pushover* modular dengan dan tanpa menggunakan link, dimana nilai *base shear* tanpa menggunakan link arah X dan Y terbesar yakni pada tipe model 36 sebesar 1235,477 kN dan 1163,935 kN.

dengan tumpuan jepit (variasi kondisi 2A) dan tumpuan link (variasi kondisi 2B) ditampilkan pada Gambar 11, kemudian didapat periode *natural* dari SAP2000 (Perbedaan hasil *base shear* antara dengan dan tanpa menggunakan link pada modul 24 adalah sebesar 40,52% untuk arah X dan 40,03% untuk arah Y. Sedangkan modul 36 memiliki selisih sebesar 40,57% untuk arah X dan 41,64% untuk arah Y.

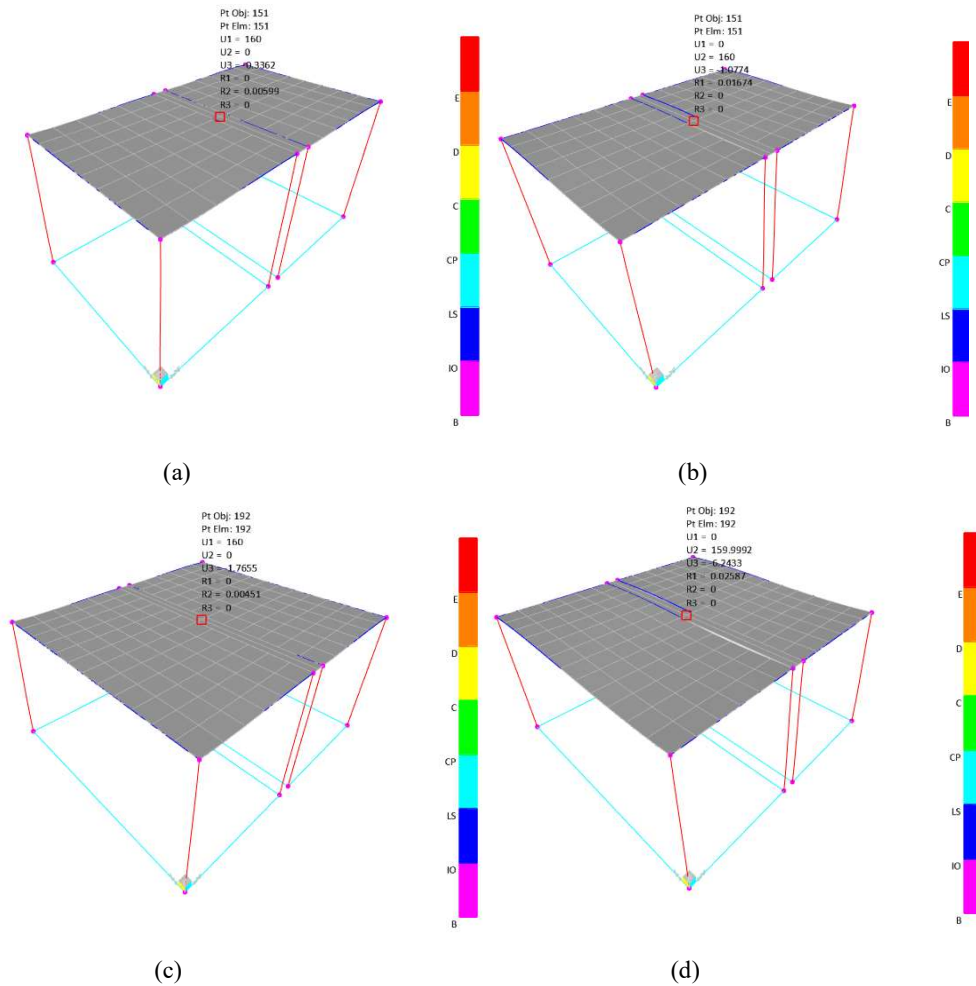
Perbedaan hasil *base shear* antara dengan dan tanpa menggunakan link pada modul 24 adalah sebesar 40,52% untuk arah X dan 40,03% untuk arah Y. Sedangkan modul 36 memiliki selisih sebesar 40,57% untuk arah X dan 41,64% untuk arah Y.

Tabel 5. Nilai periode *natural* (sec) rangka utama + panel lantai.

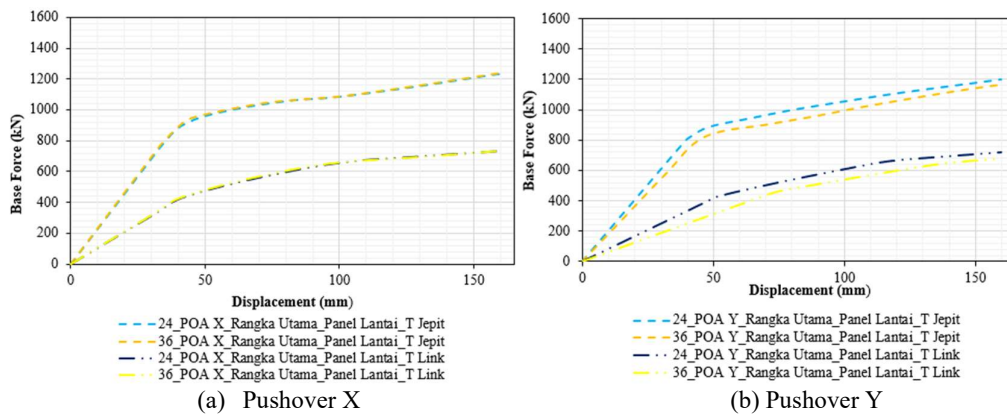
	Variasi kondisi 2A*		Variasi kondisi 2B**	
	Mode	Periode (sec)	Mode	Periode (sec)
Modal participating	Mode 1	0,112835	Mode 1	0,176267
mass rations tipe	Mode 2	0,106229	Mode 2	0,157443
modul 24	Mode 3	0,084953	Mode 3	0,126913
Modal participating	Mode 1	0,141427	Mode 1	0,239918
mass rations tipe	Mode 2	0,124189	Mode 2	0,184152
modul 36	Mode 3	0,094320	Mode 3	0,143555

\*variasi kondisi 2A: Pemodelan rangka utama + panel lantai + tanpa dinding partisi + tumpuan jepit.

\*\*variasi kondisi 2B: Pemodelan rangka utama + panel lantai + tanpa dinding partisi + tumpuan link.



Gambar 11. Titik monitoring displacement dan bentuk deformasi step terakhir model 24 arah (a) X dan (b) Y serta model 36 arah (c) X dan (d) Y.



Gambar 12. Kurva pushover rangka utama + panel lantai dengan menggunakan tumpuan link dan tidak pada arah (a) X dan (b) Y.

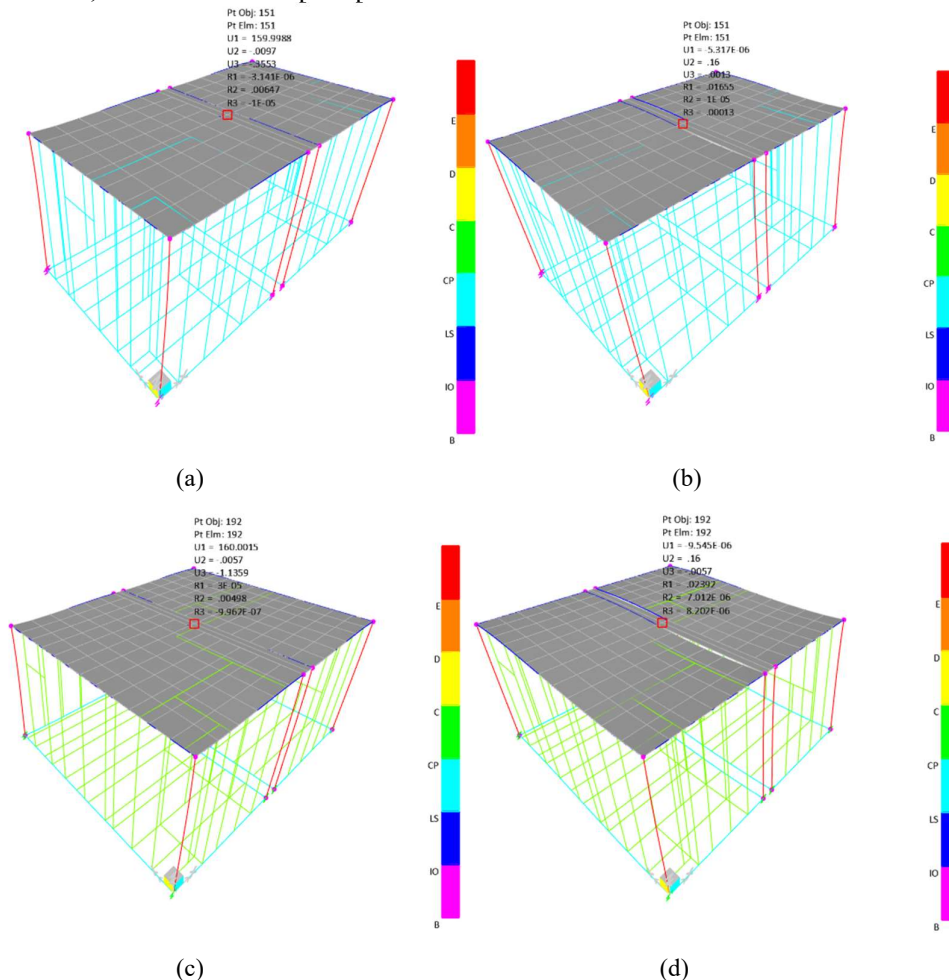
**Pushover rangka utama, panel lantai, dan rangka dalam.**

Analisis modul variasi kondisi ketiga difokuskan pada variasi rangka utama dengan panel *discrete diaphragms* dan rangka dalam.

Titik monitoring dan bentuk deformasi dari hasil *pushover* rangka utama, panel lantai bersama rangka dalam (*metal furing*) untuk tipe modul 24 dan 36 dengan tumpuan jepit (variasi kondisi 3A) dan tumpuan *link* (variasi kondisi 3B) ditampilkan pada Gambar 13, kemudian didapat periode

*natural* dari SAP2000 (Tabel 6). Gambar 14 menyajikan grafik hasil *pushover* modular dengan dan tanpa menggunakan *link*, dimana nilai *base shear* tanpa menggunakan link arah X dan Y terbesar yakni pada tipe model 24 sebesar 1231,877 kN dan 1202,053 kN.

Perbedaan hasil *base shear* antara dengan dan tanpa menggunakan *link* pada modul 24 adalah sebesar 39,58% untuk arah X dan 39,46% untuk arah Y. Sedangkan modul 36 memiliki selisih sebesar 27,72% untuk arah X dan 35,49% untuk arah Y.



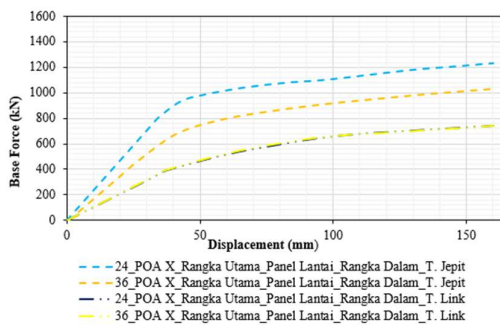
Gambar 13. Titik monitoring displacement dan bentuk deformasi step terakhir model 24 arah (a) X dan (b) Y serta model 36 arah (c) X dan (d) Y.

Tabel 6. Nilai periode *natural* (sec) rangka utama + panel lantai + rangka dalam.

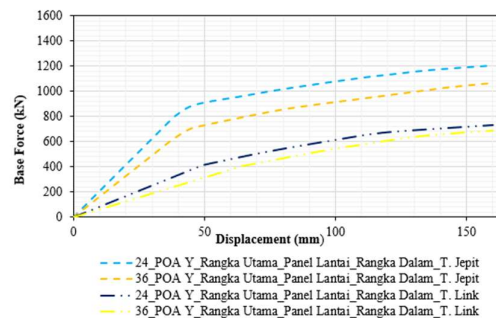
	Variasi kondisi 3A*		Variasi kondisi 3B**	
<i>Modal participating</i>	Mode 1	0,11385	Mode 1	0,17845
<i>mass rations tipe</i>	Mode 2	0,10891	Mode 2	0,15884
modul 24	Mode 3	0,10601	Mode 3	0,12902
<i>Modal participating</i>	Mode 1	0,17452	Mode 1	0,24251
<i>mass rations tipe</i>	Mode 2	0,16696	Mode 2	0,18563
modul 36	Mode 3	0,15513	Mode 3	0,17279

\*variasi kondisi 3A: Pemodelan rangka utama + panel lantai + rangka dalam + tumpuan jepit.

\*\*variasi kondisi 3B: Pemodelan rangka utama + panel lantai + rangka dalam + tumpuan *link*.



(a) Pushover X



(b) Pushover Y

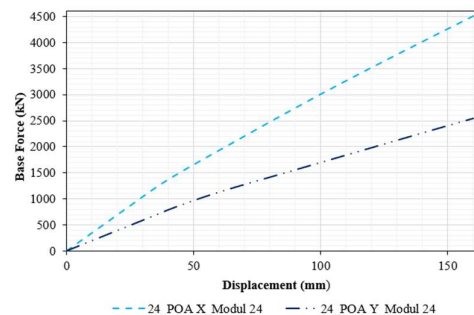
Gambar 14. Kurva pushover rangka utama + panel lantai + rangka dalam dengan menggunakan tumpuan link dan tidak pada arah (a) X dan (b) Y.

**Pushover rangka utama, panel lantai, rangka dalam dan dinding**

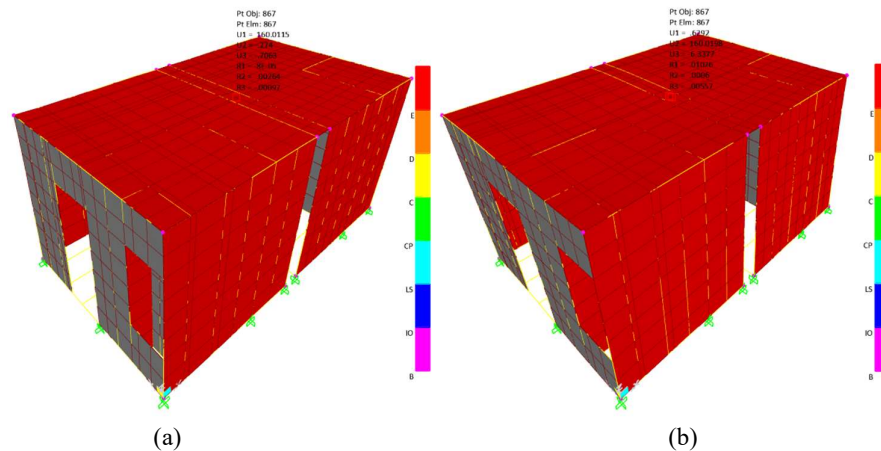
Titik monitoring dan bentuk deformasi dari hasil *pushover* rangka utama, panel lantai, rangka dalam bersama dinding OSB/*Oriented Strand Board* (15 mm) yang dimodelkan dengan *shell layered* untuk tinjauan tipe modul 24 dengan tumpuan *link* ditampilkan pada Gambar 16, kemudian didapat periode *natural* dari SAP2000 secara berurutan dari mode 1 s/d 3 yaitu 0,320903 detik, 0,30558 detik, 0,238108 detik.

Gambar 15 menyajikan grafik hasil *pushover* modular yang dianggap masih linear, sehingga struktur dianggap kuat, yang artinya prediksi kinerja struktur tidak

akurat jika digunakan untuk perencanaan tahan gempa. Oleh karenanya, pemodelan dinding tidak masuk dalam pertimbangan penelitian ini.



Gambar 15. Kurva pushover rangka utama + panel lantai + rangka dalam + dinding dengan menggunakan tumpuan link pada arah X dan Y.



Gambar 16. Titik monitoring displacement dan bentuk deformasi step terakhir model 24 arah (a) X dan (b) Y

## Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, disimpulkan bahwa:

1. Panjang sendi plastis diambil 0,5 dari tinggi profil, dengan nilai *base shear* sebesar 332,148 kN arah x dan 327,766 kN arah y. Hasil ini memiliki selisih 7,74% dan 7,93% dengan 0,25 tinggi profil, 4,56% dan 4,59% dengan 1/3 tinggi profil, 3,23% dan 3,49% dengan 0,75 tinggi profil serta, 2,01% dan 2,02% dengan 0,125 panjang bentang.
2. Semua hasil pemodelan variasi kondisi dengan menggunakan link memberikan *initial stiffness* yang kecil, dan *base shear* yang lebih kecil jika dibanding dengan model tanpa link atau model dengan tumpuan jepit. Ini dapat dilihat pada grafik pushover.
3. Hasil pemodelan unit modular yang mencakup rangka utama, panel lantai, rangka dalam dan dinding menunjukkan hubungan *base force* dan *displacement* yang terlihat linear.

## Daftar Pustaka

Chua, Y. S., Pang, S. D., Liew, J. Y. R., & Dai, Z. (2022). Robustness of inter-module connections and steel modular buildings under column loss scenarios. *Journal of Building*

*Engineering*, 47(December 2021), 103888. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103888>

Farajian, M., Sharafi, P., & Kildashti, K. (2021). The influence of inter-module connections on the effective length of columns in multi-story modular steel frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106450>

Gatheeshgar, P., Poologanathan, K., Gunalan, S., Shyha, I., Sherlock, P., Rajanayagam, H., & Nagarathnam, B. (2021). Development of affordable steel-framed modular buildings for emergency situations (Covid-19). *Structures*, 31(February), 862–875. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.02.004>

Gatheeshgar, P., Poologanathan, K., Gunalan, S., Tsavdaridis, K. D., Nagarathnam, B., & Iacovidou, E. (2020). Optimised cold-formed steel beams in modular building applications. *Journal of Building Engineering*, 32(August), 101607. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101607>

Kechidi, S., & Iuorio, O. (2022). Investigation of the effect of modular construction details on the lateral behaviour of cold-formed steel framed shear walls. *Engineering Structures*, 268(March 2021), 114707. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114707>

Liew, J. Y. R. (2021). *Response Behaviour of High-Rise Modular Building under Wind and Seismic Loads*.

Liew, J. Y. R., Chua, Y. S., & Dai, Z. (2019). Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings. *Structures*, 21(November 2018), 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.02.010>

- Liew, R. J., Dai, Z., & Chau, Y. S. (2018). *Steel Concrete Composite Systems for Modular Construction of High-rise Buildings*. June 2020.  
<https://doi.org/10.4995/asccs2018.2018.7220>
- Peng, J., Hou, C., & Shen, L. (2021). Numerical analysis of corner-supported composite modular buildings under wind actions. *Journal of Constructional Steel Research*, 187(June).  
<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106942>
- Shan, S., & Pan, W. (2020). Structural design of high-rise buildings using steel-framed modules: A case study in Hong Kong. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 29(15), 1–20.  
<https://doi.org/10.1002/tal.1788>
- Sharafi, P., Mortazavi, M., Samali, B., & Ronagh, H. (2018). Interlocking system for enhancing the integrity of multi-storey modular buildings. *Automation in Construction*, 85(October 2017), 263–272.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.023>
- Shi, F., Wang, H., Zong, L., Ding, Y., & Su, J. (2020). Seismic behavior of high-rise modular steel constructions with various module layouts. *Journal of Building Engineering*, 31(March), 101396.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101396>
- Shirokov, V. S., Gordeeva, T. E., & Bocharov, A. Y. (2020). Analytic method of structural analysis of modular buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 775(1).  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/775/1/012148>
- Thai, H. T., Ngo, T., & Uy, B. (2020). A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures*, 28(January), 1265–1290.  
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.070>
- The American Institute of Architects. (2019). Design for modular construction: An introduction for architects. *National Institute of Building Sciences*, 1–41.  
[http://content.aia.org/sites/default/files/2019-03/Materials\\_Practice\\_Guide\\_Modular\\_Construction.pdf](http://content.aia.org/sites/default/files/2019-03/Materials_Practice_Guide_Modular_Construction.pdf)