

Sistem Perkuatan Struktur menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* Pada Gedung 4 Lantai

¹Rizky Bayu Saputra, ²Antonius, ³Muhamad Rusli Ahyar

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

*Corresponding Author:
Rizkykibay33@gmail.com

Abstrak

Tugas akhir ini mengkaji kelayakan struktur gedung perkantoran 4 lantai dengan kerusakan lentur dan geser pada bagian struktur komponen kolom dan balok tertentu. Salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas struktur adalah dengan menggunakan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). CFRP adalah bahan komposit terdiri dari serat dan resin yang diaplikasikan untuk menutupi struktur yang mengalami kegagalan.

Perhitungan Analisa struktur tanpa perkuatan dengan ETABS V18 dimodelkan dengan pembebanan 3D sesuai SNI 1727:2020. Kemudian menganalisa bagian struktur yang rusak yang nantinya akan diperkuat. Berdasarkan hasil yang diperoleh, terdapat kegagalan geser pada balok dan aksial serta momen pada kolom dan balok. Setelah bagian struktur yang mengalami kegagalan ditutupi dengan CFRP HM-60 dengan ketebalan 0,333 mm, 2 lapis kolom dan 2 lapis balok, kekuatan struktural meningkat dengan dimensi, mutu beton dan baja yang sama.

Kata kunci: CFRP; kegagalan struktur; komposit; Retrofitting.

Abstract

This final project examines the feasibility of a 4 floor office building structure with bending and sliding damage to certain parts of the column and beam structural component. One of ways to increase the capacity of the structure is to use CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). CFRP is a composite material consisting of fibers and resins that are applied to cover structures that are failed.

Calculation Analysis of structures without concentration use ETABS V18 is modeled with 3D loading according to SNI 1727:2020. Then analyze the damaged parts of the structure that will later be strengthened. Based on the results obtained, there are shear failures on the beam and axial as well as moments on the column and beam. After the failed parts of the structure are covered with CFRP HM-60 with a thickness of 0.333 mm, 2 layers of columns and 2 layers of beams, the structural strength increases with the same dimensions, quality of concrete and steel.

Keywords: structure failure; composites;; Retrofitting.

1. PENDAHULUAN

Balok merupakan suatu elemen struktur penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu balok merupakan lokasi kritis yang menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang saling berkesinambungan. Keruntuhan balok merupakan hal yang berbahaya yang perlu mendapat penanganan serius, karena keruntuhan kolom akan menimbulkan akibat yang fatal terhadap konstruksi yang telah dibangun, keruntuhan pada balok dapat disebabkan oleh adanya peningkatan gaya gempa yang terjadi pada wilayah dimana struktur tersebut berdiri.

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) merupakan salah satu jenis dari FRP. CFRP digunakan untuk perbaikan dan memperkuat elemen struktur pada konstruksi. Teknik perkuatan menggunakan CFRP dapat dibuat efisien, tidak menyebabkan karat seperti plat baja. Fungsi perkuatan dengan sistem komposit CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas geser, aksial dan daktilitas, atau berbagai kombinasi lainnya. Daya tahan CFRP yang tinggi lebih ekonomis digunakan pada lingkungan korosif (baja akan mudah berkarat). Penggunaan CFRP akan lebih populer dibandingkan dengan jenis FRP lainnya seperti glass dan aramid.

2. TINJAUAN PUSTAKA/ LANDASAN TEORI

FRP adalah serat karbon yang didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% serat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan sistem FRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, aksial dan daktilitas. Cara pemasangan FRP adalah dengan melilitkannya mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat epoxy resin. Sistem kerjanya sama dengan tulangan transversal konvensional. (Karmila, Agoes, Tavio, 2013)

A. FRP (*Fiber Reinforced Polymer*)

FRP (*Fiber Reinforced polymer*) ialah material komposit yang dibuat dari matrik resin polimer kemudian dicampurkan dengan memberikan serat karbon (CFRP) atau serat kaca (GFRP). Material karbon merupakan sebuah alternatif untuk perbaikan dan merehabilitasi suatu struktur dibandingkan menggunakan pelat baja konvensional. Untuk dapat dilihat dari Gambar 2.8.



Gambar 2.1. CFRP (*Carbon Fiber Reinforced polymer*)

Sumber: www.google.com

Bagian struktur yang diikat dengan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) harus diikat dengan beton, karena beton merupakan parameter yang paling penting sebagai bahan lekatan kritis termasuk kekuatan lentur atau geser

B. Massa Jenis Material FRP

Perkuatan struktur menggunakan FRP telah berkembang di beberapa negara seperti Amerika Utara, Eropa, dan Jepang. Metode perkuatan ini dikenal sangat efisien, dan tidak mudah berkarat. Penggunaan metode FRP memiliki keuntungan yang didapat seperti mudah diaplikasikan dan ditangani, bobot bahan yang relatif ringan, biaya instalasi dan pemeliharaan yang murah. Keunggulan FRP ini dapat dilihat pada Table 2.1.

Dari Table 2.1 kita dapat mengetahui bahwa massa jenis material FRP berkisar antara 1,2 hingga 2,1 g/cm³, empat sampai enam kali lebih ringan dibandingkan dengan material baja. Karena memiliki sifat yang lebih ringan dan kuat ini menjadikan salah satu alternatif dalam perkuatan beton.

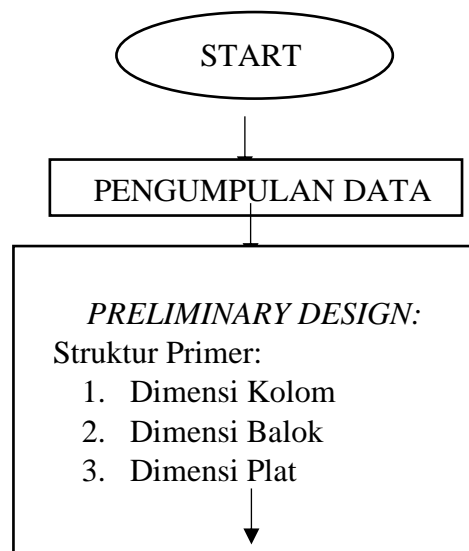
Tabel 2.1 Massa Jenis Material FRP

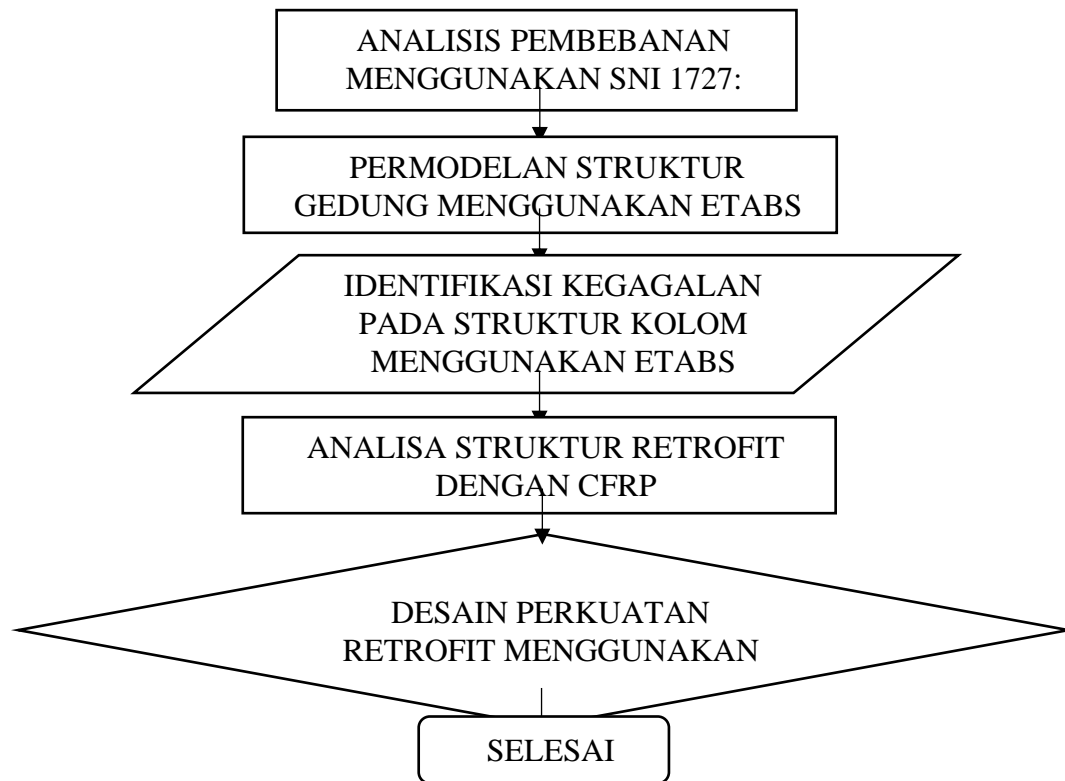
Baja (g/cm ³)	Kaca (GFRP) (g/cm ³)	Karbon (CFRP) (g/cm ³)	Aramid (AFRP) (g/cm ³)
7,9	1,2 s/d 2,1	1,5 s/d 1,6	1,2 s/d 1,5

Sumber: RSNi 3 Pedoman Perancangan Dan Pelaksanaan Sistem Serat Berperkat Polimer Terlekat Eksternal Untuk Beton.

3. METODOLOGI

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memodifikasi atau memperbaiki struktur yang sudah ataupun belum mengalami kerusakan, memperbaiki desain dan mengevaluasi pelaksanaan yang kurang dari ketetapan persyaratan. Dengan menggunakan data proyek yang berupa data teknis, data-data yang diperlukan untuk perhitungan dalam pembuatan tugas akhir, dan data dari hasil Loading Test untuk mendukung informasi bangunan yang ditinjau.





Gambar 3.1 Bagan Alir Desain Struktur

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Perencanaan Struktur

Dimensi Struktur (*Preliminary Design*)

1. Pelat

- Pelat 1 : 120 mm
- Pelat 2 : 100 mm

2. Balok

- Balok B1 : 500 x 250 mm
- Balok B2 : 300 x 200 mm
- Balok B3 : 250 x 150 mm

3. Kolom

- Kolom K1 : 300 x 300 mm
- Kolom K2 : 200 x 400 mm

Analisa Pembebanan

1. Beban Mati Berat Sendiri (DL)

- Berat Jenis Material Beton : 24 kN/m³
- Berat Jenis Baja Tulangan : 78,5 kN/m³

2. Beban Mati Tambahan (SIDL)

- Beban Pada Pelat Lantai

Tabel 4.1 Beban Mati Berat Sendiri (DL)

NO	Jenis Beban Mati	Berat jenis (kN/m ³)	Beban Merata (kN/m ²)
1	Finishing Lantai 0,05 m	110	1,1
2	Plafon	20	0,20
3	Mekanikal elektrikal	50	0,50
Total			1,80

- Beban Akibat Pasangan Dinding :0,1 kN/m

3. Beban Hidup (LL)

Tabel 4.2 Beban Hidup

No	Jenis Ruangan	Beban Merata (kN/m ²)
1	Lavatory	0,20
2	Hall	0,20
3	Ruang Rapat	0,20
4	Ruang Genset	0,20
5	Ruang panel	0,20

Penentu Sistem Penahan Seismik

Gedung yang direncanakan merupakan gedung perkantoran dimana termasuk dalam kategori risiko IV dengan faktor keutamaan gempa = 1,0. Parameter respons spektrum dan penentuan kategori desain seismik ditentukan sesuai dengan SNI 1726- 2019 dengan hasil Perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.3 Parameter Respon Spektra

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0,4027
S_s (g)	0,9289
S_1 (g)	0,4158
TL (detik)	6
S_{DS}	0,71
S_{D1}	0,65

Karena nilai $S_{DS} = 0,71$ dan $S_{D1} = 0,65$ maka diperoleh kategori desain seismik D (KDS D).

Tabel 4.4 Kategori Desain Seismik

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(sumber : Tabel 8 SNI 1726:2019)

Tabel 4.5 Kategori Desain Seismik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(sumber : Tabel 9 SNI 1726:2019)

Faktor R , Ω_0 , dan C_d Sistem Struktur

- Parameter Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Tabel 4.6 Parameter Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Parameter Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)		
Faktor koefisien modifikasi	R	8
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	3
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5

Pemeriksaan Jumlah Ragam

Mengacu pada SNI 1726-2019 dijelaskan bahwa analisis harus meliputi jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 100 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Dari hasil analisis struktur pada program software ETABS menunjukkan bahwa jumlah partisipasi massa ragam telah mencapai 100% pada mode ke 40.

Perhitungan Faktor Skala Gaya

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2. Gaya Geser Dasar, V_x dan V_y harus dihitung untuk arah X dan arah Y sesuai Pasal 7.8.1.1. Untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, faktor skala Gaya Geser Dasar ditentukan sebagai berikut:

Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala

W_t (berat total bangunan)		677,529	kN
V_x		547.2024	kN
V_y		749,338	kN
V_{IX}		422,2466	kN
V_{IY}		494,0263	kN
Cek arah X	$V_{IX} < V_x$	Gaya harus dikali skala faktor	
Cek arah Y	$V_{IY} < V_y$	Gaya harus dikali skala faktor	
Faktor skala arah X		1,2959	
Faktor skala arah Y		1,5168	

Simpangan Antar Lantai

Mengacu pada SNI 1726-2019, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Simpangan antar lantai didapat dari hasil analisis struktur pada program komputer.

Setelah didapat hasil simpangannya maka sesuai SNI 1726-2012 Pasal 7.12.1 bahwa simpangan antar lantai tingkat desain (Δ), tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin ($\Delta\alpha$) dimana didapat simpangan antar lantai izin sebesar 36,92 mm untuk tingkat 1-2, 35,38 mm untuk tingkat 3-5, dan 36,77 mm untuk Atap dak beton.

Tabel 4.8. Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
Lantai 4	4000	51.37	282.54	33.21	76.92	OK
Lantai 3	5000	45.33	249.33	78.56	96.15	OK
Lantai 2	5000	31.05	170.77	58.12	96.15	OK
Lantai 1	4000	10.57	58.12	58.12	76.92	OK

Tabel 4.9. Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
Lantai 4	4000	92.67	509.67	-115.60	59.243	OK
Lantai 3	5000	113.69	625.27	-228.83	31.27	OK
Lantai 2	5000	72.08	396.44	-265.42	18.757	OK
Lantai 1	4000	23.82	131.02	-265.42	5.111	OK

Cek Kestabilan Akibat Gempa dan Efektifitas Struktur

Tabel 4.10. Cek Kestabilan Gempa Arah X

Lantai	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_x (kN)	θ	θ_{max}	Cek
Lantai 4	4000	-33.21	879.70	114.27	-0.0116	0.0909	STABIL
Lantai 3	5000	78.56	3806.48	358.91	0.0303	0.0909	STABIL
Lantai 2	5000	58.12	6946.98	500.70	0.0293	0.0909	STABIL
Lantai 1	4000	58.12	10120.92	548.92	0.0487	0.0909	STABIL

Tabel 4.11. Cek Kestabilan Gempa Arah Y

Lantai	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_y (kN)	θ	θ_{max}	Cek
Lantai 4	4000	-115.60	879.70	182.25	-0.0254	0.0909	STABIL
Lantai 3	5000	-228.83	3806.48	478.98	-0.0661	0.0909	STABIL
Lantai 2	5000	-265.42	6946.98	674.80	-0.0994	0.0909	STABIL
Lantai 1	4000	-265.42	10120.92	750.92	-0.1626	0.0909	STABIL

Ketidakteraturan Struktur

Struktur harus dikategorikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan kriteria dalam pasal-pasal dalam SNI 1726 2019, yang meliputi ketidakteraturan struktur secara horizontal dan vertikal. Hal ini sesuai dengan Pasal 7.3.2 SNI 1726 2019 yang meliputi klasifikasi bangunan beraturan dan tidak beraturan.

Tabel 4.12. Rekapitulasi Cek Ketidakteraturan horizontal

No	Jenis ketidakteraturan	Keterangan
1	Ketidakteraturan torsi 1a dan 1b	Tidak Ada
2	Ketidakteraturan sudut dalam	Tidak Ada
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma	Tidak Ada
4	Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang	Tidak Ada
5	Ketidakteraturan sistem non paralel	Tidak Ada

Tabel 4.13. Rekapitulasi Cek Ketidakteraturan Vertikal

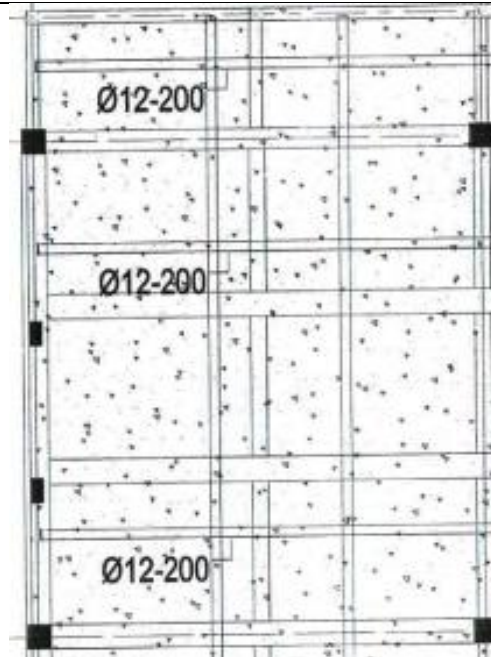
No	Jenis ketidakteraturan	Keterangan
1	Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak 1a dan 1b	Tidak Ada
2	Ketidakteraturan berat (Massa)	Tidak Ada
3	Ketidakteraturan geometri vertikal	Tidak Ada
4	Ketidakteraturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral	Tidak Ada
5	Ketidakteraturan sistem non paralel	Tidak Ada

Desain Penulangan Pelat

Pada program analisis struktur, pelat dimodelkan dengan bentuk shell dimana pelat dirancang menerima beban vertikal dan beban horizontal. Pelat lantai merupakan komponen struktur lentur. Pelat direncanakan sesuai dengan kebutuhannya pada tiap lantai 1-5 dengan ketebalan 13 mm dan untuk atap dengan ketebalan 12 mm .

Tabel 4.14. Rekapitulasi Penulangan Pada Pelat Lantai

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	5,5	6	X	D12-150	D12-200	D12-200	D12-200
			Y	D12-150	D12-200	D12-200	D12-200
S2	5,5	6	X	D12-150	D12-200	D12-200	D12-200
			Y	D12-150	D12-200	D12-200	D12-200



Gambar 4.1 Penulangan Pelat

Desain Penulangan Balok

Sistem penahan gaya gempa yang diijazahkan pada SNI 2847 2019 pasal 18.6.1.1, termasuk balok sistem rangka tahanan momen khusus (SRPMK) yang pada prinsipnya didesain untuk dapat menahan lentur geser dan memiliki batasan dimensi yang tercantum dalam pasal 18.6.2.1. Hasil perhitungan tulangan pada balok ditinjau dengan satu sempel balok dengan rincian sebagai berikut:

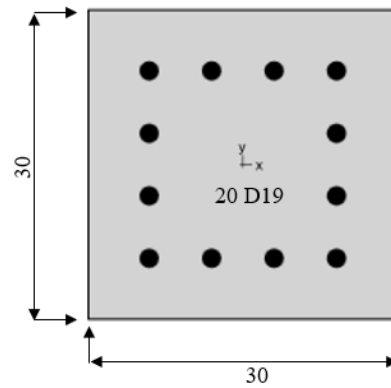
Tabel 4.15 Rekapitulasi Penulangan Pada Balok

Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
B1	25 × 50	Atas	9 D16	3 D16	8D10-150	8D10-200
		Bawah	3 D16	9 D16		

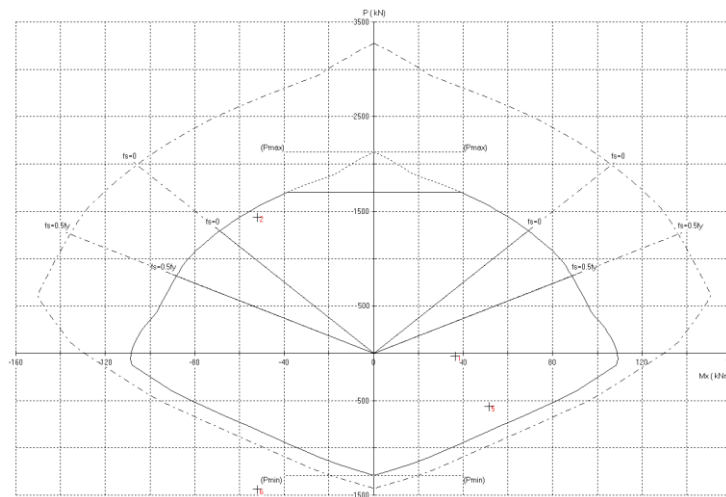
Desain Penulangan Kolom

Sistem penahan gaya gempa yang dijelaskan pada SNI 2847 2019, meliputi kolom dengan sistem rangka pemikul momen Khusus (SRPMK) yang terutama dibuat untuk menangani gaya lentur, geser, dan aksial. Hasil perhitungan tulangan pada kolom ditinjau dengan satu sempel kolom dengan rincian sebagai berikut:

Luas tulangan longitudinal tidak diizinkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$ sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.



Gambar 4.2. Tulangan Longitudinal Kolom K1



Gambar 4.3. Diagram Interaksi P_n-M_{pr} SPColumn Kolom K1

Tabel 4. 16. Hasil Analisis Interaksi P_n-M_{pr} Kolom K1

No	P_u (kN)	M_{ux} (kN m)	ϕM_{nx} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	-1437.2	-52	-22.83	0.439	32	241	0.01961	0.9

Tabel 4.17. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	300 × 300	20 D19	8 D19-150	8 D19-150

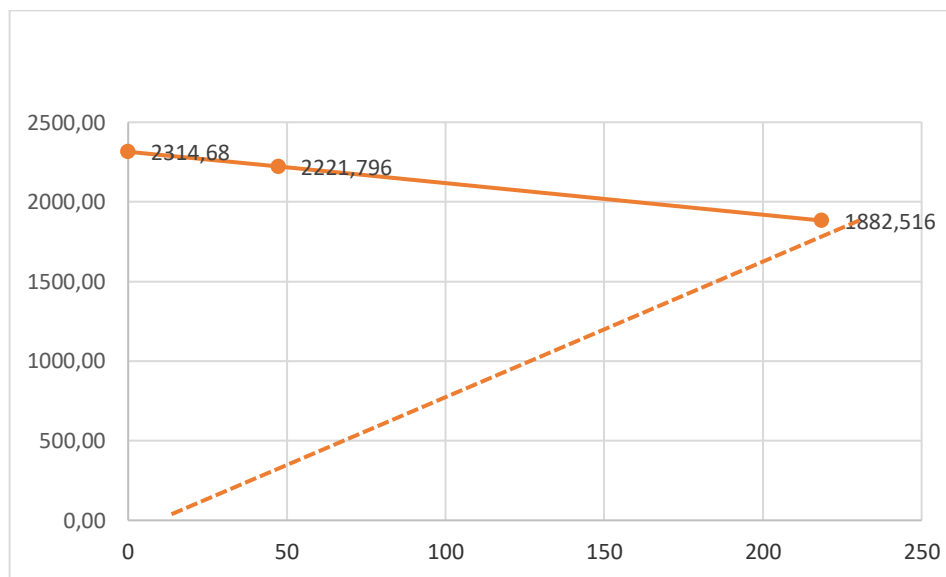
Perkuatan CFRP

Hasil dari output yang telah didapatkan secara otomatis dari software ETABS V.18 dapat diketahui gaya-gaya yang bekerja pada setiap struktur kolom dan balok. Namun untuk mengetahui kolom dan balok yang kita desain tersebut aman atau tidak perlu dihitung tiap batang apakah struktur yang dibuat aman ketika menerima beban. Karena *frame* atau batang terlalu banyak dan membutuhkan waktu untuk memperhitungkannya maka perlu analisis kembali menggunakan *software* ETABS V.18

Perkuatan CFRP Pada Kolom

Tabel 4.18. Detail CFRP

Kekuatan Tegangan Tarik Ultimit Terjamin (f_{tu})	3792 MPa
Modulus Elastisitas (E)	227527 MPa
Regangan (ASTM D3039) (ϵ)	0,0167 mm/mm
Kekuatan Lentur (ASTM D7264)	1000 MPa
Kekuatan Geser (ASTM D2344)	80 MPa
Daya Lekat Beton Dengan FRP	$\geq 2,5$,kohesi dengan beton
Massa Jenis	1,8 g/cm ³
Tebal CFRP (t_f)	0,333 mm
Jumlah Lapis FRP nf	2



Gambar 4.4. Diagram Kapasitas Nominal Aksial Dan Lentur

Perkuatan Pada Balok Menggunakan CFRP

Tabel 4.19. Dimensi Dan Material Data

h (mm)	500
b (mm)	250
Ln (mm)	5,700
dp (mm)	452
f'c (Mpa)	25
n	3
n'	3
Ø (mm)	16
Ø' (mm)	10

fy (Mpa)	420
Es (Mpa)	200,000
Ketebalan per lapis tf (mm)	0.33
Jumlah Lapisan nf	2
Lebar Lapisan (mm)	250
Ef (N/mm ²)	227527
ffu (N/mm ²)	3792
ffe (N/mm ²)	1137.6
Rupture Strain ϵ_{fu} mm/mm	0.0159

KESIMPULAN

Berdasarkan proses pengerjaan yang dialami penulis pada saat melakukan analisis desain ini, ada beberapa saran agar pengembangan dalam laporan Tugas Akhir Desain Perkuatan Struktur Menggunakan CFRP yaitu :

- Peraturan – peraturan yang dipakai pada analisis perkuatan ini mengacu pada RSNI 3 “Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Sistem Serat Berperekat Polimer Terlekat Eksternal Untuk Struktur Beton”. Oleh karena itu, diharapkan dapat menggunakan acuan perhitungan yang *up to date*.
- Dalam pendesainan dengan menggunakan *software* ETABS perlu dilakukan secara teliti agar hasil yang didapat sesuai.
- Alangkah baiknya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis lebih banyak belajar tentang sistem perkuatan untuk struktur beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmadja, H. S., & Maulana, S. A. (2017). Redesign Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro Kota Semarang. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Budiono, Bambang dkk. (2017). Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa. Bandung: ITB Press.
- Fadli, M. H. (2015). Aplikasi ETABS pada Perancangan Gedung 15 Lantai dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda (Dual System) Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai Standard Code SNI 1726:2012. Jakarta, Indonesia.
- Musthofa, E., & Fasikhullisan. (2019). Perencanaan Gedung Enam Tingkat Rumah Sakit Royal Biringkanaya di Makasar Berdasarkan SNI 1726-2012. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Nasional, B. S. (2019). SNI 1726-2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 693.

Nasional, B. S. (2019). SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 694.

Nasional, B. S. (2020). SNI 1727-2020 : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 235.

PU, Puskim. (2021). Desain Spektra Indonesia. <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>.

Putra, Rozy B. A. & Budiyanto, S. (2022). Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang). (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).

Reza, Alif Muhammad. (2021, 13 Januari). Penulangan Balok. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/iWj6L-jefoU>.

Reza, Alif Muhammad. (2021, 27 Januari). Penulangan Dinding Geser. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/OvmMcXg0hVU>.

Reza, Alif Muhammad. (2022, 1 September). Desain Penulangan Lentur Pelat. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/q7AhrEsfZOE>.

Setiawan, Agus. (2020, 16 Juli). Desain Kolom SRPMK #1 Sesuai SNI Beton Terbaru. Agus Setiawan, https://youtu.be/Uyu_sS2Ixpw.

Setiawan, Agus. (2020, 29 Juli). Bagaimana Cara Mendesain Kolom SRPMK ? #2 Contoh Soal. Agus Setiawan, <https://youtu.be/GEF6-xvf3Ks>.

Sofian, A., & Arrosyid, A. (2019). Analisis Perbandingan Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Khusus pada Desain Struktur Gedung Asrama Mahasiswa Unimus di Semarang. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).

Menna et al. 2013. Assessment of Ecological Sustainability of a Building

Subjected to Potential Seismic Events During Lifetime. The International Journal of Life Cycle Assessment, V.18. No.2, pp. 504-515, doi: 10.1007/s11367-012-0477-9

Babay, N.I et al. 2012. Studi Perkuatan Kolom Bulat Beton Bertulang Dengan Menggunakan GFRP Sheet 2 Lapis. Makasar : Fakultas Teknik Universitas Hasanudin.

RSNI 3 Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Sistem Serat Berperekat Polimer Terlekat Eksternal Untuk Struktur Beton

Gilbert, R.I. dan Mickleborough, N.C,1990. Design of Prestressed Concrete.

Sydney : Unwin Hyman, Ltd

Kumahara et al. 1993. Tensile Strength of Continuous Fiber Bar Under High Temperature. International Symposium on Fiber- Reinforced Plastic Reinforcement for Concrete Structures, SP-138, A.Nanni and C, W.Dolan, eds , American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp. 731-742 .

D., Agung, I. S., Arifudzaky, S., & Andhika, T. (2020). Tugas Akhir Desain Perkuatan Struktur Menggunakan Cfrp (Carbon Fiber Reinforced Polymer)

Putri, A.P dk., (2022). Comparative Study Of Changes in SNI 1727 (2013-2020) and SNI 1726 (2012 – 2019). JACEE (Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering), 5(2), 74-83.

Darmayadi, D. & Ahyar, M. R. (2018). Element Modeling of Masonry Wall With Opening Under Lateral Force. JACEE (Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering), 1(2), 71-74.