

Analisis Perilaku Portal Beton Bertulang dengan Tulangan *Fibre Reinforced Polymer*

Suriyati¹⁾, Ridwan²⁾, Zulfikar Djauhari²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : suriyati@student.unri.id

ABSTRACT

Fiber reinforcement is currently widely used as an alternative to conventional steel reinforcement at reinforced concrete because its material properties are resistant to corrosion and have a high tensile strength. This research aims to analyze the comparison of reinforced concrete portal behavior using FRP and steel reinforcement. The model used in the analyzed is portal 2D with and without shear wall that use limits of based on ACI 440.1R-2015 and SNI 03-2847-2013. The analyzed result revealed that the use of FRP bar can reduce the amount of bars significantly. For the case of concrete portal without shear wall was 25% less than compared to that FRP of steel bars. Moreover, for the case of portal with shear wall, the use of FRP material can reduce the amount at bars used until 33%. This can be inferred because ultimate strength and modulus elasticity of CFRP is 2070 MPa and 152000 MPa, while ultimate strength of conventional steel is only MPa with the modulus of elasticity of 200000 MPa.

Keywords: Reinforcement FRP, Conventional Steel Reinforcement, Reinforcement CFRP

A. PENDAHULUAN

Beton bertulang banyak digunakan pada konstruksi bangunan di Indonesia. Struktur beton bertulang yang digunakan pada bangunan daerah rawan gempa diharapkan mampu untuk menahan siklus deformasi dengan tetap memiliki kekuatan dan stabilitas struktur yang memadai.

Kerusakan yang sering terjadi pada struktur beton bertulang dapat berupa retak pada balok dan kolom. Retak pada struktur beton mengakibatkan tulangan baja mengalami korosi karena pengaruh lingkungan seperti garam, bahan kimia dan kelembaban, sehingga struktur mengalami penurunan kekuatan, kekakuan, serta kegagalan struktural. Korosi yang terjadi pada baja tulangan merupakan faktor utama yang dapat mengurangi umur rencana struktur beton bertulang. Hal ini juga akan bertambah parah bila bangunan tersebut berada di lingkungan yang bersifat korosif. Korosi pada tulangan baja akan mengakibatkan kerusakan pada beton, yang akhirnya akan menyebabkan berkurangnya kekuatan dan kemampuan layan dari struktur tersebut (Mady, 2011).

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi korosi pada baja

tulangan, antara lain dengan melapisi tulangan dengan lapisan non-korosif, menggunakan tulangan dari bahan *stainless steel* dan menambah tebal selimut beton. Akan tetapi, metode yang dilakukan ini kurang berhasil mencegah terjadinya korosi pada tulangan ini. Bahkan dalam beberapa kasus, biaya perbaikan struktur yang terjadi akibat korosi tulangan bisa mencapai dua kali lipat dibandingkan dengan biaya konstruksi awal (Yunovich dan Thompson, 2003).

Tulangan fiber (*fibre reinforced polymer*, FRP) saat ini banyak digunakan sebagai alternatif pengganti tulangan baja konvensional pada struktur beton bertulang. Alasan utama penggunaan tulangan FRP ini adalah sifat materialnya yang lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan tulangan baja. Secara umum selain sifat materialnya yang tahan terhadap korosi, tulangan FRP mempunyai kelebihan dibandingkan dengan tulangan baja, antara lain FRP mempunyai kuat tarik yang tinggi dan hasil uji tarik material FRP memperlihatkan hubungan tegangan-regangan yang linear sampai saat materialnya hancur (ACI 440, 2015).

Selain permasalahan korosi pada tulangan baja konvensional yang mengakibatkan kerusakan pada beton yang akhirnya akan menyebabkan berkurangnya kekuatan dan kemampuan layan serta kegagalan struktur. Namun, material FRP bersifat lebih elastis jika dibandingkan dengan baja konvensional. Maka dianggap perlu untuk mengkaji perilaku struktur portal beton bertulang yang menggunakan tulangan FRP. Analisis dilakukan untuk mendapatkan perbandingan antara perilaku struktur portal beton bertulang yang menggunakan tulangan baja konvensional dengan perilaku struktur portal beton bertulang yang menggunakan tulangan FRP.

A. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Penggunaan Material FRP pada Bangunan Gedung

Pada awalnya, material FRP digunakan untuk perbaikan/rehabilitasi elemen struktur beton bertulang karena material ini memiliki kelebihan yang signifikan dibandingkan material baja, yaitu: tahan korosi, memiliki bobot yang rendah sehingga mengurangi durasi dan biaya konstruksi karena alat berat tidak diperlukan untuk pengerjaannya. Meskipun penggunaan FRP untuk struktur teknik sipil baru dimulai pada tahun 1980an, sejumlah proyek telah dilakukan untuk menunjukkan kegunaan komposit ini dalam perbaikan struktur beton.

Penggunaan tulangan FRP pada struktur beton bertulang dimulai oleh Mady (2011) dengan studi eksperimental pemanfaatan tulangan GFRP pada elemen join balok kolom. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mempelajari perilaku elemen join balok kolom beton bertulang GFRP akibat beban gempa. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa join balok kolom yang ditulangi dengan GFRP mampu menahan deformasi sampai 4% tanpa mengalami kerusakan yang signifikan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa dengan menambah rasio tulangan GFRP, selain dapat

memenuhi prinsip desain kolom kuat balok lemah (*strong column weak beam*) juga dapat meningkatkan kemampuan elemen join balok kolom dalam menyerap energi akibat beban gempa (Gambar 1)



Gambar 1. Pengujian elemen join balok kolom menggunakan tulangan FRP (Mady, 2011).

B.2 Fiber Reinforcement Polymer

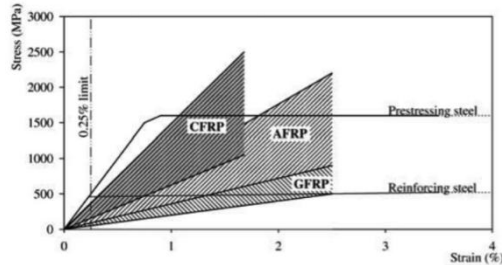
FRP merupakan suatu material komposit yang merupakan gabungan dari fiber, polimer dan aditif. Bahan aditif seperti plasticisers, anti oksidan dan bahan yang bersifat tahan api ditambahkan untuk meningkatkan sifat bahan FRP. Untuk keperluan dalam bidang struktur bangunan, FRP dapat diproduksi dalam berbagai bentuk, seperti dalam bentuk tulangan ataupun dibuat dalam bentuk lembaran-lembaran yang biasa digunakan untuk perkuatan elemen struktural dan non-struktural (GangaRao et al, 2007).



Gambar 2. Tipe Tulangan yang Sering digunakan (ACI 440.1R-15).

Gambar 2. memperlihatkan ragam FRP yang ada dipasaran. Ada tiga jenis FRP yang diproduksi saat ini, yaitu Aramid FRP (AFRP), Carbon FRP (CFRP) dan Glass FRP (GFRP).

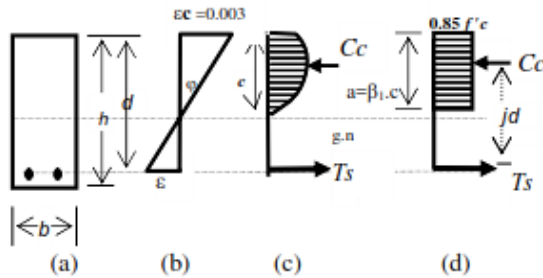
Sifat mekanik material FRP juga berbeda bila dibandingkan dengan sifat mekanik baja tulangan konvensional. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3., hubungan tegangan-regangan material FRP adalah berupa linear-elastis dengan nilai modulus elastis yang lebih kecil.



Gambar 3. Perbandingan kuat Tarik tulangan FRP dengan tulangan baja konvensional (Guadagnini et.al,2003)

B.3 Penulangan Lentur

Kondisi tegangan-regangan penampang beton dengan CFRP yang mengalami lentur seperti yang telah diusulkan oleh Kuriger (2001), dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Distribusi Tegangan Regangan Beton

Berdasarkan Gambar 4. maka:

$$C_c = 0.85 f'_c a.b \quad (1)$$

$$T_s = A_s f_s \quad (2)$$

$$T_F = A_{S_F} f_{y_F} \quad (3)$$

Syarat keseimbangan gaya-gaya dalam penampang balok dengan CFRP:

$$C_c = T_s + T_F \quad (4)$$

$$0.85 f'_c a.b = A_s f_y + A_{S_F} f_{y_F} \quad (5)$$

$$a = \frac{0.85 f'_c b}{A_s f_y + A_{S_F} f_{y_F}} \quad (6)$$

Sehingga akan menghasilkan momen sebesar:

$$M_n = A_s f_y j.d + A_{S_F} f_{y_F} j.d_F \quad (7)$$

Dimana:

$$T_F = \text{gaya tarik CFRP}$$

$$J_{d_F} = \text{jarak dari } C_c \text{ sampai } T_F$$

B.4 Penulangan Geser

Kuat geser beton sebesar:

$$\phi V_c = \phi \left(\frac{5}{2} k \right) 2 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (8)$$

Sedangkan tegangan tarik tulangan geser FRP sebagai berikut:

$$f_{fb} = \left(0.05 \frac{r_b}{d_b} + 0.3 \right) f_{fu} \leq f_{fu} \quad (9)$$

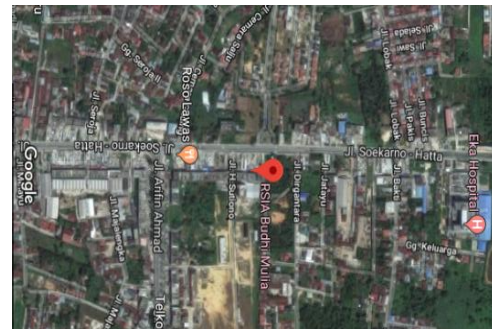
tegangan tarik pada batas akhir (*ultimate*)

$$f_{fv} = 0.004 E_f \leq f_{fb} \quad (10)$$

B. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Lokasi Penelitian

Gambar 5. memperlihatkan lokasi studi kasus penelitian ini, yaitu bangunan RSIA Budhi Mulia Pekanbaru yang berlokasi di Jalan Soekarno-Hatta no. 266-268 Marpoyan Damai, Arengka, Pekanbaru, Riau.



Gambar 5. Lokasi Bangunan RSIA Budhi Mulia

C.2 Data Struktur Gedung

Data yang digunakan adalah gambar dasar (*basic drawing*) denah, kolom, balok, dan portal. Model tiga dimensi gedung dapat dilihat pada Gambar 5. Data struktur Gedung RSIA Budhi Mulia dapat dilihat pada Tabel 1.



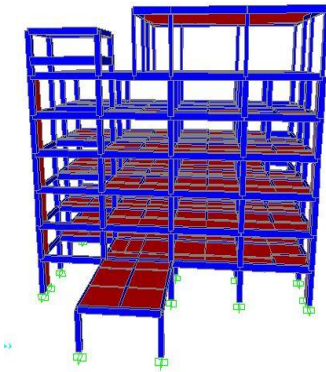
Gambar 6. Gedung RSIA Budhi Mulia

Tabel 1. Data Struktur Gedung RSIA Budhi Mulia

Kriteria	Studi Kasus
Fungsi Gedung	Rumah Sakit
Jumlah Lantai	7
Tinggi Total	28.00 m
Lokasi	Pekanbaru
Jenis Rangka	Beton Bertulang

C.3 Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini, bangunan RSIA Budhi Mulia Pekanbaru dimodelkan dan dianalisis menggunakan program berbasis elemen hingga (*Integrated Building Design Software*).



Gambar 7. Pemodelan Struktur RSIA Budhi Mulia

Pemodelan struktur dilakukan sedemikian rupa dengan mengikuti aturan-aturan dan langkah-langkah yang ada dalam *software* berbasis elemen hingga. Pemodelan RSIA Budi Mulia Pekanbaru dapat dilihat pada Gambar 7.

C.4 Perhitungan Kapasitas Elemen Struktur Eksisting

C.4.1 Perhitungan Kapasitas Balok

Elemen balok merupakan salah satu elemen yang memikul beban yang terjadi padanya dengan mengandalkan kemampuan kapasitas momennya. Kemampuan penampang balok beton dihitung berdasarkan:

$$Mn = 0,85.f'c.ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + As' f_y'(d-d')$$

(11)

Dimana:

Mn = Kuat momen nominal

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

a = Tinggi distribusi tegangan persegi ($a = \beta_1.c$)

b = Lebar balok

d = Jarak serat tekan terluar terhadap tulangan

As = Luas penampang tulangan

f_y = Kuat leleh baja

Sebagai kontrol apakah balok tersebut mampu memikul gaya yang terjadi maka:

$$\phi M_n > M_u \quad (12)$$

C.4.2 Perhitungan Kapasitas Kolom

Elemen kolom memiliki fungsi utama yaitu terhadap beban aksial yang mana dipikul oleh kebutuhan penampang beton bertulang itu sendiri sedangkan kapasitas momen ditentukan oleh tulangan terpasang. Untuk menentukan diameter tulangan dan jumlah tulangan pada kolom, digunakan perangkat lunak *spColumn*.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Analisis Gaya-gaya Dalam

Dengan menggunakan *software* SAP2000, gaya-gaya dalam yang bekerja pada masing-masing elemen struktur bangunan dapat diperoleh. Gaya-gaya dalam berupa gaya aksial, gaya geser dan gaya momen dapat digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur. Perhitungan gaya-gaya dalam ini dilakukan terhadap berbagai kombinasi beban gravitasi berdasarkan SNI 03-2847-2013.

D.2 Hasil Perhitungan Tulangan pada Elemen Struktur tanpa Tambahan Dinding Geser

D.2.1 Struktur Portal dengan Baja Konvensional

Hasil perhitungan pada balok dengan tulangan lentur memiliki dimensi 400 x 700 mm didapatkan jumlah tulangan adalah 4D19 (Tabel 2) untuk tulangan tumpuan dan lapangan pada lantai 1 dengan kapasitas penampang sebesar 217,15kN.

Sedangkan Tabel 3. memperlihatkan bahwa tulangan geser menggunakan dimensi sengkang D10 dengan jarak spasi

280 mm (Tabel 4) dengan kapasitas penampang tulangan geser sebesar 0,144kN. Pada kolom tulangan yang dibutuhkan sebanyak 18D19 (Tabel 5.).

Tabel 2. Balok Tulangan Lentur

Elemen	Tulangan		Kapasitas Penampang	
	Tumpuan	Lapangan	M_{cr}	M_{cr+}
			(kN.m)	(kN.m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
70	4D19	4D19	217,15	217,15
71	4D19	4D19	217,15	217,15
72	4D19	4D19	217,15	217,15
73	4D19	4D19	217,15	217,15
74	4D19	4D19	217,15	217,15

Tabel 3. Balok Tulangan Lentur (lanjutan)

Elemen	Momen Ultimit (kN.m)		$\frac{M_{ultimut}}{M_{cr}} \leq 1,0$	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
70	174,412	140,705	0,803	0,648
71	186,289	137,432	0,858	0,633
72	191,544	146,037	0,882	0,672
73	42,765	0,099	0,197	0,005
74	19,539	13,285	0,089	0,061

Tabel 4. Balok dengan Tulangan Geser

Elemen (1)	Gaya Geser (kN)		Spasi tulangan (mm) (4)	Tulangan (5)
	Tumpuan (2)	Lapangan (3)		
70	108,380	113,669	280	D10
71	113,884	111,604	280	D10
72	117,695	110,243	280	D10
73	36,746	29,066	280	D10
74	19,538	13,285	280	D10

Tabel 5. Kolom dengan Beban Ultimate

Elemen	Momen Ultimate		Gaya Aksial (kN)	Kapasitas Penampang	Tulangan
	M_{ux}	M_{uy}			
	(kN.m)	(kN.m)	(kN)	(5)	(6)
644	-39,3	55,5	1518,6	4317686	18D19
650	-6,9	76,2	2697,1	4317686	18D19
656	-7,8	80,5	2985,4	4317686	18D19

662	19,5	78,1	2306,3	4317686	18D19
674	-4,2	74,1	1336,9	4317686	18D19
668	0,043	69,7	903,2	4317686	18D19

D.2.2 Struktur Portal dengan Tulangan FRP

Pada dimensi balok 400 x 700 mm tulangan yang dibutuhkan balok dengan tulangan lentur adalah 3D19 (Tabel 6). Sedangkan kolom dengan dimensi 600 x 600 mm didapat 11D19 (Tabel 8) dan tulangan geser yang dibutuhkan pada balok menggunakan D10 dengan spasi 220 mm (Tabel 7).

Tabel 6 Balok Tulangan Lentur dengan Tulangan FRP

Elemen	Tulangan		Kapasitas Penampang	
	Tumpuan	Lapangan	M_{cr}	M_{cr+}
			(kN.m)	(kN.m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
70	3D19	3D19	304,16	304,16
71	3D19	3D19	304,16	304,16
72	3D19	3D19	304,16	304,16
73	3D19	3D19	304,16	304,16
74	3D19	3D19	304,16	304,16

Tabel 7. Balok dengan Tulangan Geser

Elemen	Gaya Geser (kN)		Spasi Tulangan	Tulangan (5)
	Tumpuan	Lapangan	(mm)	
	(2)	(3)	(4)	
70	108,380	113,669	220	D10
71	113,884	111,604	220	D10
72	117,695	110,243	220	D10
73	36,746	29,066	220	D10
74	19,538	13,285	220	D10

Tabel 8. Kolom dengan Beban Ultimate

Elemen	Momen Ultimate		Gaya Aksial (kN)	Kapasitas Penampang	Tulangan
	M_{ux}	M_{uy}			
	(kN.m)	(kN.m)	(5)	(6)	(7)
644	-39,3	55,5	1518,6	624849,8	11D19
650	-6,9	76,2	2697,1	625992,3	11D19
656	-7,8	80,4	2985,4	569601,1	11D19
662	19,5	78,1	2306,3	568942,8	11D19

674	-4,256	74,1	1336,9	567078,8	11D19
668	0,043	69,7	903,2	567582,5	11D19

D.3 Hasil Perhitungan Tulangan pada Elemen Struktur tanpa Tambahan Dinding Geser

D.3.1 Struktur Portal dengan Baja Konvensional

Pada balok dengan dimensi 350 x 500 mm memiliki bentang 6000 mm didapat 3D19 (Tabel 9) untuk tulangan tumpuan dan lapangan.

Tabel 9. Balok Tulangan Lentur

Elemen	Tulangan		Kapasitas Penampang	
	Tumpuan	Lapangan	M_{cr}^- (kN.m)	M_{cr}^+ (kN.m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
39	3D19	3D19	747,84	747,84
40	3D19	3D19	747,84	747,84
41	3D19	3D19	747,84	747,84
76	3D19	3D19	747,84	747,84
43	3D19	3D19	747,84	747,84
44	3D19	3D19	747,84	747,84

Sedangkan tulangan kolom dengan 600 x 600 mm adalah 18D19 (Tabel 13) spasi tulangan 160 mm dengan kapasitas penampang 4317686 kN.m.

Tabel 10. Balok Tulangan Lentur (lanjutan)

Elemen	Momen Ultimit (kN.m)		$\frac{M_{aktual}}{M_{cr}} \leq 1.0$	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
39	0,097	14,575	0,001	0,195
40	55,772	6,226	0,746	0,083
41	40,544	0,220	0,542	0,003
76	27,015	0,107	0,361	0,001
43	62,669	0,110	0,838	0,001
44	83,941	0,017	0,765	0,001

Tabel 11. Balok dengan Tulangan Geser

Elemen	Gaya Geser (kN)		Spasi Tulangan	
	Tumpuan	Lapangan	(mm)	Tulangan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
39	345,00	838,00	210	D10
40	9,820	89,219	210	D10

42	363,00	41,147	210	D10
76	6,048	76,00	210	D10
43	301,00	55,924	210	D10
44	66,700	4,00	210	D10

Tabel 12. Kolom dengan Beban Ultimate

Elemen	Momen Ultimate		Gaya Aksial (kN)	Kapasitas Penampang (kN.m)	Tulangan
	M_{ux} (kN.m)	M_{uy} (kN.m)			
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)
559	48,06	47,1	1408,9	4317686	18D19
578	-25,31	7,5	1969,7	4317686	18D19
612	-4,47	13,4	1479,6	4317686	18D19
668	0,04	69,7	903,2	4317686	18D19

Tabel 13. Kebutuhan Tulangan Sengkang pada Kolom

Elemen	Gaya Geser, V_u (kN)	V_c (kN)	Kebutuhan Tulangan Sengkang	Diameter Tulangan (mm)	Spasi antar Tulangan (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
559	15,1	72,8	Tidak	-	-
578	29,4	101,7	Tidak	-	-
612	19,3	76,4	Tidak	-	-
668	35,7	46,8	Ya	D10	160

D.3.2 Struktur Portal dengan Tulangan FRP

Pada Tabel 14. dapat dilihat bahwa tulangan dari perhitungan tulangan lentur pada balok dimensi 350 x 500 mm didapat 2D19 dengan kapasitas penampang sebesar 124,07 kN dan tulangan geser balok menggunakan D10 dengan spasi sengkang 150 mm (Tabel 15).

Tabel 14. Balok Tulangan Lentur

Elemen	Tulangan		Kapasitas Penampang	
	Tumpuan	Lapangan	M_{cr}^- (kN.m)	M_{cr}^+ (kN.m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
30	2D19	2D19	124,07	124,07
40	2D19	2D19	124,07	124,07
41	2D19	2D19	124,07	124,07
76	2D19	2D19	124,07	124,07
43	2D19	2D19	124,07	124,07

Tabel 15. Balok Tulangan Lentur (lanjutan)

Elemen	Momen Ultimit (kN.m)		$\frac{M_{aktual}}{M_{cr}} \leq 1.0$	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
	(6)	(8)	(9)	(10)
39	0,097	14,575	0,001	0,117
40	55,772	6,226	0,449	0,050
41	40,544	0,220	0,327	0,002
76	27,015	0,107	0,218	0,001
43	62,669	0,110	0,505	0,001
44	83,941	0,017	0,676	0,001

Tabel 16. Balok dengan Tulangan Geser

Elemen	Gaya Geser (kN)		Spasi Tulangan	
	Tumpuan	Lapangan	(mm)	Tulangan
	(1)	(3)	(4)	(5)
39	345,00	838,00	150	D10
40	9,820	89,219	150	D10
41	363,00	41,147	150	D10

Tabel 17. memperlihatkan bahwa kolom dengan perhitungan beban ultimate yang bekerja pada struktur portal dengan dinding geser didapatkan 11D19 dengan kapasitas penampang sebesar 0,625 kN, jumlah tulangan lebih sedikit dibandingkan dengan penggunaan baja konvensional.

Tabel 17. Kolom dengan Beban Ultimit

Elemen	Momen Ultimate		Gaya		Tulangan
	M_{ux}	M_{uy}	Aksial	Kapasitas	
	(kN.m)	(kN.m)	(kN)	Penampang	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
559	48,1	47,1	1408,9	0,624	11D19
578	-25,3	7,5	1969,7	0,625	11D19
612	-4,5	13,4	1479,6	0,624	11D19
668	0,043	69,7	903,2	0,567	11D19

Penggunaan tulangan FRP membutuhkan tulangan yang relatif lebih hemat dibandingkan dengan menggunakan tulangan baja konvensional dikarenakan nilai tegangan tarik tulangan FRP sebesar 2070 MPa untuk tipe CFRP dengan modulus elastisitas 152000 MPa,

sedangkan f_y untuk baja konvensional sebesar 210 MPa-410 MPa dengan modulus elastisitas 200000 MPa.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan portal tulangan baja konvensional yang menggunakan SNI 03-2847-2013 didapatkan balok dengan tulangan lentur berjumlah 4D19 serta 18D19 pada tulangan kolom untuk portal tanpa dinding geser. Sedangkan portal dengan tambahan dinding geser pada balok tulangan lentur berjumlah 3D19 untuk tulangan tumpuan dan lapangan, serta 18D19 untuk tulangan kolom.
2. Portal dengan tulangan FRP yang menggunakan ACI 440.1R-2015 menghasilkan jumlah tulangan yaitu pada balok didapat 3D19 dan kolom 11D19 untuk portal tanpa dinding geser, serta 2D19 pada balok dan pada kolom didapat 11D19 untuk portal dengan dinding geser. Hal ini dikarenakan kuat tarik pada tulangan FRP lebih besar dari tulangan baja konvensional yaitu sekitar 2070 MPa.

E.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat dikemukakan beberapa saran yang mungkin dapat dipergunakan untuk penelitian lanjutan:

1. Dapat dilakukan analisis lanjutan dengan struktur portal 3D yang mempertimbangkan beban gravitasi dan gempa pada elemen struktur.
2. Dapat dilakukan analisis lebih lanjut dengan variasi tipe tulangan FRP seperti GFRP dan AFRP.

DAFTAR PUSTAKA

ACI 440, 2015, *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-*

- Reinforced Polymer (FRP) Bars*, Farmington Hills, Michigan
- Badan Standarisasi Nasional. 2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*, Puskim, Bandung, Indonesia, 85 hal.
- Gangarao, H, and Taly, N. 2007, *Reinforced Concrete Design with FRP Composite*, CRC Press, Prancis.
- Guadagnini, M., Pilakoutas, K., and Waldron, P. 2003. Shear Performance of FRP Reinforced Concrete Beams. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 22(15): 1389-1407.
- Kuringer, Rex., Sargand, Shad., Ball, Ryan., Alam, Khairul.. 2001. *Analysis of Composite Reinforced Concrete Beams*, Departement of Mechanical Engineering, Ohio University.
- Mady, M., El-Ragaby, A. and El-Salakawy, E. (2011) Seismic Behavior of Beam-Column Joints Reinforced with GFRP Bars and Stirrups. *Journal of Composites for Construction*, 15: (6): 875-886.
- Yunovich, sM dan Thompson, N, 2003, Corrosion of Highway Bridges: Economic Impact and Control Methodologies, *ACI Concrete International*, V. 25, No.1