

SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DALAM PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG TAHAN GEMPA

Liliana

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: liliana@jts.upr.ac.id

Frieda

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: frieda@jts.upr.ac.id

Annisa Tri Hapsari

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: hapsariannisatri@gmail.com

Abstract: With the history of earthquakes that occurred in Central Borneo Province, it is very necessary to plan earthquake resistant building structures, especially in the implementation of reinforced concrete building structures. Earthquake-resistant reinforced concrete structure planning is carried out using a Special Moment Resisting Frame System with the object of research being the Integrated Lecture Building of the University of Palangka Raya. In planning earthquake-resistant reinforced concrete structures, the requirements described in SNI 2847-2019 are required. The results of the planning of structural components for the structure of the Palangka Raya University Integrated Lecture Building, namely the structural components under review, used 30/60 beam dimensions and 60/60 column dimensions. In the 30/60 beam design, the left bearing reinforcement is 6D25 tension-8D29 pressed, the field reinforcement is 4D25 tension-2D29 pressed, the right support reinforcement is 5D25 tension-4D29+4D25 pressed, and the left/right joint shear reinforcement 2 legs $\emptyset 12$ –120 mm for the plastic hinge area and 2 legs $\emptyset 12$ –150 mm for the area outside the plastic hinge. On the planning of the 60/60 column obtained longitudinal reinforcement 24D25 and reinforcement in the plastic hinge 4 legs $\emptyset 12$ –100 mm, outside the plastic hinge 4 legs $\emptyset 10$ –150 mm, and in the lap joints 4 legs $\emptyset 12$ –100 mm. On examination the requirements for strong column-weak beam based on SNI 2847-2019 have been fulfilled. So that the planning of the Special Moment Resisting Frame System in increasing the resistance of the building to the possibility of large earthquake forces is appropriate and safe.

Keywords: Special moment resisting frame system, SNI 2847-2019, Integrated Lecture Building

Abstrak: Dengan pertimbangan riwayat gempa bumi yang terjadi di Provinsi Kalimantan Tengah, maka sangat diperlukan perencanaan struktur bangunan tahan gempa khususnya pada pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang. Dilakukan perencanaan struktur beton bertulang tahan gempa menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan objek penelitian adalah Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya. Dalam merencanakan struktur beton bertulang yang tahan terhadap gempa, diperlukan persyaratan yang diterangkan pada SNI 2847-2019. Hasil perencanaan komponen struktur terhadap struktur Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya yaitu pada komponen struktur yang ditinjau, digunakan dimensi balok 30/60 dan dimensi kolom 60/60. Pada perencanaan balok 30/60 didapatkan tulangan tumpuan kiri tarik 6D25-tekan 8D29, tulangan lapangan tarik 4D25-tekan 2D29, tulangan tumpuan kanan tarik 5D25-tekan 4D29+4D25, serta tulangan geser joint kiri/kanan pada daerah sendi plastis digunakan 2 kaki $\emptyset 12$ –20 mm dan pada daerah di luar sendi plastis digunakan 2 kaki $\emptyset 12$ –150 mm. Pada perencanaan terhadap kolom 60/60 didapatkan tulangan longitudinal 24D25 dan tulangan pada sendi plastis 4 kaki $\emptyset 12$ –100 mm, di luar sendi plastis 4 kaki $\emptyset 12$ –150 mm, serta pada sambungan lewatan 4 kaki $\emptyset 12$ –100 mm. Pada pemeriksaan persyaratan untuk kolom kuat-balok lemah berdasarkan SNI 2847-2019 telah terpenuhi. Sehingga perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dalam meningkatkan ketahanan gedung terhadap kemungkinan adanya gaya gempa yang besar telah sesuai dan aman.

Kata kunci: Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, SNI 2847-2019, Gedung Kuliah Terpadu

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Pembangunan dalam bidang konstruksi di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat, seperti pembangunan sekolah, hotel, perkantoran dsb yang berdampak pada minimnya lahan, sehingga alternatif pilihannya yaitu membangun gedung bertingkat.

Indonesia merupakan negara yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Dikarenakan posisi Indonesia yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik besar di dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Indo-Australia. Pulau Kalimantan yang masuk ke dalam zona aman gempa juga mengalami gempa beberapa tahun belakangan ini. BMKG mencatat wilayah Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah diguncang gempa dengan kekuatan 4,2 SR. Gempa yang terjadi pada Kamis 12 Juli 2018 pukul 15.43 WIB memiliki kedalaman 5 Km. Dengan koordinat 1,87 LS dan 113,43 BT, sekitar 70 Km barat laut Kota Palangka Raya. Tercatat juga di Kota Muara Teweh Kabupaten Barito Utara Provinsi Kalimantan Tengah, mengalami gempa dengan kekuatan sebesar 4,5 SR pada 6 Juli 2016 pukul 14.03 WIB. Penyebabnya yakni aktivitas sesar/patahan lokal di koordinat 1,43 LS dan 115,14 BT.

Dengan pertimbangan riwayat gempa bumi yang terjadi di Provinsi Kalimantan Tengah, maka sangat diperlukan perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Dalam penelitian ini akan direncanakan struktur beton bertulang tahan gempa menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan objek penelitian adalah Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya. Peraturan SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019 akan dijadikan dasar perencanaan dalam penelitian yang meliputi struktur utama, yaitu balok, kolom dan hubungan balok-kolom.

2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan perencanaan komponen struktur

beton bertulang tahan gempa dengan SRPMK dan untuk mengetahui respons struktur bangunan yang memenuhi konsep kolom kuat-balok lemah. Sedangkan tujuan yang ingin diperoleh yaitu didapatkannya hasil desain komponen struktur beton bertulang tahan gempa yang dapat memikul beban gempa yang telah direncanakan, serta diperolehnya hasil persyaratan konsep kolom kuat-balok lemah dari struktur bangunan tersebut.

3. Studi Pustaka

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standar dan peraturan-peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalkan kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi. Filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa yaitu: (1) Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan. Sehingga struktur harus kuat dan tidak mengalami kerusakan, baik pada elemen struktural maupun elemen non-struktural bangunan; (2) Pada saat terjadi gempa sedang, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen non-struktural, tetapi tidak diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen structural; dan (3) Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan mengalami kerusakan elemen struktural dan non-struktural. Namun tidak boleh sampai menyebabkan keruntuhan bangunan, sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

Konsep desain kapasitas adalah konsep yang meningkatkan daktilitas elemen-elemen struktur dan perlindungan elemen-elemen struktur lain yang diharapkan dapat berperilaku elastik. Salah satunya adalah dengan konsep “*strong column, weak beam*”. Apabila suatu saat terjadi guncangan besar akibat gempa, kolom bangunan yang telah didesain dengan menggunakan konsep ini akan tetap bertahan. Sehingga, orang-

orang yang berada dalam gedung masih memiliki banyak waktu untuk evakuasi sebelum bangunan roboh seketika.

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam perhitungan beban gempa tersebut antara lain; (1) Nilai Spektrum Respons Desain Indonesia pada aplikasi ini khusus untuk perhitungan pada

bangunan saja sesuai SNI 1726:2019; dan (2) Untuk nilai Spektrum Respons Desain di area dengan spektrum Respons percepatan konstan sampai yang berdekatan dengan sesar aktif, harus dilakukan pengecekan.

Tabel 1. Bagian pasal 18 SNI 2847-2019

Komponen yang menahan pengaruh gempa, kecuali jika dinyatakan sebaliknya	Kategori Desain Seismik			
	A (Tidak ada)	B (18.2.1.3)	C (18.2.1.4)	D, E, F (18.2.1.5)
Persyaratan analisis dan desain		18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material		Tidak ada		18.2.5 s/d 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul momen		18.3	18.4	18.6 s/d 18.9
Dinding struktural dan balok kopel		Tidak ada		18.1
Dinding struktural pracetak		Tidak ada	18.5	18.5, 18.11
Diafragma dan rangka batang (<i>trusses</i>)	Tidak ada	Tidak ada		18.12
Fondasi		Tidak ada		18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang tidak ditetapkan sebagai sistem pemikul gaya seismik		Tidak ada		18.14
Angkur		Tidak ada	18.2.3	18.2.3

KDS A dan KDS B dapat menggunakan perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). KDS C menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), sedangkan untuk KDS D, E serta F menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dalam perencanaan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) terhadap Gedung Kuliah Terpadu (SBSN 2021) Universitas Palangka Raya ini, ditekankan untuk meningkatkan ketahanan gedung terhadap kemungkinan adanya gaya gempa yang cukup besar.

Dalam penelitian ini digunakan SRPMK, dikarenakan gedung tersebut telah direncanakan

menggunakan SRPMB atau Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa. Dengan pertimbangan bahwa menggunakan SRPMK pada gedung dengan zona gempa ringan yang seharusnya menggunakan Sistem rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) akan menimbulkan peningkatan kebutuhan material dalam pengerjaannya, maka penelitian ini ditujukan untuk tinjauan yang dapat digunakan dalam pengerjaan di lapangan maupun hanya sebagai perhitungan teoritis. Hasil dari penelitian ini akan memperlihatkan bagaimana struktur Gedung Kuliah Terpadu (SBSN 2021) Universitas Palangka Raya setelah dilakukan perencanaan dengan menggunakan SRPMK.

METODA

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan yaitu persiapan, pengumpulan data, perencanaan geometri balok dan kolom, perencanaan dan

analisis beban struktur serta perencanaan penulangan balok dan kolom.

Pada tahap persiapan dilakukan studi pustaka terhadap materi desain dan penentuan data yang diperlukan. Selanjutnya dilakukan pengumpulan

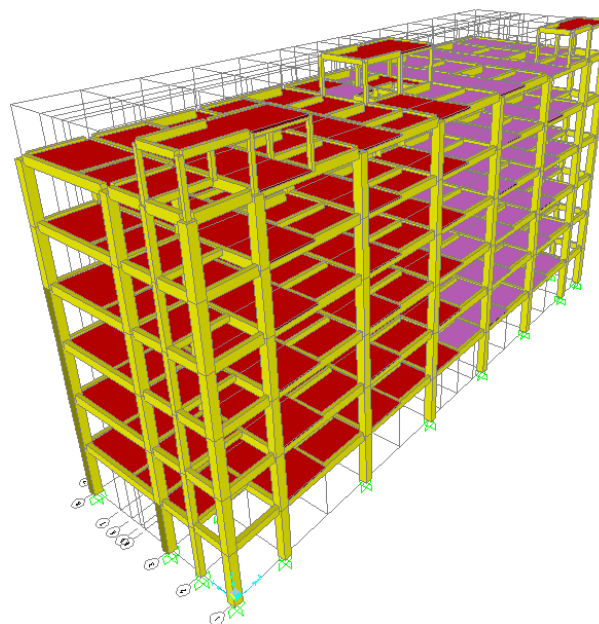
data yang terdiri atas data teknis gedung dan mutu bahan gedung. Kemudian dilanjutkan dengan perencanaan struktur meliputi: (a) *preliminary design* atau perencanaan awal; (b) perencanaan dan analisis pembebanan struktur; (c) pemeriksaan analisis statika struktur; dan (e) perencanaan balok dan kolom.

Pada tahap *preliminary design*, direncanakan jenis material komponen struktur dan dimensi komponen struktur yang meliputi balok dan kolom. Didapatkan rencana dimensi balok dan kolom berdasarkan DED (*Detail Engineering Design*) struktur Gedung Kuliah Terpadu SBSN 2021 UPR.

Setelah didapatkan rencana dimensi balok dan kolom, dilanjutkan dengan merencanakan pembebanan struktur gedung. Beban yang direncanakan antara lain: (a) beban mati (*dead load*); (b) beban hidup (*live load*); dan (c) beban gempa (*earthquake load*). Beban mati dibagi lagi menjadi beban sendiri struktur dan beban tambahan di tiap lantai bangunan yang dapat dihitung dengan mengikuti peraturan yang ada pada SNI 1727-2013. Demikian juga dengan perencanaan beban hidup dihitung berdasarkan peraturan SNI 1727-2013. Sedangkan beban gempa adalah keseluruhan beban statik *equivalen* yang ada pada sebuah gedung dan beban gempa direncanakan berdasarkan kriteria bangunan dan jenis tanah dari lokasi gedung tersebut. Gaya gempa direncanakan sesuai dengan SNI 1726-2019 [00]. Dalam perencanaan kombinasi pembebanan dalam penelitian ini, digunakan kombinasi pembebanan dasar dan pembebanan seismik.

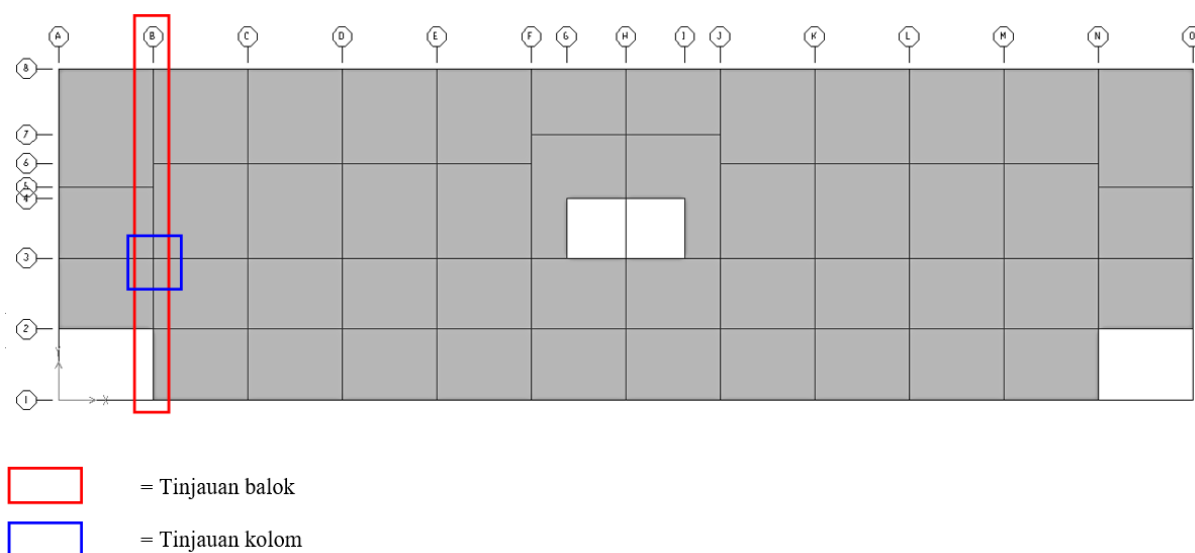
Tahapan analisa statika struktur meliputi pemodelan struktur, analisis pembebanan dan pemeriksaan hasil perencanaan. Dimodelkan

struktur dalam *view* 3 dimensi dengan memasukkan komponen struktur berupa balok, kolom dan pelat. Pelat direncanakan sebagai diafragma kaku dengan fungsi sebagai penyalur gaya-gaya lateral ke komponen struktur. Dalam menganalisa pembebanan menggunakan aplikasi bantu struktur, digunakan data perencanaan awal untuk membuat pemodelan strukturnya. Pemeriksaan hasil perencanaan dari pemodelan struktur meliputi pemeriksaan berat struktur, pemeriksaan *time period* dan pemeriksaan gaya geser.



Gambar 1. Tampak 3 dimensi

Perencanaan SRPMK terhadap komponen struktur menggunakan peraturan SNI 2847-2019. Pada tahapan ini, perencanaan yang perlu dilakukan meliputi perhitungan penulangan lentur dan geser balok serta perhitungan penulangan lentur dan geser kolom. Dalam perhitungan *strong columns weak beam*, digunakan perhitungan kolom dan balok dengan menggunakan persyaratan SNI 2847-2019.



Gambar 2. Tinjauan struktur yang direncanakan ($z = 4,00$ m)

Berdasarkan SNI 2874-2019 mengenai syarat capacity design, $\sum M_{nc} \geq (1,2)\sum M_{nb}$. Nilai M_{nc} harus dihitung menggunakan gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, konsisten terhadap arah gempa yang ditinjau.

Tabel 2. Dimensi komponen struktur yang digunakan

Komponen Struktur	Dimensi
Balok	30/60
Kolom	60/60

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan yang direncanakan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019 dan *output* analisis program bantu aplikasi struktur. Berikut adalah rangkuman perhitungan berat struktur per-lantai.

Perhitungan berat struktur manual dengan *output* program bantu aplikasi struktur menghasilkan nilai yang hampir sama. Kontrol perbedaan besar nilai untuk beban mati adalah maksimal 10% dan untuk beban hidup sebesar 3%.

Beban gempa dihitung dengan menggunakan ketentuan-ketentuan dari SNI 1726-2019. Beberapa parameter dan koefisien gempa diperlukan dalam perencanaan sebelum melanjutkan proses perhitungan beban gempa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut DED Gedung Kuliah terpadu SBSN 2021 Universitas Palangka Raya, didapatkan dimensi komponen struktur yang direncanakan sebagai berikut.

Tabel 3. Rangkuman perhitungan manual berat struktur per-lantai

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Berat Lantai (kg)	
		Beban Mati	Beban Hidup
7	27.00	70186.00	2349.36
6	24.00	621706.50	18662.73
5	20.00	588025.00	74458.36
4	16.00	588025.00	74458.36
3	12.00	588025.00	74458.36
2	8.00	588025.00	74458.36
1	4.00	588025.00	74458.36
Σ		3632017.50	393303.88

Tabel 4. *Dead and live load base reaction from application*

Output Case	Case Type	Global FX Kgf	Global FY Kgf	Global FZ Kgf
DEAD	LinStatic	1.499E-11	1.013E-08	3605956.00
LIVE	LinStatic	2.145E-11	6.284E-09	393303.88

Tabel 5. Kontrol perhitungan manual dan output aplikasi terhadap beban mati dan beban hidup struktur

Load	Manual Kg	Aplikasi Kg	Selisih Kg	Kontrol %	Ket.
Dead	3632017,5	3605956,0	102424,5	0,72	Ok
Live	393303,8	393303,88	0,00	0,00	Ok

Tabel 6. parameter dan koefisien gempa DKI Jakarta berdasarkan peraturan SNI 1726-2019 Gedung Kuliah Terpadu UPR

Jenis Gedung	Gedung Kuliah
Kategori Risiko Bangunan	IV
Klasifikasi Situs Tanah	SE
Ie	1.50
Parameter dan Koef. Gempa Lokasi DKI Jakarta	
Ss	0.795
S ₁	0.399
Fa	1.264
Fv	2.400
S _{DS}	0.66992
S _{D1}	0.63840
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	
R	8.0
Cd	5.5
Ω ₀	3.0

Didapatkan nilai periode getar alami berdasarkan program bantu aplikasi struktur yaitu T = 1,234 detik. Dalam perhitungan gaya

gempa, diperlukan nilai *base shear* atau gaya geser dasar nominal struktur bangunan. *Base shear* atau V dapat dihitung dengan persamaan (1) berikut.

$$V = C_s \cdot W \quad (1)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat total gedung

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot (R/I_e)} = \frac{0,6384}{1,234(8/1,5)} = 0,0945 \quad (2)$$

Dari perhitungan yang ada didapatkan nilai C_s = 0,0945. Dengan diketahui W adalah berat total struktur lantai.

$$V = C_s \cdot W = 0,0945 \cdot (3632017,50 + 393303,88) = 380392.87 \text{ kg}$$

Besar nilai gaya gempa lateral ekuivalen (F_x) dan gaya geser ekuivalen (V_x) per-lantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$F_x = C_x \cdot W \quad (3)$$

$$V_x = V_{x+1} + F_x \quad (4)$$

Hitung nilai C_x.

$$C_x = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\sum w_i \cdot h_i^k} \quad (5)$$

Untuk struktur dengan T ≤ 0,5 detik, k = 1

Untuk struktur dengan T ≥ 2,5 detik, k = 2

Untuk struktur dengan 0,5 detik < T < 2,5 detik, k = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Diketahui nilai T = 1,234 detik. Maka nilai k yang digunakan ditentukan dengan menggunakan interpolasi linier. Didapatkan persamaan interpolasi: y = 0,5 x + 0,75.

Dengan, x = T

$$y = k$$

Maka untuk nilai T = 1,234 detik

$$\text{koefisien } k = 0,5 (1,234) + 0,75 = 1,385$$

Dalam perhitungan manual untuk nilai F_x , didapatkan beberapa perbedaan dengan hasil *output* analisis program aplikasi bantu struktur. Dengan hasil kontrol perbedaan antara

perhitungan manual dan aplikasi, dapat disimpulkan bahwa tetap dapat digunakan sebagai hasil untuk melanjutkan perhitungan selanjutnya.

Tabel 7. Gaya lateral ekuivalen dan gaya geser lateral ekuivalen per-lantai

Lantai	Tinggi Lantai (m)	k	$w_i \cdot h_i^k$	$C_x = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\sum w_i \cdot h_i^k}$	Fx (kg)	Vx (kg)
7	27	1.3850	6966082.03	0.04121	15676.579	15676.579
6	24		52242388.50	0.30907	117567.080	133243.658
5	20		41985711.44	0.24839	94485.295	227728.953
4	16		30823443.04	0.18235	69365.553	297094.507
3	12		20693835.79	0.12243	46569.728	343664.235
2	8		11801972.67	0.06982	26559.342	370223.577
1	4		4518851.41	0.02673	10169.293	380392.870
Σ			169032284.87	1.000	380392.870	

Tabel 8. Auto Seismic Loads to Horizontal Diaphragm

Load Pattern	Diaphragm	FX Kgf
SX	H = 27,	15286.78
SX	H = 24,	102056.74
SX	H = 20,	91027.71
SX	H = 16,	69505.7
SX	H = 12,	39967.39
SX	H = 8,	24807.81
SX	H = 4,	9341.96

Tabel 9. Kontrol perhitungan manual dan output aplikasi terhadap nilai F_x

Manual Kg	Aplikasi Kg	Selisih Kg	Kontrol %
15676.579	15286.78	389.799	2.49
117567.08	102056.7	15510.34	13.19
0	4	0	
94485.295	91027.71	3457.585	3.66
69365.553	69505.70	-140.147	-0.20
46569.728	39967.39	6602.338	14.18
26559.342	24807.81	1751.532	6.59
10169.293	9341.96	827.333	8.14

Perhitungan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) terdiri atas perhitungan

penulangan lentur dan penulangan geser terhadap komponen struktur.

Pada perhitungan penulangan pada balok 30/60, dihitung syarat gaya aksial pada balok.

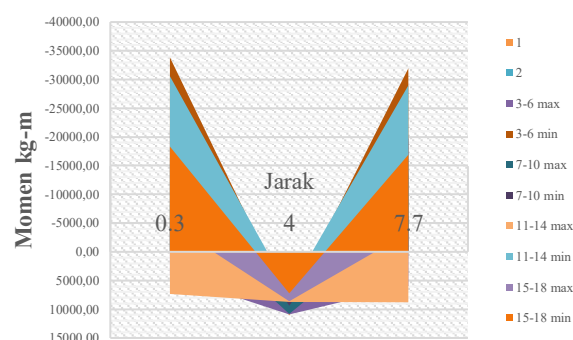
Diketahui P_u adalah gaya aksial tekan berdasarkan *output* analisis program bantu aplikasi struktur dengan nilai 15986,73 kg.

$$P_u < 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c \quad (6)$$

$$15986,73 \text{ kg} < 0,1 \cdot (0,30 \cdot 0,60) \cdot 21,7$$

$$15986,73 \text{ kg} < 39830,15 \text{ kg} \quad \text{OK!}$$

Diketahui panjang bentang bersih (L_n) komponen balok adalah 7700 mm dan tinggi efektif balok (d) adalah 531 mm.



Gambar 3. Diagram momen akibat kombinasi beban gravitasi dan beban gempa balok 30/60

Tabel 10. Momen-momen yang bekerja pada balok 30/60 akibat beban gravitasi dan beban gempa

<i>Fram e</i>	<i>Statio n m</i>	<i>Lokasi</i>	<i>StepTy pe</i>	<i>M-3 kg-m</i>
54	0.0	Tumpuan Kiri	MIN	38697.73
54	0.0		MAX	6625.15
54	3.0	Lapangan	MAX	12331.53
54	8.0	Tumpuan Kanan	MIN	36103.68
54	8.0		MAX	8320.30

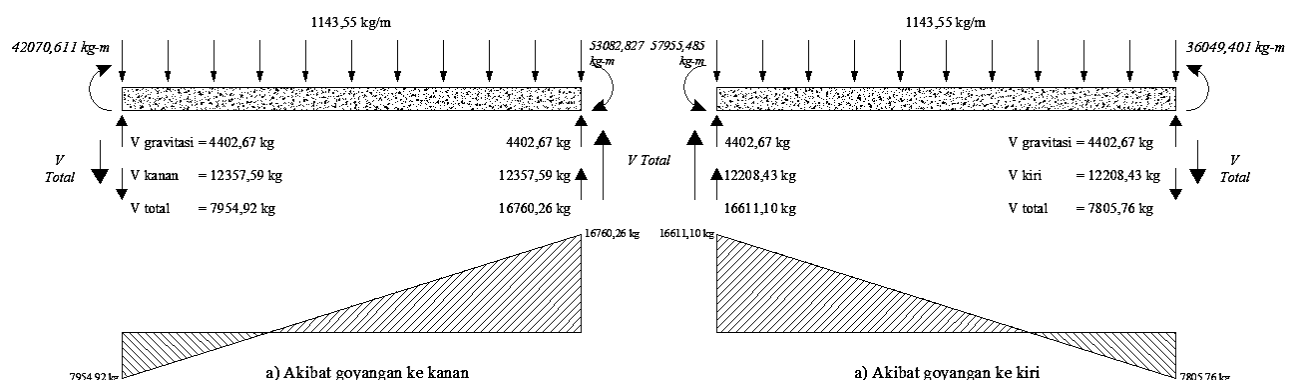
Dengan menggunakan momen yang bekerja pada balok 30/60, dihitung penulangan lentur tumpuan kiri, penulangan lentur tumpuan kanan balok dan penulangan lentur pada tengah

bentang balok. Berdasarkan SNI 2847-2019, didapatkan hasil perhitungan penulangan lentur SRPMK pada balok 30/60 seperti dalam Tabel 11.

Dihitung geser rencana terhadap balok dihitung dengan mengasumsikan sendi plastis pada ujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai $1,25 f_y$ dan faktor reduksi $\phi = 1,25$. Diperoleh hasil apabila struktur bergoyang ke kanan, maka: (1) momen negatif tumpuan kanan sebesar 53082827,03 kg-mm; dan (2) momen positif tumpuan kiri sebesar 42070610,53 kg-mm. Sedangkan bila struktur bergoyang ke kiri, diperoleh: (1) momen negatif tumpuan kiri sebesar 57955484,8 kg-mm; dan (2) momen positif tumpuan kanan sebesar 36049400,41 kg-mm.

Tabel 11. Rekapitulasi konfigurasi *reinforced* penampang balok 30/60

Lokasi	Mu (kg-m)	Reinf.	As (mm ²)	ϕM_n kg-mm
Tumpuan kiri Negatif	38697,73	8 D29	5286,29	39624561,58
Tumpuan kiri Positif	6625,15	6 D25	2946,43	27612265,06
Tumpuan kanan Negatif	36103,68	4 D29 + 4 D25	4607,44	36116957,65
Tumpuan kanan Positif	8320,30	5 D25	2455,35	23517369,55
Tengah Bentang	12331,53	4 D25	1964,29	19370343,32



Gambar 4. Diagram gaya geser balok 30/60

Tabel 12. Gaya geser di ujung kiri dan kanan balok 30/60

Arah gempa	V sway (kg)	Kuat geser perlu maksimal ujung kiri balok		Kuat geser perlu maksimal ujung kanan balok	
		Vu	1/2 vu	Vu	1/2 vu
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Kanan	12357,59	7954,92	3977,46	16760,26	8380,13
Kiri	12208,43	16611,1	8305,55	7805,76	3902,88

Berdasarkan analisa program bantu aplikasi struktur, gaya aksial tekan (P_u) balok 30/60 = 15986,73 kg. Maka dapat dihitung pesyaratannya sebagai berikut.

$$P_u < 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c \quad (7)$$

$$15986,73 \text{ kg} < 39830,15 \text{ kg} \text{ OK!}$$

Dihitung gaya geser (V_s) pada balok 30/60 berdasarkan persamaan berikut. Diketahui V_c pada zona sendi plastis adalah 37393,89 kg. ($\phi = 0,75$)

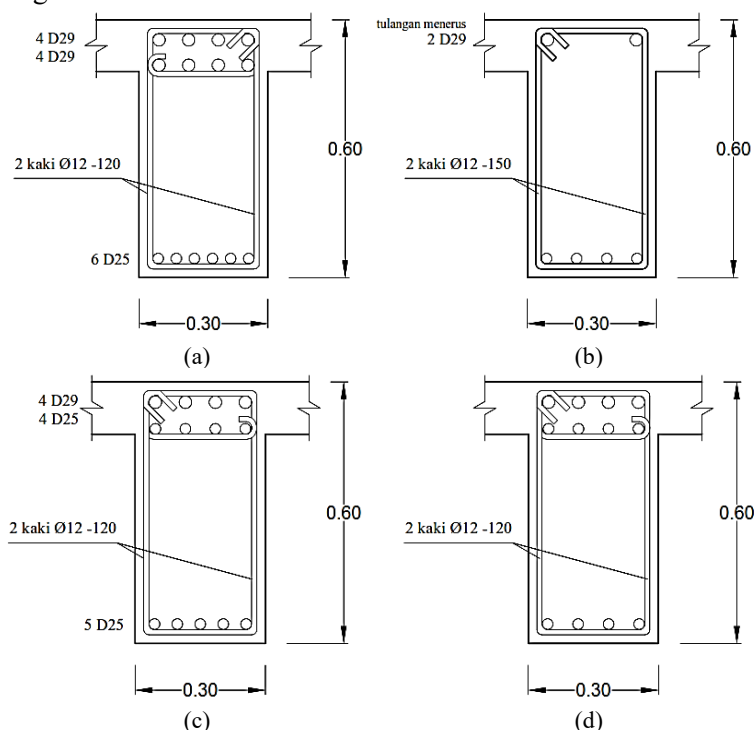
$$V_s = (V_u/\phi) - V_c \quad (8)$$

$$= 16876,57 \text{ kg}$$

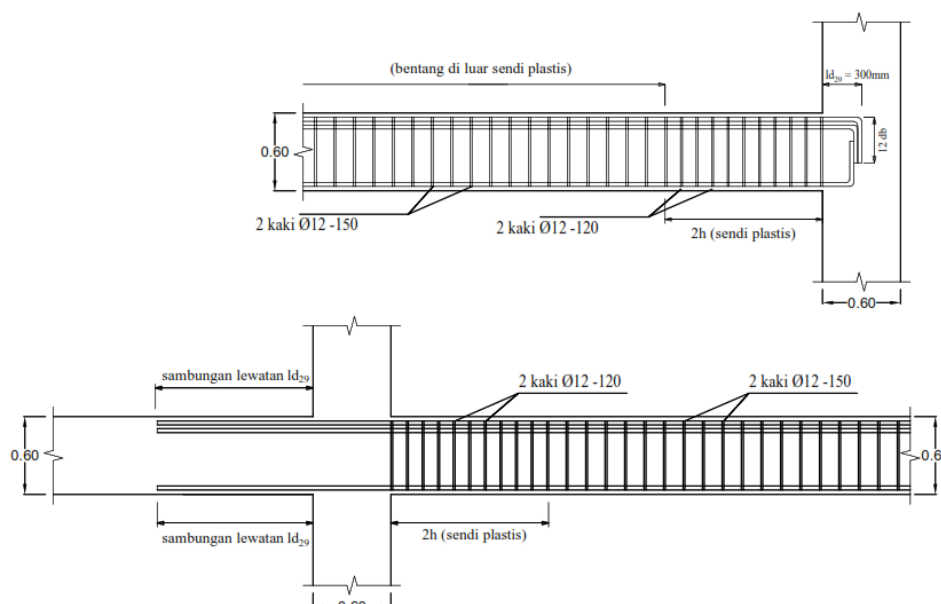
$$V_s \text{ max} = 149575,56 \text{ kg}$$

$$V_s < V_s \text{ max} \quad \text{OK!}$$

Perhitungan penulangan geser SRPMK untuk balok 30/60 berdasarkan peraturan SNI 2847-2019, didapatkan: (1) sengkang tumpuan kiri balok (sendi plastis) 2 kaki $\phi 12 - 120$ mm; (2) sengkang tumpuan kanan balok (sendi plastis) 2 kaki $\phi 12 - 120$ mm; (3) sengkang lapangan (di luar sendi plastis) 2 kaki $\phi 12 - 150$ mm; dan (4) sengkang pada sambungan lewatan 2 kaki $\phi 12 - 120$ mm.



Gambar 5. Penampang balok 30/60: (a) tumpuan kiri balok; (b) tengah bentang balok; (c) tumpuan kanan balok; dan (d) sambungan lewatan



Gambar 6. Detailing penulangan lentur dan geser balok 30/60

Dalam menghitung penulangan lentur SRPMK terhadap kolom 60/60, digunakan asumsi D25 sebagai tulangan longitudinal dan Ø12 untuk sengkang. Diketahui luas penampang kolom (A_g) adalah 360.000 mm² dan berdasarkan output program bantu aplikasi struktur didapatkan P_u kolom 60/60 adalah 314544,21 kg dan M_u sebesar 54910,16 kg. Analisis terhadap penampang kolom menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_u > 0,1 \cdot A_g \cdot f'_c$$

(9)

$$314544,21 \text{ kg} > 79660,231 \text{ kg OK!}$$

Diperlukan luas tulangan longitudinal (A_{st}), dengan asumsi tulangan 24 D25. Diperoleh A_{st}

sebesar 11785,714 mm². Cek rasio tulangan menerus (ρ_g).

$$\rho_g = A_{st}/A_g$$

(10)

$$= 0,033$$

$$0,01 < \rho_g < 0,08$$

(11)

$$0,01 < 0,033 < 0,08 \quad \text{OK!}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019, didapatkan hasil perhitungan penulangan lentur SRPMK pada kolom 60/60 adalah digunakan 24 D25 sebagai tulangan longitudinal dengan hasil perhitungan momen interaksi kolom sebagai berikut.

Tabel 13. Rekapitulasi interaksi kolom 60/60 dengan tulangan longitudinal 24 D25

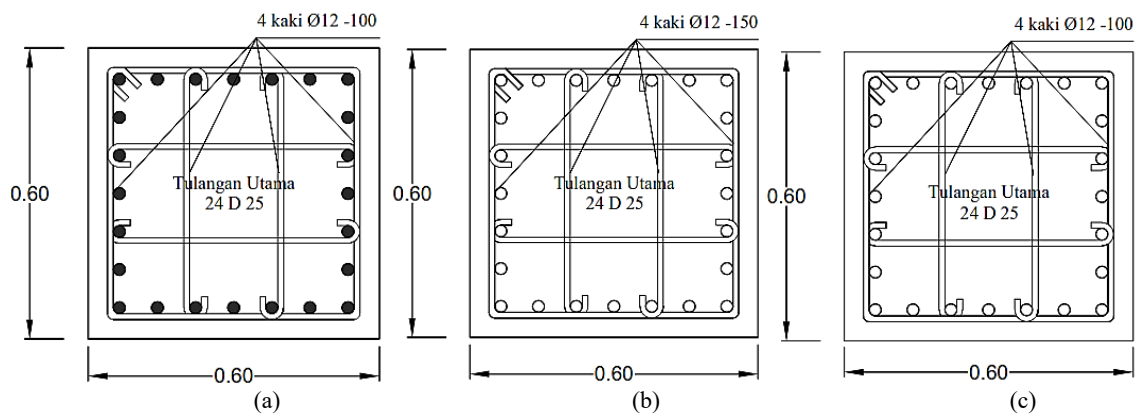
Kondisi	24 D 25		24 D 25	
	ϕP_n (kg)	ϕM_n (kg-mm)	P_n (kg)	M_n (kg-mm)
Sentris	487432.18	0	749895.6612	0
Patah Desak	312694.39	56030639.17	481068.2948	86200983.33
Balance (seimbang)	292351.89	58038429.32	449772.139	89289891.26
Patah Tarik	113488.33	49891349.09	174597.4306	49891349.09
Lentur	0	44745419.73	0	68839107.28

Dengan dilakukan perhitungan mengikuti SNI 2847-2019 didapatkan V_e kolom sebesar 52523,466 kg dan V_e balok 7406,33 kg.

Diketahui V_e kolom $> V_e$ balok, sehingga memenuhi persyaratan perhitungan penulangan geser kolom. Didapatkan: (1) daerah sendi

plastis digunakan tulangan geser 4 kaki Ø10 – 100 mm; (2) daerah luar sendi plastis digunakan tulangan geser 4 kaki Ø10 – 150 mm; dan (3)

daerah sambungan lewatan digunakan tulangan geser 4 kaki Ø10 – 100 mm.



Gambar 7. Penampang kolom 60/60: (a) daerah sendi plastis; (b) daerah di luar sendi plastis; dan (c) daerah sambungan lewatan

Untuk memenuhi syarat desain kapasitas dalam menguji kolom kuat balok lemah, digunakan perhitungan kolom 60/60 dan balok 30/60. Total momen pada kolom 60/60 ($\sum M_{nc}$) diketahui sebesar 151157061,20 kg-mm. Sedangkan momen keseluruhan yang ada pada balok 30/60 adalah sebesar 111140106 kg-mm. Maka dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \sum M_{nc} &\geq 1,2 \cdot \sum M_{nb} & (12) \\ 151157061,20 &\geq 1,2 \cdot 111140106 \\ 151157061,20 \text{ kg-mm} &\geq 133368127,2 \text{ kg-mm} \\ \text{OK!} \end{aligned}$$

Dari hasil perencanaan balok 30/60 dan kolom 60/60 yang telah dihitung, didapatkan hasil yaitu persyaratan untuk Strong Column Weak Beam atau kolom kuat-balok lemah telah terpenuhi.

KESIMPULAN

Hasil perencanaan SRPMK terhadap struktur Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya yaitu pada komponen struktur yang ditinjau, digunakan dimensi balok 30/60 dan dimensi kolom 60/60. Pada perencanaan sistem rangka pemikul momen struktur (SRPMK) terhadap balok 30/60 didapatkan: tulangan tumpuan kiri tarik 6 D25-tekan 8 D29, tulangan lapangan tarik 4 D25-tekan 2 D29, tulangan

tumpuan kanan tarik 5 D25-tekan 4 D29+4 D25, serta tulangan geser joint kiri/kanan pada daerah sendi plastis digunakan 2 kaki Ø12 – 120 mm dan pada daerah di luar sendi plastis digunakan 2 kaki Ø12 – 150 mm. Pada perencanaan sistem rangka pemikul momen struktur (SRPMK) terhadap kolom 60/60 didapatkan: tulangan longitudinal 24 D25 dan tulangan geser daerah sendi plastis 4 kaki Ø10 – 100 mm, daerah di luar sendi plastis 4 kaki Ø10 – 150 mm, serta pada daerah sambungan lewatan 4 kaki Ø10 – 100 mm. Perencanaan struktur dalam memenuhi konsep kolom kuat-balok lemah pada Gedung Kuliah Terpadu (SBSN 2021) Universitas Palangka Raya menggunakan SRPMK didapatkan hasil yaitu: $\sum M_{nc} \geq 1,2 \cdot \sum M_{nb}$ telah terpenuhi. Sehingga perencanaan SRPMK dalam meningkatkan ketahanan gedung dengan struktur seperti Gedung Kuliah Terpadu terhadap kemungkinan adanya gaya gempa yang besar telah sesuai dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847-2019, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non-Gedung*, SNI 1726-2019, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727-2013, Jakarta.

Sunarjo, Gunawan, M. Taufik, dan Sugeng Pribadi. 2012. *Gempa Bumi, Edisi Populer*, Badan

Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.

Pamungkas, Anugrah. 2018. *Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Yogyakarta: ANDI.

Imran, Iswandi. 2009. *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: ITB.