

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR GEDUNG KULIAH TERPADU PPNS MENGGUNAKAN DUAL SYSTEM

Mohamad Dava Nizar Alfian¹, Armin Naibaho²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³
davanizar762@gmail.com¹, arminnaibaho1976@gmail.com²

ABSTRAK

Beban lateral menjadi tantangan signifikan dalam desain bangunan tinggi. Untuk mengatasinya, struktur membutuhkan kekuatan, kekakuan, dan fleksibilitas lateral yang memadai. Penelitian ini mengeksplorasi modifikasi struktur menjadi Sistem Ganda (Dual System) untuk mengoptimalkan kekuatan. Studi ini secara spesifik menganalisis modifikasi struktur gedung, perilaku struktural, dan menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) struktur atas. Peraturan yang digunakan meliputi SNI 2847-2019, SNI 1727-2020, dan SNI 1726-2019. Dalam implementasi Sistem Ganda, shearwall berdimensi 4m x 200mm ditempatkan di sisi gedung. Model eksisting dibandingkan dengan model dual system menggunakan analisis spektrum respon pada Gedung Kuliah Terpadu PPNS. Hasil analisis dengan software ETABS 19 menunjukkan bahwa model struktur sistem ganda secara optimal memperkuat ketahanan gempa bangunan. Modifikasi yang dihasilkan meliputi: Tebal Pelat 125 mm, Balok Induk A 500/700, Balok Induk B 450/550, Balok Anak 1 450/500, Balok Anak 2 300/350, Kolom K1 850/850, Kolom K2 750/750. Model 2 sistem ganda menunjukkan kinerja terbaik, mereduksi perpindahan sebesar 66% pada sumbu X dan 50% pada sumbu Y, serta meningkatkan base shear hingga 39% dibandingkan model eksisting. RAB struktur atas diperkirakan sebesar Rp. 14,316,137,697.43. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan data primer (tanah, gempa) dan variasi posisi shearwall untuk hasil yang lebih optimal.

Kata kunci : Sistem Ganda, SRPMK, Struktur Gedung, Base Shear

ABSTRACT

Lateral loads pose a significant challenge in high-rise building design. To address this, structures require adequate lateral strength, stiffness, and flexibility. This research explores modifying structures into a Dual System to optimize their strength. This study specifically analyzes building structure modifications, structural behavior, and calculates the estimated cost (RAB) for the superstructure. The regulations used include SNI 2847-2019, SNI 1727-2020, and SNI 1726-2019. In implementing the Dual System, shear walls measuring 4m x 200mm are placed on the sides of the building. The existing model was compared with the dual system model using response spectrum analysis at the PPNS Integrated Lecture Building. Analysis results from ETABS 19 software show that the dual system structural model optimally enhances the building's earthquake resistance. The resulting modifications include: Slab thickness 125 mm, Main Beam A 500/700, Main Beam B 450/550, Secondary Beam 1 450/500, Secondary Beam 2 300/350, Column K1 850/850, Column K2 750/750. Dual system model 2 demonstrated the best performance, reducing displacement by 66% on the X-axis and 50% on the Y-axis, and increasing base shear by up to 39% compared to the existing model. The estimated superstructure cost is Rp. 14,316,137,697.43. This research recommends using primary data (soil, earthquake) and varying shear wall positions for more optimal results.

Keywords : Dual System, SMRF, Building Structure, Base Shear

1. PENDAHULUAN

Peningkatan populasi perkotaan dan keterbatasan lahan mendorong pembangunan struktur bertingkat tinggi, di mana beban lateral menjadi faktor krusial dalam desain. Keamanan dan minimisasi kerusakan akibat beban lateral adalah prioritas utama (Ahmad Sheikh A. And Safwan Chahal, 2020).

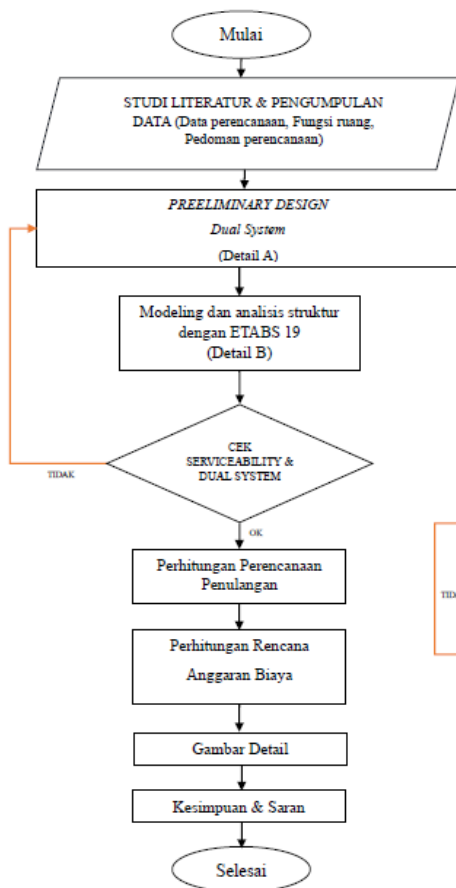
Sebagai respons terhadap kebutuhan ini, pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) dirancang sebagai fasilitas pendidikan 8 lantai di Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya. Gedung ini dibangun dengan pertimbangan ketahanan gempa demi menciptakan lingkungan belajar yang aman dan nyaman.

Struktur Gedung Kuliah Terpadu PPNS dimodifikasi menggunakan Sistem Ganda (Dual System), yang mengkombinasikan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Shearwall. Desain ini mematuhi standar SNI 2847-2019 (peraturan beton) dan SNI 1726-2019 (perencanaan ketahanan gempa).

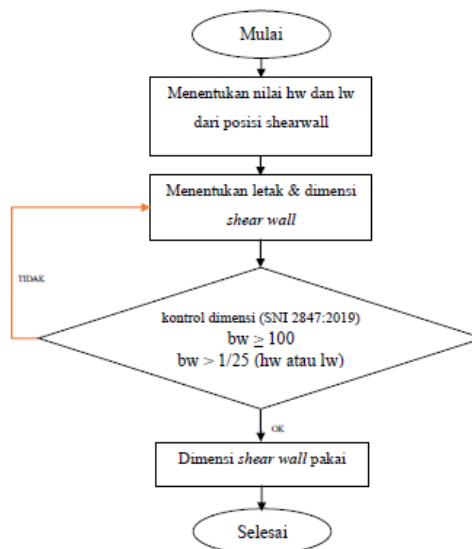
2. METODE

Penelitian ini mengadopsi metode kuantitatif dengan pendekatan studi kasus yang terstruktur secara sistematis. Tahapan pengumpulan dan pengolahan data diawali dengan studi literatur yang mencakup data primer dan sekunder.

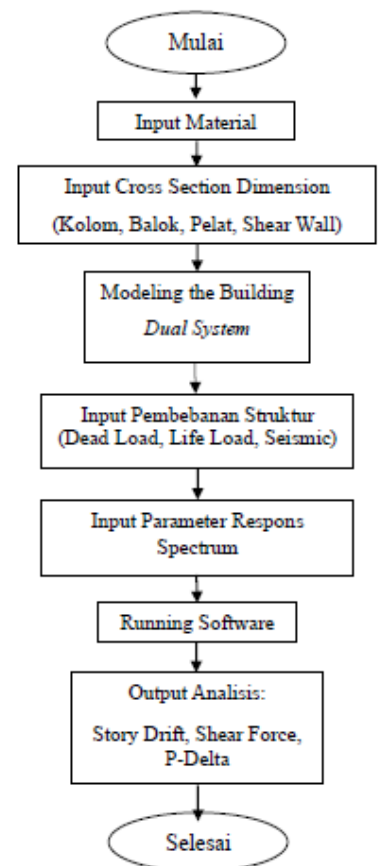
Setelah perolehan data proyek, dilakukan perhitungan desain awal (preliminary design) untuk elemen pelat, balok, kolom, dan shear wall. Perhitungan ini bertujuan untuk menetapkan estimasi dimensi awal yang selaras dengan gambar struktural dan arsitektural proyek Gedung Kuliah Terpadu (GKT) PPNS Surabaya. Selanjutnya, pemodelan struktur 3D dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS untuk menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada struktur atas bangunan, dengan mengacu pada SNI 2847-2019. Prosedur analisis modifikasi struktur atas pada proyek GKT PPNS Surabaya dijelaskan lebih lanjut melalui bagan alir prosedur analisis yang disajikan pada **Gambar 1**, **Gambar 2**, dan **Gambar 3**.



Gambar 1 Bagan Alir Prosedur Analisis



Gambar 2 Bagan Alir Detail A



Gambar 3 Bagan Alir Detail B

Dasar Peraturan Perencanaan

Perencanaan suatu bangunan harus mematuhi serangkaian pedoman, batasan, dan aturan yang ketat. Dalam skripsi ini, pedoman-pedoman yang digunakan meliputi:

1. SNI 2847:2019^[1]
Mengenai perancangan struktur beton bertulang.
2. SNI 1726:2019^[2]
Pedoman perencanaan ketahanan gempa bangunan gedung
3. SNI 1727:2020^[3]
Pedoman untuk menentukan beban minimum untuk perancangan bangunan gedung

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preliminary design

Desain awal (*preliminary design*) merupakan fase fundamental dalam perencanaan struktur, di mana estimasi dimensi awal komponen struktural ditentukan. Proses ini didasarkan pada analisis komprehensif gambar arsitektural dan struktural dari proyek yang ditinjau, dalam konteks ini adalah Hotel Aston Inn Lumajang. Elemen-elemen struktur yang akan diestimasi dimensinya meliputi balok, pelat, kolom, dan *shear wall*.

1. Balok
Balok Induk A (BA) Panjang = 800 cm
Tinggi BA = $l/18.5$
= $800/18.5 = 44.44 \approx 70$ cm
Lebar BA = $2/3 \cdot \text{Tinggi}$
= $2/3 \cdot 70 = 46.66 \approx 50$ cm
Didapatkan dimensi Balok (BA) 50/70cm
Balok Induk B (BB) Panjang = 400 cm
Tinggi BB = $l/18.5$
= $400/18.5 = 21.62 \approx 55$ cm
Lebar BB = $2/3 \cdot \text{Tinggi}$
= $2/3 \cdot 55 = 36.66 \approx 45$ cm
Didapatkan dimensi Balok (BB) 45/55cm
Balok Anak 1 Panjang = 800 cm
Tinggi Ba1 = $l/18.5$
= $800/18.5 = 43.25 \approx 55$ cm
Lebar Ba1 = $2/3 \cdot \text{Tinggi}$
= $2/3 \cdot 55 = 36.66 \approx 40$ cm
Didapatkan dimensi Balok Anak (Ba1) 40/55 cm
Balok Anak 2 Panjang = 400 cm
Tinggi Ba2 = $l/18.5$
= $400/18.5 = 21.6 \approx 35$ cm
Lebar Ba2 = $2/3 \cdot \text{Tinggi}$
= $2/3 \cdot 35 = 23.33 \approx 30$ cm
Didapatkan dimensi Balok Anak (Ba2) 30/35cm
2. Pelat

Pelat yang akan direncanakan hanya menahan beban lentur dan harus memenuhi syarat lendutan, ketebalan minimum harus memenuhi syarat SNI 2847-2019 pasal 8.3.1.2. pelat ditinjau dengan luasan terbesar yaitu arah x 4m, dan arah y 4m.

$$h_{\min} = L / 40$$

$$= 4000 / 40 = 100 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

Tebal pelat yang digunakan 125 mm

3. Kolom

Rumus pendekatan yang digunakan untuk menentukan dimensi kolom yaitu dengan persamaan:

$$A_g = \frac{P_u}{0.2 f_c'}$$

$$= \frac{4508.525}{0.2 \times 0.035} = 644060.71 \text{ mm}^2$$

$$b \times h > A_g$$

$$850 \times 850 > 644060.71 \text{ mm}^2$$

$$722500 > 644060.71 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Tabel 3. 1 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Tipe Kolom	b	h
	mm	mm
K1	850	850
K2	750	750

Sumber: Dokumen Pribadi

4. Shearwall

Perencanaan *Shearwall* mengacu pada SNI 2847:2019, geometri *shearwall* tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral (mana yang lebih kecil), dan tidak boleh kurang dari 100 mm.

$$b_w = 1/25 \times h_w$$

$$= 1/25 \times 4500 = 180 \text{ mm}$$

$$b_w = 1/25 \times l_w$$

$$= 1/25 \times 4000 = 160 \text{ mm}$$

ketebalan *shear wall* yang digunakan 200 mm.

B. Perhitungan Pembebanan

1. Beban mati
Berat sendiri struktur bangunan suatu Gedung (DL1) merupakan berat sendiri struktur yang diambil pada *software* ETABS V.21.
Beban Mati tambahan terdiri dari beban pelat lantai 1.29 kN/m², Beban garis pada balok 7.45 kN/m², beban pada langit" plat atap 0.50 kN/m².
2. Beban hidup
Berikut hasil analisis pembebanan hidup pada Struktur

Tabel 3. 2 rekapitulasi beban hidup

Lantai	Beban Hidup
	kN/m ²
Roof toop	599.133
Story 2-8	2429.267
Story1	2928.419

Sumber : Dokumen Pribadi

3. Beban hidup air hujan

ds = asumsi kedalaman air (30 mm)
 dh = asumsi tambahan kedalaman air (10 mm)
 R = 0,0098 (ds + dn)
 = 0,0098 (0.03+0.01) = 0,00039 kN/m²

Cek Limitasi

$$0,00039 < L < 0,94$$

Maka limitasi minimumnya yaitu 0,94 kN/m².

4. Beban Gempa

Berikut merupakan perhitungan beban gempa dimana mengacu pada SNI 1726-2019

Tabel 3. 3 Hasil Analisis Perhitungan Gaya Geser Gempa

Gaya Geser Statik (Simpangan)			
Model	Cs	Berat Seismic Efektif (W)	V
Model 0 Existing	0.0284	55012	1561.66
Model 1 SRPMK	0.0284	64945	1843.63
Model 2 Dual System	0.0324	66886	2169.98

Sumber : Dokumen Pribadi

C. Desain elemen Struktur

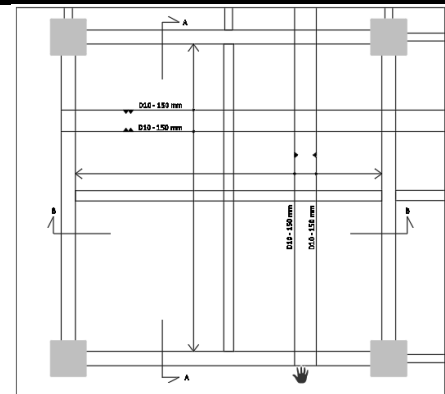
1. Pelat Lantai

Pelat lantai direncanakan memiliki tebal 125mm dengan selimut beton sebesar 20 mm. Dari hasil analisa struktur diperoleh output gaya dalam:

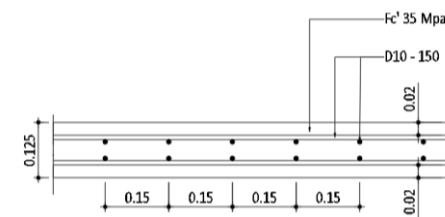
- M max akibat M11 max = 6.991 kN.m
- M min akibat M11 min = 13.405 kN.m
- M max akibat M22 max = 7.003 kN.m
- M min akibat M22 min = 11.515 kN.m
- Vu = 15.392 kN

Sehingga penulangan pada pelat lantai diperoleh hasil sebagai berikut:

- Tulangan lapangan arah x = D10-150
- Tulangan lapangan arah y = D10-150
- Tulangan tumpuan arah x = D10-150
- Tulangan tumpuan arah y = D10-150



Gambar 3. 1 Detail Penulangan Pelat Lantai
 Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 2 Detail Potongan Penulangan Pelat Lantai
 Sumber : Dokumen Pribadi

2. Balok Induk A (BA 50/70cm)

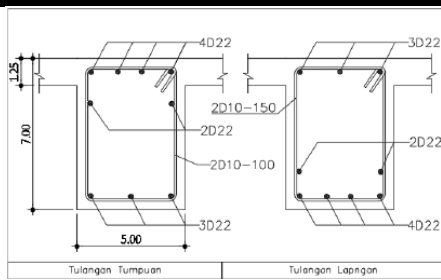
Berdasarkan analisa statika dengan software yang digunakan diperoleh hasil sebagai berikut:

- Mu tumpuan (-) = 260.0485 kN.m
- Mu tumpuan (+) = 10.5708 kN.m
- Mu lapangan (-) = 2.5708 kN.m
- Mu lapangan (+) = 242.055 kN.m
- Vu Tumpuan = 197.0539 kN
- Vu lapangan = 159.6572 kN
- Vg tumpuan = 162.6862 kN
- Tu = 81.4533 kN

Sehingga penulangan pada balok BA diperoleh hasil sebagai berikut :

- Tulangan Tumpuan (-) = 4D22
- Tulangan Tumpuan (+) = 3D22
- Torsi Tumpuan = 2D22
- Tulangan Lapangan (-) = 3D22
- Tulangan Lapangan (+) = 4D22
- Torsi Lapangan = 2D22
- Sengkang Tumpuan = 2D10 - 100
- Sengkang Lapangan = 2D10 - 150

Dibawah ini adalah gambar penulangan balok BA



Gambar 3. 3 Detail Penulangan Balok Induk A
Sumber : Dokumen Pribadi

3. Kolom K1 (850/850)

Tabel 3. 4 Moment Aksial – Lentur K1 Output ETABS

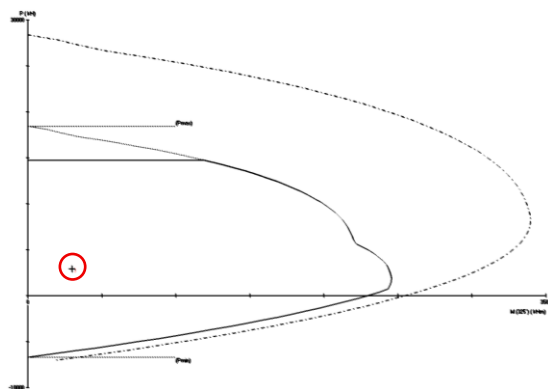
Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-46.7414	10.729	-21.9944
P min	-4648.2041	71.4493	-70.8257
M2 Max	-2937.0891	245.28	-170.0446
M2 Min	-3174.2584	-269.174	151.801
M3 Max	-2057.1143	22.9613	245.8622
M3 Min	-1927.0009	-26.0206	-252.1984

Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 3. 5 Moment Geser K1 Output ETABS

Geser	
Tumpuan	
V2 (kN)	-258.722
V3 (kN)	-520.122
Lapangan	
V2 (kN)	-258.722
V3 (kN)	-520.122

Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 4 Diagram Interaksi Kolom K1 SP-Column
Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 3. 6 Moment Kapasitas Kolom K1 Output SP-Column

	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ϕ	M_{nx}	M_{ny}
1	1014.32	2079.34	0.9	1127.02222	2310.37778
2	1628.71	1614.49	0.687	2370.75691	2350.05822
3	2005.33	1390.23	0.77	2604.32468	1805.49351

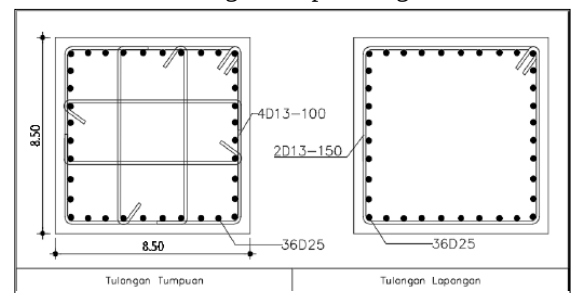
4	-2168.8	1223.1	0.765	2835.03268	1598.82353
5	265.43	2842.18	0.9	294.922222	3157.97778
6	-289.62	2807.07	0.9	321.8	3118.96667

Sumber : Dokumen Pribadi

Sehingga penulangan kolom K1 diperoleh sebagai berikut:

- Tulangan utama = 36D25
- Senggang tumpuan = 4D13 - 100
- Senggang lapangan = 2D13 - 150

Dibawah ini adalah gambar penulangan kolom:



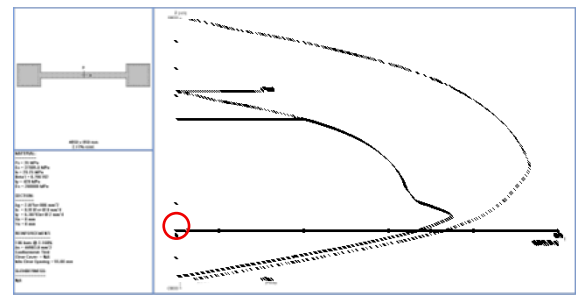
Gambar 3. 5 Detail Penulangan kolom k1
Sumber : Dokumen Pribadi

4. Shearwall

Tabel 3. 7 Moment Aksial – Lentur Shearwall Output ETABS

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-184.4734	188.4355	-3.2517
P min	-8048.6282	-181.8003	-185.3079
M2 Max	-6660.1411	520.7459	-175.4073
M2 Min	-6945.4676	-538.8959	-206.4943
M3 Max	-665.7183	279.9278	523.1437
M3 Min	-5742.8331	-236.3428	-1217.7983

Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 6 Diagram Interaksi Shearwall SP- Column
Sumber : Dokumen Pribadi

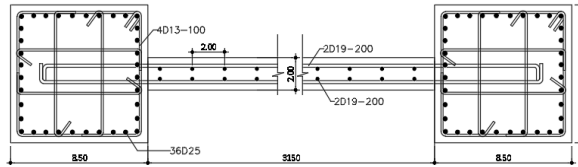
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities											
No	Pu	Mux	Muy	ϕM_{ux}	ϕM_{uy}	$\phi M_u/M_u$	NA Depth	dt Depth	ct	ϕ	
1	16.38	0.28	0.18	1297.11	862.86	999.999	336	944	0.00543	0.900	
2	1665.51	186.50	186.50	1429.46	884.31	7.411	463	937	0.00511	0.746	
3	2014.26	211.09	-152.04	1328.70	-957.02	6.294	436	956	0.00358	0.778	
4	2184.76	-233.85	129.38	-1470.79	813.35	6.287	427	956	0.00358	0.778	
5	1294.17	18.57	216.09	161.23	1889.28	8.872	238	741	0.00895	0.900	
6	1203.07	-21.34	-216.09	-162.18	-1845.13	8.539	230	748	0.00895	0.900	

Gambar 3. 7 Moment Kapasitas Shearwall Output ETABS
Sumber : Dokumen Pribadi

Sehingga penulangan *Shearwall* diperoleh sebagai berikut:

- Tulangan Longitudinal = 2D19-200
- Tulangan Transversal = 2D19-200

Dibawah ini adalah gambar penulangan *shearwall*:



Gambar 3. 8 Detail Penulangan Shearwall

Sumber : Dokumen Pribadi

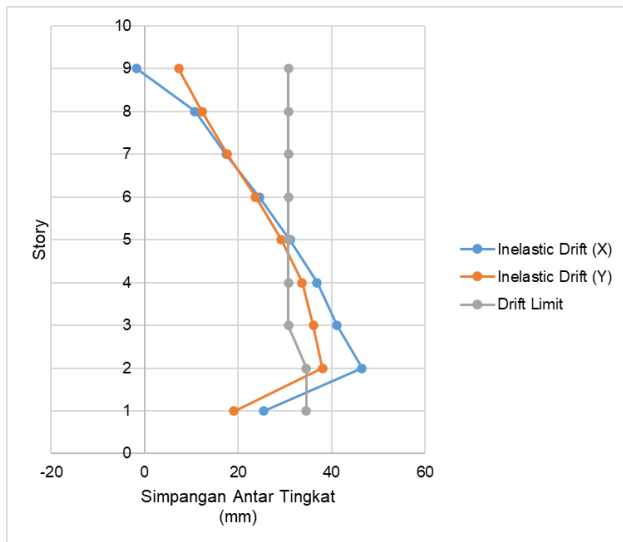
D. Displacement

1. Model 0 Existing

Tabel 3. 8 Displacement Analysis Result Model 0 Existing

Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)		
-0.453	1.988	4000	-1.661	7.289	30.769	OK
2.943	3.359	4000	10.791	12.316	30.769	OK
4.754	4.836	4000	17.431	17.732	30.769	OK
6.703	6.475	4000	24.578	23.742	30.769	OK
8.497	7.983	4000	31.156	29.271	30.769	NOT OK
10.054	9.195	4000	36.865	33.715	30.769	NOT OK
11.221	9.857	4000	41.144	36.142	30.769	NOT OK
12.694	10.386	4500	46.545	38.082	34.615	NOT OK
6.945	5.226	4500	25.465	19.162	34.615	OK

Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 9 Grafik Displacement Model 0 Existing

Sumber : Dokumen Pribadi

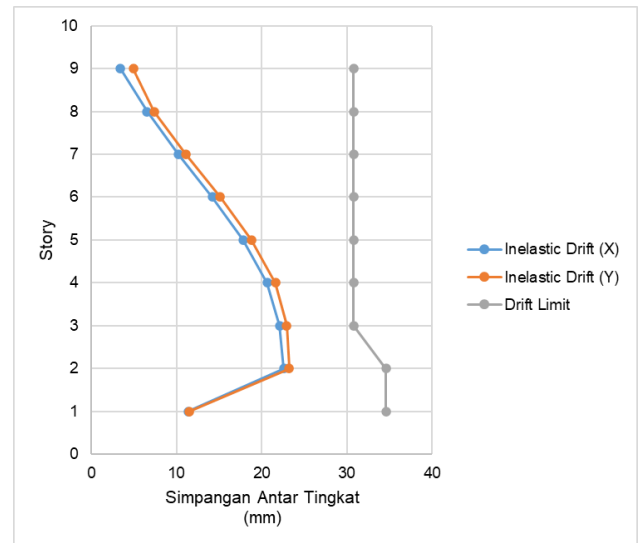
2. Model 1 SRPMK

Tabel 3. 9 Displacement Analysis Result Model 1 SRPMK

Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)		

0.935	1.345	4000	3.428	4.932	30.769	OK
1.787	2.012	4000	6.552	7.377	30.769	OK
2.779	3.019	4000	10.190	11.070	30.769	OK
3.870	4.125	4000	14.190	15.125	30.769	OK
4.858	5.125	4000	17.813	18.792	30.769	OK
5.632	5.897	4000	20.651	21.622	30.769	OK
6.024	6.250	4000	22.088	22.917	30.769	OK
6.155	6.330	4500	22.568	23.210	34.615	OK
3.106	3.146	4500	11.389	11.535	34.615	OK

Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 10 Grafik Displacement Model 1 SRPMK

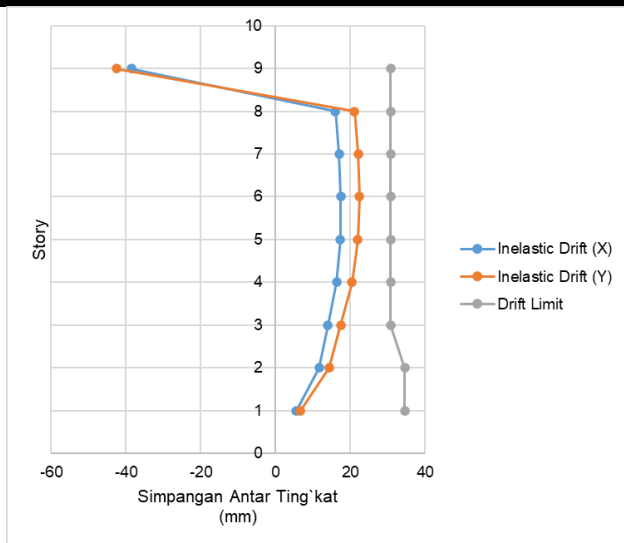
Sumber : Dokumen Pribadi

3. Model 2 Dual System

Tabel 3. 10 Displacement Analysis Result Model 2 Dual System

Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)		
-	-					
10.523	-11.591	4000	-38.584	-42.500	30.769	OK
4.363	5.771	4000	15.998	21.160	30.769	OK
4.638	6.036	4000	17.006	22.132	30.769	OK
4.777	6.134	4000	17.516	22.491	30.769	OK
4.745	6.018	4000	17.398	22.066	30.769	OK
4.453	5.588	4000	16.328	20.489	30.769	OK
3.830	4.762	4000	14.043	17.461	30.769	OK
3.199	3.921	4500	11.730	14.377	34.615	OK
1.511	1.812	4500	5.540	6.644	34.615	OK

Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 11 Grafik Displacement Model 2 Dual System
Sumber : Dokumen Pribadi

E. Dual System

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1, pada sistem struktur ganda, rangka pemikul momen diwajibkan mampu menahan minimal 25% dari gaya gempa rencana. Adapun hasil evaluasi terhadap pemenuhan ketentuan tersebut disajikan pada bagian berikut:

Tabel 3. 11 Dual System Result Analysis

V_x (SW+ SRPMK)	8353.1692
V_y (SW + SRPMK)	7774.116
V_x (SW)	5317.67
V_y (SW)	4700.48
SW x %	63.660 %
SW y %	60.463 %
SRPMK x %	36.340 %
SRPMK y %	39.537 %

Sumber : Dokumen Pribadi

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil modifikasi struktur atas pada Gedung Kuliah Terpadu PPNS tahan gempa pada Analisa pada bab sebelumnya didapatkan hasil analisis kolom, balok, pelat, dan shearwall, serta rencana anggaran biaya pekerjaan struktur atas.

- Berdasarkan hasil analisis kinerja structural, untuk desain penulangan menggunakan model 2 dual system, berikut hasil modifikasi dan analisis penulangan:
 - Pelat Tebal 125 mm, Tulangan tumpuan dan lapangan D10 – 150 dan tidak memerlukan tulangan geser pelat.
 - Balok Induk A 500/700, Tulangan Tumpuan Atas 4D22, Torsi 2D22, Bawah 3D22 dan Tulangan Lapangan Atas 3D22, Torsi 2D22, Bawah 4D22, Tulangan Transversal Tumpuan 2D10-100, dan Lapangan 2D10-150.

- Balok Induk B 450/550, Tulangan Tumpuan Atas 3D19, Torsi 2D19, Bawah 3D19 dan Tulangan Lapangan Atas 3D19, Torsi 2D19, Bawah 3D19, Tulangan Transversal Tumpuan 2D10-100, dan Lapangan 2D10-150.
 - Balok Anak 1 400/550, Tulangan Tumpuan Atas 3D22, Bawah 3D22 dan Tulangan Lapangan Atas 3D22, Bawah 3D22, Tulangan Transversal Tumpuan 2D10-150, dan Lapangan 2D10-150.
 - Balok Anak 2 300/350, Tulangan Tumpuan Atas 3D19, Bawah 3D19 dan Tulangan Lapangan Atas 3D19, Bawah 3D19, Tulangan Transversal Tumpuan 2D10-100, dan Lapangan 2D10-140.
 - Kolom K1 850/850, Tulangan Longitudinal 36D25, Tulangan Transversal Tumpuan 4D13-100 dan Lapangan 2D13-150.
 - Kolom K2 750/750, Tulangan Longitudinal 28D25, Tulangan Transversal Tumpuan 4D13-100, dan Lapangan 2D13-150.
 - Shearwall Tebal 200, Tulangan Longitudinal 2D19-200, Tulangan Transversal 2D19-200, dan tidak membutuhkan Elemen Batas Khusus.
- Berdasarkan analisis menggunakan dual system sudah memberikan perbandingan lebih baik dari model lainnya. Berikut merupakan hasil analisis:
 - Pengecekan syarat sistem ganda
Berdasarkan hasil analisis pada model 2, persyaratan sistem ganda telah terpenuhi. Hal ini ditunjukkan dengan proporsi gaya gempa yang dipikul oleh shearwall, yaitu sebesar 63,66% pada arah x dan 60,46% pada arah y. Nilai tersebut melampaui ketentuan minimal 25% gaya gempa yang harus mampu dipikul oleh rangka, sehingga model 2 dinyatakan sesuai dengan persyaratan sistem ganda.
 - Simpangan antar lantai
Berdasarkan hasil analisis simpangan antar lantai, model 2 dapat mereduksi simpangan dengan rata-rata 34% arah x dan 20% arah y terhadap model 1 SRPMK, sedangkan terhadap model 0 Existing dapat mereduksi 66% arah x dan 50% arah y simpangan antar lantai.
 - Gaya geser dasar gempa
Berdasarkan hasil analisis Gaya geser dasar gempa pada Model 2 dual system meningkat 18% terhadap model 1 SRPMK dan pada model 0 existing meningkat 39%.
 - Rencana Anggaran Biaya
Total rencana anggaran biaya dari modifikasi struktur atas Gedung Kuliah Terpadu PPNS didapatkan nilai sebesar Rp. 14,316,137,697.43 (Empat Belas Miliar Tiga Ratus Enam Belas Juta Seratus Tiga Puluh Tujuh Ribu Rupiah), nilai tersebut sudah termasuk dengan pajak 11%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional 2020. "Beban desain minimum dan kriteria untuk bangunan gedung dan struktur lain, SNI 1727-2020". Jakarta : BSN
- [2] Badan Standarisasi Nasional 2019. "Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, SNI 2847-2019". Jakarta : BSN.
- [3] Badan Standarisasi Nasional 2019. "Tata cara perencanaan bangunan tahan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung, SNI 1726-2019". Jakarta : BSN.
- [4] Badan Standarisasi Nasional 2020. "Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang, SNI 8900-2020". Jakarta : BSN.
- [5] Baehaki, Hendrian Budi Bagus Kuncoro, Puspa Dahlia. Pengaruh Letak Shear Wall Pada Gedung Tidak Beraturan Terhadap Nilai Simpangan Dengan Analisa Respons Spektrum. Jurnal Fondasi, 1(8) 2019
- [6] Pratama, M.M.A., Putri, S.D.S., Santoso, E., / Analisis Kinerja Bangunan Gedung Tinggi ... Siklus : Jurnal Teknik Sipil Vol 7, No. 2, Oktober 2021, pp 26-37
- [7] Fauziah, Lilik. (2013). Pengaruh Penempatan dan Posisi Dinding Geser Terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa. Jurnal Sipil Statik Vol. 1 No. 7.
- [8] Ahmad Sheikh Abdallah And Safwan Chahal.2020. Comparison of Shear Walls and Moment-Resisting Frames In Earthquake Bbuildingg Deeign
- [9] Sanjeebanee Behera¹ , P.K Parhi. (2017). Studies on Location of Shear Wall In Buildings For Structural Stability. International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET) Vol. 06 Issue 06.
- [10] Murty C.V.R et.al. (2012). Some Concepts in Earthquake Behaviour of Buildings. Government of Gujarat. India
- [11] Patrisko Hirel Karisoh. 2018. "Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus". (Jurnal) Universitas Sam Ratulangi.
- [12] Ricky Januar Honarto Banu Dwi Handono, Ronny Pandaleke. (2019) "Perencanaan Bangunan Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Di Kota Manado". Jurnal Sipil Statik, 7(2), 201-208.
- [13] Ismail, Adhi Nur. (2015). Perbandingan Simpangan Horisontal pada Bangunan Bertingkat Struktur Beton dengan Penggunaan Dinding Geser Menurut SNI-1726-2002 dan SNI- 1726-2012. Cilegon.
- [14] R. Resatoglu and S. Jkhsi, "Evaluation Of Ductility Of Reinforced Concrete Structures With Shear Walls Having Different Thicknesses And Different Positions," IIUM Eng. J., vol. 23, no. 2, 2022, doi: 10.31436/iiumej.v23i2.2070.