

STUDI PERENCANAAN ULANG STRUKTUR KOLOM GEDUNG LABORATORIUM TERPADU AKN “PUTRA SANG FAJAR” BERBASIS GFRP SEBAGAI SUBSTITUSI TULANGAN KONVENSIONAL

Muhammad Ega Fatria. AF¹, Sugeng Riyanto², Bobby Asukmajaya R³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹,

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: fatriaaf1@gmail.com¹ sugengriyanto@gmail.com² bobbyasukma@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar, terletak di Kota Blitar, Jawa Timur, memiliki potensi gempa yang cukup tinggi. Perlu adanya desain struktur yang kuat khususnya pada kolom untuk mencegah kerusakan akibat gempa. Kolom merupakan elemen struktural utama yang menopang beban vertikal bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penggunaan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) sebagai alternatif tulangan konvensional untuk memperkuat dan meningkatkan kinerja struktur kolom gedung. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan GFRP terhadap kekuatan struktur. Metodologi penelitian melibatkan perbandingan antara perencanaan konvensional dan penerapan GFRP pada struktur kolom. Langkah-langkah perencanaan mencakup analisis beban struktural, pemodelan menggunakan aplikasi, evaluasi keandalan struktur dalam situasi gempa dengan memperhatikan aspek keamanan dan kinerja structural, serta analisis biaya penggunaan GFRP. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan GFRP sebagai pengganti tulangan konvensional dapat secara signifikan meningkatkan kapasitas beban dan kekuatan struktur kolom dan memiliki harga biaya sebesar pada kolom K1 : Rp 117.223.672,86 dan Pekerjaan Kolom K2 : Rp 204.239.013,09. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah alternatif yang efektif dalam memperkuat struktur kolom gedung laboratorium. Meskipun biayanya lebih tinggi daripada tulangan baja, penggunaan GFRP dapat membuka potensi inovasi dalam desain struktur bangunan masa depan. Ini adalah langkah positif menuju peningkatan keandalan dan kinerja struktural bangunan di daerah dengan potensi gempa seperti Kota Blitar, Jawa Timur.

Kata kunci : Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), struktur kolom, perencanaan ulang

ABSTRACT

Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar, located in the city of Blitar, East Java, has a relatively high earthquake potential. There is a need for a strong structural design, especially for columns, to prevent damage due to earthquakes. Columns are the main structural elements that support the vertical loads of a building. This research aims to explore the use of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) as an alternative to conventional reinforcement to strengthen and improve the performance of building column structures. Additionally, this study aims to evaluate the impact of using GFRP on structural reinforcement. The research methodology involves a comparison between conventional design and the application of GFRP in column structures. Planning steps include structural load analysis, modeling using applications, evaluating the reliability of the structure in earthquake situations while considering safety and structural performance aspects, and analyzing the cost of using GFRP. The analysis results indicate that the use of GFRP as a substitute for conventional reinforcement can significantly increase the load-bearing capacity and strength of column structures and has a cost price for column K1: Rp 117,223,672.86 and Column K2: Rp 204,239,013.09. The conclusion of this research is that the use of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) is an effective alternative for strengthening laboratory building column structures. Although it comes at a higher cost than steel reinforcement, the use of GFRP can unlock innovation potential in the design of future building structures. This is a positive step towards improving the reliability and structural performance of buildings in earthquake-prone areas like Blitar City, East Java."

Keywords : Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), Structure Column, Redesign

1. PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Gedung laboratorium terpadu di Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar merupakan fasilitas penting untuk pengembangan pendidikan dan riset. Namun, tantangan

terkait kinerja struktural dan ketahanan gempa menjadi aspek kritis dalam perencanaan gedung. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk memperbaiki kinerja struktur kolom melalui penerapan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) sebagai pengganti tulangan konvensional

b. Studi Terdahulu

1. ACI 440.1R-15.

Pengaplikasian batang GFRP dapat ditemukan pada berbagai konstruksi bangunan. Pada tahun 2001 negara yang telah mengaplikasikan batang GFRP sebagai tata cara untuk proses desain dan konstruksi beton struktural yakni Jepang (Japan Society of Civil Engineering 1997b) Canada (CAN/CSA-S6-06, CAN/ CSAS806-12), dan Europe (fib 2007,2010) juga telah membuat tata caras serupa. Sejarah menunjukkan pada benua asia pertengahan tahun 1990, Jepang telah menggunakan metode GFRP sebagai pengaplikasi batang polimer pada konstruksi dan menjadi negara yang paling sering hingga lebih dari 100 konstruksi bangunan. Tahun 2000 China menjadi negara terbesar dalam konstruksi bangunan menggunakan batang komposit polimer pada jembatan dan dermaga. Penggunaan GFRP pada benua Eropa pertama kali pada negara Jerman yaitu jembatan jalan raya menggunakan konstruksi GFRP prategang. Sehingga sejak konstruksi yang dilakukan di Jerman banyak negara Eropa mengikutinya. Sedangkan benua Amerika, Teknik Sipil Canada mengembangkan GFRP pada jalan raya jembatan berdasarkan Canadian Highway Bridge Design Code (CAN/CSA-S6-06), Jembatan Floodway di daerah Red River, Winnipeg, MB, Canada pada tahun 2006. Hal ini banyak pengaplikasi batang GFRP pada konstruksi jembatan.

2. Pramadistya Rifiansyah W (2022)

Desain bangunan gedung 8 lantai memiliki kondisi dimana pada batas kekuatan dengan dimensi penampang elemen struktur yang sama dapat disimpulkan memiliki kekuatan lentur nominal memiliki nilai 2 kali lebih besar daripada kekuatan lentur nominal tulangan baja namun memiliki batas layan hampir 1/3 dari tulangan baja konvensional hal ini dipengaruhi pada momen inersia penampang kondisi retak.

2. Firmansyah Farhan M, (2022)

Hasil respon evaluasi yang dinamis gempa pada struktur lantai 8 dengan menggunakan SNI 1726:2019 disebutkan masih aman, dengan maksimal penambahan lantai adalah 2 lantai mengingat pada koefisien kestabilan struktur mendekati Θ_{max} jika ditambahkan lebih dari 2 lantai dapat menyebabkan keruntuhan dan berpotensi tidak stabil. Berdasarkan SNI 2847:2019, dinding geser pada pengujian tersebut mampu menahan beban gaya yang bekerja akibat penambahan 2 lantai.

c. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Merencanakan dan menganalisa hasil perhitungan kolom.

2. Menganalisa kekuatan dan ketahanan kolom menggunakan GFRP yang dengan menggunakan aplikasi.
3. Mengetahui hasil dari pendesainan kolom menggunakan GFRP apakah layak digunakan sebagai substitusi atau tidak.
4. Mengetahui perbandingan dari hasil perhitungan kolom dengan tulangan konvensional dan GFRP
5. Mengetahui harga satuan tulangan baja dan GFRP dan perbandingan tulangan baja dengan GFEP

2. METODE

a. Metode Pengambilan Data

Metode yang dilakukan untuk mendapatkan data perencanaan struktur gedung, yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi gedung AKN yang berada di JL. Soetomo No. 29 Kota Blitar, Jawa Timur
2. Mengetahui spesifikasi gedung berupa luas gedung 1134 m² dengan 3 lantai dan 1 atap masing – masing tinggi 4 m dan fungsi bangunan berupa sarana pendidikan
3. Mengetahui luas kolom berdasarkan kondisi lapangan dengan diameter tulangan D19 dan D16

b. Tahapan Perencanaan

Langkah – langkah dalam perencanaan struktur gedung Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar adalah sebagai berikut:

1. Pedoman dan acuan dalam perencanaan
 - SNI : 1726 : 2019 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Beton Bertulang.
 - SNI : 2847 : 2019 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
 - SNI : 1727 : 2020 tentang Perhitungan Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain
 - SNI : 8970 : 2021 tentang Panduan Perencanaan dan Pelaksanaan Beton Struktural Bertulang Batang Serat Polimer
2. Menganalisis *preliminary design* dan membuat permodelan struktur dalam *Robot Structural Analysis Professional*
3. Menganalisis pembebanan struktur pada kolom
4. Menganalisis gaya dalam pada kolom
5. Membandingkan kolom dengan tulangan baja, tulangan GFRP, dan tulangan kombinasi baja – GFRP

3. Studi Pustaka

1. Preliminary Design Balok

Berdasarkan SNI: 2847:2019, pasal 9.3.1.1. balok nonprategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan besar, ketebalan keseluruhan pelat (h) tidak boleh kurang dari batas minimum, kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan terpenuhi.

Tabel 1. Tinggi Minimum Balok

Kondisi Perlekatan	Minimum h
Perlekatan sederhana	$\ell/16$
Menurus satu sisi	$\ell/18,5$
Menurus dua sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

Sumber : SNI : 2847 : 2019 Pasal 9.3.1.1

2. Preliminary Design Plat

Pada Preliminary Design elemen struktur plat komponen struktur yang mengalami lentur harus direncanakan agar membatasi defleksi atau deformasi layan struktur pada beban kerja. Dengan SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1 dan tabel 8.3.1.2 merupakan persyaratan tebal plat lantai pada dibawah ini:

1. Untuk $\alpha t_m < 0,2$; menggunakan pasal 8.3.1.1
2. Untuk $0,2 < \alpha t_m < 2$; menggunakan rumus dibawah ini

$$h = h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha f_m - 0,2)}$$

dan tidak boleh < 125 mm

3. Untuk $\alpha t_m < 2$; menggunakan rumus dibawah ini

$$h = h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh < 90 mm

Dengan :

L_n = Panjang bentang bersih dalam arah memanjang (mm)

β = Rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek

αt_m = Nilai rata – rata αf untuk semua balok pada tepi plat

αf = Rasio kekuatan lentur penampang balok ($E_c b I_b$) terhadap kekauan lentur plat ($E_c s I_s$), yang dibatasi secara lateral oleh garis sumbu tengah dari plat yang bersebelahan pada tiap sisi balok dengan rumus dibawah ini.

$$\alpha f = \frac{E_c b I_b}{E_c s I_s} = \frac{I_b}{I_s}$$

I_b = Momen inersia bruto pada balok

I_s = Momen inersia bruto pada plat

3. Preliminary Design Kolom

Berdasarkan SNI: 2847:2019 pasal 18.7.2. Tentang batasan dimensi harus sesuai dengan pasal 18.7.2.1. Dimensi kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

- a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri tidak kurang dari 300 mm
- b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4 mm

Untuk gaya aksial kolom agar sesuai persyaratan selain dari persyaratan SNI: 2847:2019 pasal 18.7.5.6. tentang gaya aksial kolom harus memenuhi rumus dibawah ini:

- a. Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10}$$

dengan :

A_g : Luas penampang kolom

f_c' : Kuat tekan beton

- b. Tulangan Longitudinal sesuai pasal 18.7.4.1 disebutkan luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 0,01 A_g dan tidak boleh lebih dari 0,06 A_g

Kolom

Kolom merupakan suatu elemen struktur yang vertikal berfungsi meneruskan beban aksial dan diteruskan ke pondasi. Kolom memegang peran penting dalam elemen struktur tekan dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom dapat menyebabkan keruntuhan pada lantai bangunan

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_{gt}}$$

Perencanaan Kolom

Disebutkan pada SNI: 2847:2019, kolom adalah komponen vertikal yang digunakan untuk memikul beban tekan aksial, namun dapat memikul beban momen, geser, atau torsi. Pendekatan pada dimensi kolom dapat diketahui melalui rumus dibawah ini.

$$A_g \geq \frac{P_u}{\phi f_c'}$$

Berdasarkan SNI: 2847:2019 terdapat pasal 18.7.2. Tentang batasan dimensi harus sesuai dengan pasal 18.7.2.1, pasal 18.7.3.2.

- a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri tidak kurang dari 300 mm
- b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4 mm

SNI: 2847:2019 pasal 18.7.3.2 tentang kekuatan lentur kolom harus memenuhi rumus dibawah ini:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Pasal 18.7.4. sebagai persyaratan tentang tulangan longitudinal yang disebutkan dibawah ini.

- Pasal 18.7.4.1. luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ dan tidak boleh lebih dari $0,06 A_g$.
- Pasal 18.7.4.2. Pada kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang longitudinal minimum harus 6.
- Pasal 18.7.4.3. Pada sambungan mekanis harus memenuhi 18.2.7. dan sambungan las 18.2.8. sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal yang memenuhi pasal 18.7.5.2. dan pasal 18.7.5.3

Kolom dengan Beban Aksial

Kapasitas beban nominal P_0 dapat dirumuskan dalam persamaan:

$$P_0 = 0,85 f'_c (A_g + A_{st}) + A_{st} f_y$$

Analisa Strong Column and Weak Beam

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$M_{nb} = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Analisa kolom lentur 2 arah

Pada tahap ini menganalisa kolom dengan dua arah momen yang bekerja yaitu pada arah X dan arah Y dengan langkah berikut

Kondisi Aksial

Kondisi aksial terbagi menjadi 2 kondisi yakni kondisi aksial tekan murni dan kondisi tarik murni dengan rumus

- Kondisi Aksial Tekan Murni ($M_n = 0$)

$$P_0 : 0,85 \times (f_c \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times f_y$$

$$P_n > A_g \cdot f_c' / 10$$

$$P_n : 0,8 \times P_0$$

$$P_n : A_{st} \times f_y$$

- Kondisi Aksial Tarik Murni ($M_n = 0$)

$$P_n: A_{st} \times f_y$$

$$\phi P_n : 0,9 P_n$$

- Kondisi Seimbang

Kehancuran tarik : Kondisi ini terjadi apabila $c < c_b$

$$C_b : \frac{600 \cdot d}{600 + f_y}$$

$$a_b : \beta_1 \times C_b$$

$$f_s' : \frac{600 \cdot C_b}{600 - d'}$$

Kehancuran tarik : Kondisi ini terjadi apabila $c > c_b$

- Analisa Gaya pada Kolom

Analisa pada gaya digunakan untuk menentukan kapasitas kolom dengan rumus dibawah ini :

$$\sum H = 0 \Rightarrow P_b = C_c + C_s - T_s$$

- Gaya Tekan Beton (C_c)

$$C_c = 0,85 \times f_c \times a_b \times b$$

Gaya Tekan Baja (C_s)

- $C_s = A_s' (f_s' - 0,85 \times f_c')$

Gaya Tarik Baja (T_s)

- $T_s = A_s' \times f_y$

Kapasitas Kolom (P_b)

- $P_b = C_c + C_s - T_s$

Momen kolom terhadap analisa gaya

- $M_b = C_s (h/2 - d') + C_c (h/2 - a/2) + T (h/2 - d')$

Eksentrisitas terhadap gaya kolom

- $e_b = M_b / P_b$

Metode Bresler

Rumus Perhitungan :

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_0}$$

Syarat Tulangan Transversal / Sengkang

$$(a) : 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

$$(b) : 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

$$X_i = (h - 2 \cdot (p + d_s + d_b / 2)) / 8$$

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) merupakan material komposit yang terdiri dari matriks polimer biasanya berupa resin dan serat kaca yang memiliki fungsi dari kedua matriks polimer tersebut. Resin berfungsi sebagai ketahanan lingkungan terhadap zat kimia sedangkan serat kaca berguna sebagai ketahanan struktur.

Tabel 2. Data Material Tulangan Longitudinal GFRP

Properti	Satuan	D10	D13	D15	D20	D22	D25
Diameter	mm	10	13	15	20	22	25
Kuat Tarik Ultimit	Mpa	1200	1175	1150	1150	1100	1000
Modulus Elastisitas	Gpa	63,7	61,1	62,6	62,7	61,2	61,7
Regangan Ultimit	%	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9	1,9

Sumber : www.tuf-bar.com

Tabel 3. Data Material Tulangan Geser GFRP

Properti	Satuan	D10	D13	D15	D20	D22	D25
Diameter	mm	10	13	15	20	22	25
Kuat Tarik Ultimit	MPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Modulus Elastisitas	GPa	50	50	50	50	50	50

Sumber : www.tuf-bar.com

4. Hasil Perhitungan

A. Preliminary Design Balok

Tabel 4. Data Material Tulangan Geser GFRP

NO	Balok	Ukuran (mm)
1	Balok Induk B1	700 x 500
2	Balok Induk B2	400 x 300
3	Balok Induk B3	300 x 200
4	Balok Anak B4	250 x 200
5	Balok Anak B5	200 x 150

Sumber : Hasil Perhitungan

B. Preliminary Design Kolom

- Luas Penampang Minimal

Total Pu

$$1,2(104512) + 1,6(12048,75) = 131425,2$$

$$Ag \text{ min} = \frac{131425,2}{0,65 \cdot 300} = 673,9753846 \text{ cm}^2$$

$$\sqrt{673,9753846} = 25,96103589 \text{ cm}$$

- Dimensi Kolom

$$b = 0,50 \text{ m} = 550 \text{ mm}$$

$$h = 0,50 \text{ m} = 550 \text{ mm}$$

$$Ag = 0,25 \text{ m}^2$$

Sehingga dapat disimpulkan kolom K1 ukuran 500 x 500 mm

- Luas Penampang Minimal

Total Pu

$$1,2(79168) + 1,6(12048,75) = 101012,4$$

$$Ag \text{ min} = \frac{101012,4}{0,65 \cdot 300} = 518,0123077 \text{ cm}^2$$

$$\sqrt{518,0123077} = 22,75988374 \text{ cm}$$

- Dimensi Kolom

$$b = 0,40 \text{ m} = 400 \text{ mm}$$

$$h = 0,40 \text{ m} = 400 \text{ mm}$$

$$Ag = 0,16 \text{ m}^2$$

Sehingga dapat disimpulkan kolom K2 ukuran 400 x 400 mm

C. Preliminary Design Plat

- β pada Kolom K1

$$h = \frac{5500(0,8 + \frac{400}{1400})}{36 + 9(1,72)} = 101,333 \text{ mm} > 90$$

- β pada Kolom K2

$$h = \frac{5500(0,8 + \frac{400}{1400})}{36 + 9(1,69)} = 103,892 \text{ mm} > 90$$

D. Kolom

- Mnb- dan Mn+

$$\sum \text{Mnb} = (\text{Mnb-}) + (\text{Mnb+})$$

$$= 327,51 + 209,62$$

$$= 537,13 \text{ kNm}$$

$$1,2 \times \sum \text{Mnb} = 1,2 \times 537,13$$

$$= 644,556 \text{ kNm}$$

- Momen Kapasitas Balok

Tabel 5. Momen Kapasitas Balok

Jenis Kolom	Balok Join Atas			
	a	Mn (-) kN.m	a	Mn (+) kN.m
K1 550/550	133,18	32751,69	106,54	20961,08
K2 400/400	3138,63	3138,63	75,67	257,06

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. (Lanjutan) Momen Kapasitas Balok

Jenis Kolom	Balok Join Bawah			
	a	Mn (-) kN.m	a	Mn (+) kN.m
K1 550/550	133,18	32751,69	106,54	20961,08
K2 400/400	3138,63	3138,63	75,67	257,06

Sumber : Hasil Perhitungan

- Momen Kapasitas Kolom

Tabel 6. Momen Kapasitas Kolom

Jenis Kolom	Join Atas			
	Atas		Bawah	
	Pn kN	Mn kN.m	Pn kN	Mn kN.m
K1 550/550	43,83	348,7558689	265,98	479,7665624
K2 400/400	63,39	193,2397842	264,74	210,2018969

Jenis Kolom	Join Bawah			
	Atas		Bawah	
	Pn kN	Mn kN.m	Pn kN	Mn kN.m
K1 550/550	603,9	546,0639383	1129,5	557,07
K2 400/400	595,61	231,9700762	1121,09	190,6842547

Sumber : Hasil Perhitungan

K2 Baja	1286,80	1158,1167
K1 GFRP	2268,229896	2041,4069
K2 GFRP	1286,796351	1158,1167
K1 Kombinasi	7286,688541	6558,0197
K2 Kombinasi	2583,645798	2325,2812

Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

• Strong Column and Weak Beam

a. Kontrol Join Atas

$$Mnc\ a + Mnc\ b \geq 1,2\ (2.Mn(-) + 2.Mn(+))$$

$$1159,673585 \geq 128910,6514$$

b. Kontrol Join Bawah

$$Mnc\ a + Mnc\ b \geq 1,2\ (2.Mn(-) + 2.Mn(+))$$

$$1248,83 \geq 128910,6514$$

• Momen Kapasitas Tulangan (fy baja – GFRP)

Tabel 7. Rekap Momen Kapasitas Penampang

Kolom	Ast.fy (kN)		Total
	GFRP	Baja	
atas			K1
K1	3E+06	907292	7286,6885
K2	924885	321699	
bawah			K2
K1	652116	907292	2583,6458
K2	231221	321699	
kanan			K2
K1	652116	453646	2583,6458
K2	231221	160850	
Kiri			K2
K1	652116	453646	2583,6458
K2	231221	160850	

Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

• Analisa Kolom Lentur 2 arah

Tabel 8. Rekap Tekan Murni

Jenis Kolom	Pn (kN)	$0,1*fc*b*h$	$Pn > 0,1*fc*b*h$
K1 Baja	5968,18	625	OK
K2 Baja	3694,75	400	OK
K1 GFRP	5968,184146	625	OK
K2 GFRP	3694,748236	400	OK
K1 Kombinasi	30065,79719	625	OK
K2 Kombinasi	6914,037736	400	OK

Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

Tabel 9. Rekap Tarik Murni

Jenis Kolom	Pn (kN)	$\phi\ Pn$
K1 Baja	2268,23	2041,4069

Tabel 10. Rekap Kondisi Seimbang

Jenis Kolom	d	d'	Cb	ab	fs'
K1 Baja	437,5	62,5	262,5	223,125	457,143
K2 Baja	342	58	205,2	174,42	430,409
K1 GFRP	437,5	62,5	150	127,5	350,000
K2 GFRP	342	58	117,25	99,6625	303,198
K1 Kombinasi	437,5	62,5	150	127,5	350,000
K2 Kombinasi	342	58	117,25	99,6625	303,198

Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

Tabel 11. Rekap Kontrol Hancur Arah X

Jenis Kolom	Pnx (N)	Mnx (N.mm)
K1 Baja	1988297,30	830856,41
K2 Baja	933982276,96	396163813,06
K1 GFRP	3866,69	1456,88
K2 GFRP	2522,79	1202,90
K1 Kombinasi	2837267,79	1069016026
K2 Kombinasi	1221123,60	397415207,9

Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

Tabel 12. Rekap Kontrol Hancur Arah Y

Jenis Kolom	Pny (N)	Mny (N.mm)
K1 Baja	2225958,33	942172182,15
K2 Baja	902174,44	387610273,90
K1 GFRP	3144351,71	1330896750,28
K2 GFRP	1319046,63	566715261,69
K1 Kombinasi	3066077,34	1155226107
K2 Kombinasi	1237383,59	402707031,1

Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

• Biaxial Bending

Tabel 13. Rekap Biaxial Bending

Jenis Kolom	$1/Pn$	$\phi Pn\ (0,65)$	$R = Pu/\phi Pn$
K1 Baja	1447045,299	940579,4445	1,131632215
K2 Baja	406995,5891	264547,1329	0,004329096
K1 GFRP	1891733,226	1229626,597	0,865620508
K2 GFRP	1015051,785	659783,6604	0,001735796
K1 Kombinasi	1299330,149	844,5645966	1,260282522

K2 Kombinasi 1047894,717 681,1315662 1,681393224
 Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

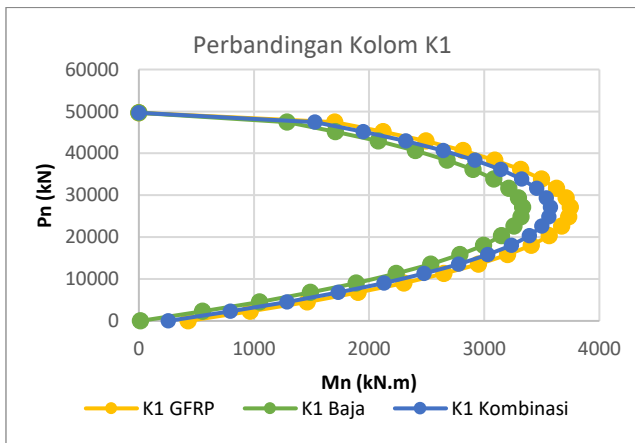
E. Analisa Perbandingan

Tabel 14. Rekap Persentase Kenaikan Kolom

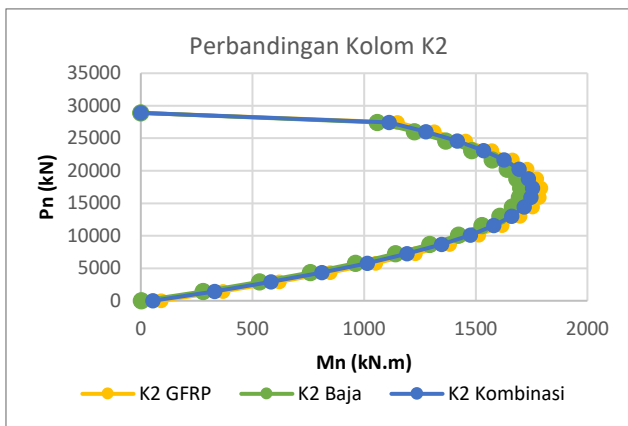
	Presentase	Pnx	Pny	Mnx	Mny
K1	Baja	20%	22%	9%	9%
	GFRP	28%	31%	13%	13%
	Baja - GFRP	24%	31%	11%	12%
K2	Baja	8%	9%	9%	4%
	GFRP	28%	31%	6%	6%
	Baja - GFRP	18%	20%	4%	4%

Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

F. Diagram Interaksi



Gambar 1. Perbandingan P – M Kolom K1



Gambar 2. Perbandingan P – M Kolom K2

G. Rencana Anggaran Biaya

- Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)
 - Total Pembesian Tulangan Baja : Rp14.270,00 per meter
 - Total Pembesian Tulangan GFRP : Rp30.270,00 per meter

- Total Pembesian Tulangan Baja – GFRP : Rp44.270,00 per meter
- Total Harga Peralatan : Rp10.002,44 per jam
- Harga Satuan Pekerjaan : Rp108.693,68
- Rekap Rencana Anggaran Biaya
 - Pekerjaan Kolom K1 : Rp 117.223.672,86
 - Pekerjaan Kolom K2 : Rp 204.239.013,09
 - Total Pekerjaan (+ 10%) : Rp353.608.000,00

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari ketiga hasil perencanaan kolom berdasarkan tulangan baja dan GFRP :

1. Pada preliminary design hasil perhitungan didapat :
 - a. Balok :
 - Balok Induk B1 : 700 x 500
 - Balok Induk B2 : 400 x 300
 - Balok Induk B3 : 300 x 200
 - Balok Anak B4 : 250 x 200
 - Balok Anak B5 : 200 x 150
 - b. Pelat
 - Hasil perhitungan nilai pelat didapat 150 mm
 - c. Kolom
 - Berdasarkan desain yang diakibatkan pada pembebanan (beban mati dan beban hidup). Pada kolom interior (K1) dengan ukuran 550/550 mm dan kolom eksterior (K2) dengan ukuran 400/400 mm
2. Pada analisa kolom K1 berdasarkan perhitungan analisa lentur 2 arah menggunakan persamaan ke 3 mendapatkan nilai pada tabel rekap dibawah ini :

Tabel 15. Rekap nilai Pn dan Mn

Jenis Tulangan	Pn (kN)		Mn (kN.m)	
	Pnx	Pny	Mnx	Mny
K1 Baja	1988,30	2225,96	933,98	942,17
K1GFRP	2837,27	3144,35	1332,78	1330,90
K1 Baja - GFRP	2412,78	3066,08	1069,02	1155,23
K2 Baja	830,86	902,17	933,98	387,61
K2 GFRP	2837,27	3144,35	582,25	566,72
K2 Baja - GFRP	1834,06	2023,26	397,42	402,71

Sumber : Hasil Perhitungan MC Excel

3. Pada analisa lentur 2 arah (Biaxial Bending) didapat bahwasannya kolom dengan tulangan GFRP. kolom dengan 100% GFRP memiliki nilai yang lebih besar dari kolom dengan tulangan baja dan kolom kombinasi tulangan baja - tulangan GFRP memiliki nilai gaya aksial diantara kolom tulangan GFRP dan kolom tulangan baja (konvensional).
4. Perbandingan kolom berdasarkan persentase pada gaya aksial arah X dan Y cukup beragam dari kenaikan, namun dari hasil yang didapat dengan tulangan GFRP mampu memberikan nilai persentase 10 – 20 % lebih besar

5. Dari hasil analisa RAB menunjukkan bahwa harga tulangan GFRP lebih mahal daripada harga tulangan baja yang disebabkan harga tulangan GFRP banyak prosedur dan tahap pembuatannya dibandingkan dengan tulangan baja sehingga penggunaan tulangan GFRP kurang efektif dibandingkan dengan tulangan baja maupun penggunaan tulangan kombinasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jain Ravi, Luke Lee. *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Composite for Infrastructure Application*. Stockton. USA.
- [2] ACI 440.1R-15. *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Bars*. American Concrete Institute. USA.
- [3] Nanni A. 2014. *A Reinforced Concrete with GFRP Bars Mechanic and Design*. CRC Press Taylor and Francis Group. New York. USA.
- [4] Rifliansyah, Wildan Pramadistya. Tavo, Data iranata. 2022. Jurnal Teknik ITS. Studi Penggunaan Tulangan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Sebagai Subtitusi Tulangan Baja Konvensional pada Model Bangunan Gedung Lantai 8. Vol. 11. No. 2.
- [5] Firmansyah, Muhammad Farhan. Tavo. Harun Al Rasyid. 2022. Jurnal Teknik ITS. Kajian Perkuatan Struktur Rumah Sakit RKZ Surabaya Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Sheet. Vol. 11. No. 3.
- [6] SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. cSNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- [7] SNI 1727:2020, Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
- [8] SNI 8970:2021, Panduan Perencanaan dan Pelaksanaan Beton Struktural Bertulang Batang Serat Berpolimer.
- [9] SNI 8900:2020, Paduan Desain Sederhana untuk Bangunan Beton Bertulang Setiawan, Agus. 2016. Perencanaan Struktur Beton Bertulang berdasarkan SNI 2847: 2013. Erlangga. Jakarta.