



ARTICLE

Desain Kebutuhan Tulangan Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP) untuk Elemen Struktur Pada Bangunan Beton Bertulang

Dhea Triviananda Putri,^{*} Alfian Kamaldi, and Ridwan

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12.5, Pekanbaru 28293

^{*}Corresponding author. Email: dhea.triviananda2196@student.unri.ac.id

(Received 21 April 2023; revised 18 Mei 2023; accepted 22 Mei 2023; first published online 29 Mei 2023)

Abstract

Fiber Reinforced Polymer is a combination of two main materials Resin Polymer (plastic) as a binder matrix and Fiber (fiber) as reinforcement. This material has three types of fiber, namely Carbon, Glass, and Aramid. Glass fiber was used in this study, because it has a greater strain compared to other fibers. This study aims to design reinforced concrete structures using glass fibre reinforced polymer (GFRP). Calculation of reinforcement for GFRP reinforced concrete was based on ACI 440 1R-2015. This research begins by collecting data in the form of a design structure drawing of a 6-storey hypothetical building, with a total building height of 23 m. The hypothesis building has the number of spans in the X-axis direction is 5 with a distance between columns of 6 m, while the number of spans in the Y direction is 3 with a distance between columns of 5 m. The column dimensions for all floors are 60 cm x 60 cm, while the beam dimensions are 40 cm x 40 cm. The thickness of the floor and roof slabs is 12 cm and the concrete quality is 30 MPa. For the calculation of structural loading, dead load, live load and earthquake load are used and the design of reinforcement for GFRP was carried out. Based on results, beam elements requires GFRP reinforcement 12 pieces for flexural reinforcement with a diameter of 1 inch to 1.128 inches. For the field area, GFRP reinforcing beam elements require 8 pieces of flexural reinforcement with a diameter of 0.875 inch to 1.128 inch. In column elements, GFRP reinforcement require 32 pieces 1 inch in diameter main reinforcement.

Keywords: Glass FRP, RC Building, Flexural Reinforcement, Beam, Column

1. Pendahuluan

Beton bertulang merupakan material atau bahan utama suatu struktur yang digunakan pada sebagian besar konstruksi bangunan, seperti salah satunya adalah bangunan gedung. Beton bertulang adalah hasil kombinasi dari dua unsur bahan yang berbeda, yaitu antara tulangan baja dan campuran beton. Beton dibentuk dari campuran antara semen, air, agregat halus (pasir) dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang-kadang beton juga ditambahkan campuran bahan lain (admixture) untuk memperbaiki kualitas beton (Asroni 2010) dan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu seperti kemudahan pengerjaan (workability), durabilitas dan waktu pengerasan (McCormac

2001). Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul di dalam sistem struktur beton bertulang (Dipohusodo 1996). Pada beton bertulang, unsur beton mempunyai kekuatan tekan yang besar, namun tidak dapat menahan tegangan tarik dengan maksimal, sehingga tulangan baja yang ditanam dalam beton menjadi unsur kekuatan yang memikul tegangan tarik.

Salah satu faktor alam yang menyebabkan kerusakan struktur adalah getaran yang dihasilkan oleh gempa bumi. Gempa bumi adalah guncangan yang terjadi di permukaan bumi. Biasanya gempa bumi terjadi disebabkan oleh pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan lempengan yang bergerak. Semakin lama tekanan lempengan tersebut semakin membesar dan akhirnya mencapai keadaan di mana tekanan itu tidak mampu ditahan lagi oleh pinggiran lempengan. Pada saat itulah gempa bumi terjadi (Mustafa 2010). Gempa bumi merupakan bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, oleh sebab itu gempa bumi harus menjadi pertimbangan dalam perencanaan struktur terutama bangunan gedung sehingga dapat meminimalisir kerusakan pada struktur ketika terjadi gempa bumi terutama pada gedung dan bangunan yang tinggi.

Tulangan yang biasa digunakan dalam konstruksi di Indonesia adalah tulangan yang berbahan baja. Namun, telah ditemukan material bernama fiber reinforced polymer (FRP) yang dapat digunakan sebagai pilihan material tulangan pengganti baja. FRP adalah salah satu jenis material komposit yang terdiri atas polimer diperkuat dengan serat. Serat yang merupakan salah satu komposisi dari bahan material FRP ini, biasanya digunakan serat kaca, karbon, aramid dan basalt. FRP banyak digunakan sebagai komponen struktur pada elemen pesawat terbang, otomotif, jembatan dan struktur lainnya. Jika dibandingkan dengan material lain, khususnya material baja, FRP merupakan material yang memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi, bisa mencapai 5 kali kuat tarik baja. Suatu struktur gedung harus memiliki kekakuan maksimum dengan berat bangunan yang minimum, sehingga akan tercipta suatu rangka konstruksi bangunan yang ringan dan kuat dalam menahan beban yang ada sekalipun itu beban lateral, terutama beban gempa (Mahaendra *et al.* 2015).

Banyak sekali terjadi kerusakan pada struktur bangunan beton bertulang dengan tulangan baja, dikarenakan tulangan pada balok dan kolom mengalami korosi. Tidak tahannya baja terhadap korosi membuat material FRP memiliki keunggulan dibandingkan baja karena sifat dari material FRP adalah tahan terhadap korosi. Sifat lainnya adalah FRP memiliki berat yang lebih ringan sehingga tidak memerlukan alat berat untuk dibawa ke lokasi, tahan terhadap panas dan juga memiliki umur yang panjang (Parvin and Brighton 2014).

2. Material FRP

FRP merupakan penggabungan dua material utama resin polymer (plastik) sebagai matriks pengikat dan fiber (serat) sebagai penguat. Sehingga dapat diartikan bahwa FRP adalah salah satu jenis material komposit yang terdiri atas matrik resin polimer yang diperkuat dengan serat gelas atau serat karbon. Perkembangan teknis untuk pengurangan gaya gempa telah dikenalkan persamaan desain baru dalam pengikatan dari kolom beton bertulang. Salah satu metode untuk perkuatan kolom beton bertulang yaitu menggunakan FRP komposit sebagai perkuatan sengkang (Eid and Paultre 2017). Aplikasi metode penulangan struktur beton dengan serat polimer membutuhkan perencanaan yang tepat, baik dari segi desain (analisis perilaku struktur beton), kondisi lapangan (pengaruh lingkungan) dan pemeliharaan jenis tipe serat, hal ini untuk menghindari proses perbaikan sehingga tidak terjadi kegagalan struktur. Penggunaan serat polimer pada kondisi lingkungan yang ekstrim, akan memerlukan suatu sistem perlindungan terhadap permukaan serat dari pengaruh suhu, zat kimia maupun radiasi sinar ultraviolet.

Tulangan FRP yang bersifat anisotropik dapat diproduksi menggunakan berbagai teknik seperti pultrusion, jalinan, dan tenun. Selama pembuatan material FRP, faktor-faktor seperti volume serat,

jenis serat, jenis resin, orientasi serat, efek dimensi, dan kontrol kualitas, semuanya memiliki peran utama dalam menentukan karakteristik tulangan FRP (Bank 1993). Ketika menerima beban, tulangan FRP tidak menunjukkan perilaku plastik sebelum runtuh. Perilaku tarik FRP yang terdiri dari satu jenis bahan serat ditandai dengan hubungan tegangan-regangan elastis linier sampai saat runtuh. Sifat tarik dari beberapa batang FRP yang umum digunakan dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

Table 1. Perbandingan Sifat Karakteristik Material FRP dan Baja (ACI Committee 440 2015)

	Steel	GFRP	CFRP	AFRP
Nominal yield stress (MPa)	276 s/d 517	NA	NA	NA
Tensile strength (MPa)	483 s/d 1600	483 s/d 690	600 s/d 3690	1720 s/d 2540
Elastic modulus (GPa)	200	35 s/d 51	120 s/d 580	41 s/d 125
Yield strain (%)	0,14 s/d 0,25	NA	NA	NA
Rupture strain (%)	6 s/d 12	1,2 s/d 3,1	0,5 s/d 1,7	1,9 s/d 4,4

3. Metodologi

3.1 Perhitungan Beton Bertulang dengan Tulangan FRP Berdasarkan ACI 440-1R 2015

3.1.1 Penulangan lentur

Berikut tata cara perhitungan penulangan lentur beton bertulang dengan tulangan FRP:

- Asumsikan terlebih dahulu properties tulangan FRP yang akan digunakan berdasarkan ACI 440.6-08
- Menentukan sifat material desain
 - Menentukan nilai faktor reduksi lingkungan (CE)
 - Desain kekuatan tarik (f_{fu})
- Menentukan faktor reduksi kekuatan
 - Menghitung rasio penulangan FRP

$$\rho_f = \frac{A_s}{b \times d} \quad (1)$$

- Menghitung rasio penulangan FRP seimbang

$$\rho_{fb} = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_{fu}} \times \frac{E_f \times \epsilon_{cu}}{(E_f \times \epsilon_{cu}) + f_{fu}} \quad (2)$$

- Menentukan faktor reduksi kekuatan untuk lentur

$$\phi = \begin{cases} 0,55 & \text{untuk } \rho_f \leq \rho_b \\ 0,33 + 0,25 \frac{\rho_f}{\rho_b} & \text{untuk } \rho_b < \rho_f < 1,4\rho_b \\ 0,65 & \text{untuk } \rho_f > 1,4\rho_b \end{cases} \quad (3)$$

- Menentukan tegangan tulangan tarik pada kondisi puncak
 - Jika $\rho_f \leq \rho_b$ (tension-controlled), maka $f_f = f_{fu}$

- Jika $\rho_f > \rho_{fb}$ (penampang compression-controlled), maka

$$f_f = \left(\sqrt{\frac{(E_f \epsilon_{cu})^2}{4} + \frac{0,85\beta_1 f'_c}{\rho_f} (E_f \epsilon_{cu})} - 0,5E_f \epsilon_{cu} \right) \leq f_{fu} \quad (4)$$

- Menentukan kuat lentur nominal M_n dan kuat lentur desain ϕM_n
 - Jika penampang compression-controlled, maka

$$a = \frac{A_f f_f}{0,85 f'_c b} \quad (5)$$

$$M_n = A_f f_f \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (6)$$

- Jika Penampang tension-controlled, maka

$$c_b = \left(\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{fu}} \right) \times d \quad (7)$$

$$M_n = A_f f_f \left(d - \frac{\beta_1 c_b}{2} \right) \quad (8)$$

- Penulangan minimum

$$A_{f,min} = \frac{4,9\sqrt{f'_c}}{f_{fu}} b_w d \geq \frac{330}{f_{fu}} b_w d \quad (9)$$

3.1.2 Penulangan geser

Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan tulangan geser pada FRP, yaitu :

- Rencanakan tipe material yang akan digunakan
- Tentukan kuat geser beton

$$\phi V_c = \phi \left(\frac{5}{2} k \right) 2\sqrt{f'_c} b_w d \quad (10)$$

- Hitung $V_u - \phi V_c$ pada bagian kritis

$$V_u - \phi V_c < \phi \times 8\sqrt{f'_c} b_w d \quad (11)$$

- Hitung tegangan tarik tulangan geser FRP

$$f_{fb} = \left(0,05 \times \frac{r_b}{d_b} + 0,3 \right) f_{fu} \leq f_{fu} \quad (12)$$

- tegangan tarik pada batas akhir / ultimate

$$f_{fv} = 0,004E_f \leq f_{fb} \quad (13)$$

- Hitung spasi tulangan geser yang dibutuhkan

$$\frac{A_{fv}}{s} = \frac{(V_c - \phi V_c)}{\phi f_{fv} d} \quad (14)$$

- cek spasi maksimum yang diizinkan

$$s = \frac{d}{2} \quad (15)$$

- spasi maksimum pada tulangan geser minimum

$$s = \frac{A_{fv, min} \times f_{fv}}{50 b_w} \quad (16)$$

3.2 Data desain

Adapun data yang akan dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data eksisting yaitu data perencanaan bangunan gedung 6 lantai. Data eksisting berupa gambaran arsitek dan gambar struktur. Gambar arsitek berupa gambar denah per-lantai, gambar tampak depan, samping dan potongan. Sedangkan gambar struktur berupa gambar denah kolom dan balok per-lantai.

Struktur bangunan yang didisain dan dianalisis dalam tugas akhir ini adalah portal beton bertulang enam lantai. Tinggi total bangunan adalah 23 m, dengan tinggi lantai dasar adalah 4,5 m dan tinggi tipikal lantai 2 s/d 6 adalah 3,7 m. Jumlah bentang arah sumbu X adalah 5 dengan jarak antar kolom 6 m sementara jumlah bentang arah Y adalah 3 dengan jarak antar kolom 5 m.

Dimensi kolom untuk semua lantai digunakan 60 cm x 60 cm sementara semua balok menggunakan dimensi yang sama 40 cm x 60 cm. Tebal plat lantai dan atap adalah 12 cm sementara tebal dinding geser direncanakan 40 cm. Mutu beton direncanakan 30 MPa. Data struktur gedung dapat lihat pada Tabel 2.

Table 2. Data Struktur Gedung

Kriteria	Studi kasus
Jumlah lantai	6
Jenis rangka	beton bertulang
Tinggi lantai dasar	4,5 m
Tinggi lantai tipikal	3,7 m
Dimensi kolom semua lantai	60x60 cm
Dimensi balok semua lantai	40x60 cm
Tebal plat lantai dan atap	12 cm
Kuat tekan beton (f'_c)	30 MPa

4. Hasil dan Pembahasan

Sama seperti beton bertulang baja, perhitungan penulangan struktur beton bertulang FRP juga membutuhkan data gaya-gaya dalam berupa momen, gaya geser, torsi dan gaya aksial. Gaya-gaya dalam yang bekerja pada masing-masing elemen struktur tersebut diambil nilai paling terbesar. Gaya-gaya dalam itu didapatkan dari hasil aplikasi SAP2000. Perhitungan penulangan struktur FRP dibedakan menjadi 8 (delapan) grup berdasarkan jenis elemen (Kolom/Balok), posisi elemen (Exterior/Interior), posisi elemen di lantai (Lantai 1-3/Lantai 4-6). Untuk kode huruf A, posisi elemen berada di lantai 1 hingga lantai 3. Untuk kode huruf B, posisi elemen berada di lantai 4 hingga lantai 6.

4.1 Penulangan Struktur pada Balok GFRP

Untuk balok tulangan GFRP terdapat 4 grup yaitu, a) A-Balok Exterior GFRP, b) A-Balok Interior GFRP, c) B-Balok Exterior GFRP, d) B-Balok Interior GFRP. Momen maksimum diperlukan untuk perhitungan penulangan struktur dapat dilihat pada Tabel 3 dan tabel 4.

Table 3. Momen Maksimum Tumpuan pada Tiap Grup Balok GFRP

Klasifikasi grup	No elemen	Lantai	Arah sumbu	Kombinasi beban	M max (Knm)	V (kN)	P (kN)
A-Balok Ex	69	1	Arah X	Komb 4	-321,7	-174,9	11,617
A-Balok In	102	2	Arah X	Komb 4	-388,45	-231,03	78,442
B-Balok Ex	168	4	Arah X	Komb 4	-254,21	-153,44	84,174
B-Balok In	178	4	Arah X	Komb 4	-321,12	-209,34	163,046

Table 4. Momen Maksimum Lapangan pada Tiap Grup Balok GFRP

Klasifikasi grup	No elemen	Lantai	Arah sumbu	Kombinasi beban	M max (Knm)	V (kN)	P (kN)
A-Balok Ex	91	1	Arah X	Komb 9	189,006	-34,896	15,984
A-Balok In	82	1	Arah X	Komb 9	215,676	-31,359	12,941
B-Balok Ex	190	4	Arah X	Komb 10	101,533	6,71	46,502
B-Balok In	196	4	Arah X	Komb 10	119,155	0,902	90,813

Hasil perhitungan penulangan struktur yang didapatkan berdasarkan nilai M_u maksimum untuk menghitung jumlah dan diameter tulangan yang dibutuhkan elemen struktur dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Table 5. Rekapitulasi Tulangan Lapangan GFRP pada Balok

Klasifikasi grup	No elemen	Lantai	Mmax (kNm)	Tulangan	Momen nominal, ϕM_n (kNm)	Rasio momen ($\frac{M_u}{\phi M_n}$)
A-Balok Ex	91	1	189,006	2 D1,128"	208,21	0,91
A-Balok In	82	1	215,676	2 D1,128"	240,09	0,90
B-Balok Ex	190	4	101,533	2 D0,875"	126,03	0,81
B-Balok In	196	4	119,155	2 D0,875"	145,22	0,82

Table 6. Rekapitulasi Tulangan Tumpuan GFRP pada Balok

Klasifikasi grup	No elemen	Lantai	Mmax (kNm)	Tulangan	Momen nominal, ϕM_n (kNm)	Rasio momen ($\frac{M_u}{\phi M_n}$)
A-Balok Ex	69	1	-321,7	4 D1"	328,26	0,98
A-Balok In	102	2	-388,45	3 D1,128"	454,99	0,85
B-Balok Ex	168	4	-254,21	3 D0,875"	312,31	0,81
B-Balok In	178	4	-321,12	3 D0,875"	360,14	0,89

4.2 Penulangan Struktur pada Kolom GFRP

Elemen struktur kolom tulangan baja juga diklasifikasikan menjadi 4 grup yaitu, a) A-Kolom Exterior GFRP, b) A-Kolom Interior GFRP, c) B-Kolom Exterior GFRP, d) B-Kolom Interior GFRP. Gaya Aksial maksimum diperlukan untuk perhitungan penulangan struktur dapat dilihat pada Tabel 7.

Table 7. Gaya Aksial Maksimum pada Tiap Grup Kolom GFRP

Klasifikasi grup	No elemen	Lantai	M_{u2} (kNm)	M_{u3} (kNm)	V (kN)	P (kN)
A-Kolom Ex	559	1	336,805	0,800	-0,365	-2494,747
A-Kolom In	481	1	-2,200	-1,027	0,474	-3478,491
B-Kolom Ex	334	4	-146,656	-0,244	0,125	-1088,533
B-Kolom In	478	4	-18,524	0,101	-0,077	-1590,13

Hasil perhitungan penulangan struktur yang didapatkan berdasarkan nilai P maksimum untuk menghitung jumlah dan diameter tulangan yang dibutuhkan elemen struktur dapat dilihat pada Tabel 8.

Table 8. Rekapitulasi Tulangan GFRP pada Kolom

Klasifikasi grup	No elemen	Lantai	P (kN)	Tulangan
A-Kolom Ex	559	1	-2494,747	8 D1"
A-Kolom In	481	1	-3478,491	8 D1"
B-Kolom Ex	334	4	-1088,533	8 D1"
B-Kolom In	478	4	-1590,13	8 D1"

5. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan untuk penulangan struktur beton bertulang dengan menggunakan tulangan GFRP didapat sebagai berikut: Elemen balok membutuhkan tulangan lentur sebanyak 12 buah tulangan GFRP dengan diameter 1 sampai dengan 1,128 inch di daerah tumpuan, sementara daerah lapangan membutuhkan 8 buah tulangan GFRP dengan diameter 0,875 sampai dengan 1.128 inch. Untuk kolom memerlukan 32 buah tulangan GFRP dengan diameter 1 inch sebagai tulangan pokok.

References

- ACI Committee 440, 1R-15. 2015. *Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with fiber-reinforced polymer (frp) bars*. Technical report ACI 440. 1R-15 Guide. Farmington Hills, MI 48331: American Concrete Institute.
- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan pelat beton bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Bank, Lawrence C. 1993. Properties of frp reinforcements for concrete. In *Fiber-reinforced-plastic (frp) reinforcement for concrete structures*, edited by Antonio Nanni, 59-86. Developments in Civil Engineering. Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89689-6.50007-0>.
- Dipohusodo, Istimawan. 1996. *Struktur beton bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka. Utama.
- Eid, Rami, and Patrick Paultre. 2017. Compressive behavior of frp-confined reinforced concrete columns. *Engineering Structures* 132:518-530. issn: 0141-0296. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.11.052>.
- Mahaendra, Adhitiyo Eka, Prasetya Dita Perdana, Himawan Indarto, and Bambang Pardoyo. 2015. Perencanaan struktur gedung hotel persona jakarta. *Jurnal Karya Teknik Sipil* 4 (4): 38-45.
- McCormac, Jack C. 2001. *Desain beton bertulang*. Surabaya: Erlangga.

- Mustafa, Badrul. 2010. Nalisis gempa nias dan gempa sumatera barat dan kesamaannya yang tidak menimbulkan tsunami. *Jurnal Ilmu Fisika* 2 (1): 44–50. <https://doi.org/10.25077/jif.2.1.44-50.2010>.
- Parvin, Azadeh, and David Brighton. 2014. Frp composites strengthening of concrete columns under various loading conditions. *Polymers* 6 (4): 1040–1056. issn: 2073-4360. <https://doi.org/10.3390/polym6041040>.