

# Perbandingan Perilaku Struktur Beton dengan Tulangan Baja dan Struktur Beton dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

Naufal Arief<sup>1)</sup>, Ridwan<sup>2)</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

Corresponding Author: [ridwan@eng.unri.ac.id](mailto:ridwan@eng.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*Fiber Reinforced Polymer (FRP) was a composite material that has a tensile strength of 7 to 10 times the tensile strength of steel. FRP made from three types of composite materials, namely Carbon, Glass and Aramid. In this research, Glass-FRP material is used. FRP material tensile test results show a linear stress-strain relationship. Theoretically this indicates that FRP material was brittle, it was considered necessary to study the behavior of the structure using FRP material. This study aims to compare the behavior of steel reinforced concrete portal structures with FRP reinforced concrete portal structures in receiving earthquake loads. The analytical method used was the time history analysis used the 2009 Pariaman earthquake record, and the FRP reinforcement calculated refers to ACI 440-1R-2015. The amount of reinforcement needed in a concrete beam with GFRP reinforcement is the same as the reinforcement of a concrete structure beam with conventional steel reinforcement. That is because the amount of reduction required by ACI 440.1R-2015 for the calculation of GFRP reinforcement. The value of relative displacement in the structural model with GFRP reinforcement was 7.34% greater than the structural model with steel reinforcement. Velocity and acceleration values were 65% and 52.87%, respectively, which indicates that vibrations in structures with GFRP reinforcement during an earthquake were less pronounced than structures with steel reinforcement.*

*Keywords: Reinforcement FRP, Conventional Steel Reinforcement, Reinforcement GFRP*

## A. PENDAHULUAN

Struktur bangunan di Indonesia mayoritas menggunakan material beton bertulang. Material beton memiliki banyak kelebihan, yaitu biaya pembuatannya relatif murah, mudah dibentuk, memiliki kekuatan yang besar, kuat menahan tekan, cukup tahan terhadap api, perawatannya murah dan material pembentuknya mudah diperoleh. Sedangkan kekurangan material beton yaitu, lemah terhadap gaya tarik, membutuhkan cetakan selama konstruksi dan rasio kekuatan terhadap berat kecil. Lemahnya material beton terhadap gaya

tarik dapat diperbaiki dengan memberikan tulangan baja yang sifatnya baik dalam menahan gaya tarik.

Kerusakan yang sering terjadi pada struktur beton bertulang dapat berupa retak pada balok dan kolom. Retak pada struktur beton akan 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 et al., 2011).

*Fibre Reinforced Polymer* (FRP) adalah jenis material yang ringan, mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi (7-10 kali lebih tinggi dari kuat tarik baja). FRP dapat terbuat dari tiga bahan komposit, yaitu *Carbon*, *Glass*, dan *Aramid*. Menurut Parvin & Brighton (2014) FRP juga tahan terhadap korosi, tidak menghantar listrik jika bersentuhan langsung dengan baja, tahan panas, dan memiliki umur yang panjang. Namun penggunaan tulangan FRP juga memiliki kekurangan, yaitu dari segi biayanya yang lebih mahal ketimbang tulangan baja. Dikarenakan produksinya yang masih sedikit di Indonesia, sehingga perlu didatangkan dari luar negeri.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, material FRP memiliki kuat tarik yang sangat tinggi dibandingkan dengan tulangan baja. Hasil uji tarik material FRP memperlihatkan hubungan tegangan-regangan yang linear, secara teoritis hal ini diduga akan menyebabkan perilaku elemen beton yang ditulangi oleh FRP akan bersifat getas. Akan tetapi penelitian yang dilakukan oleh (Mady et al., 2011) menunjukkan bahwa elemen struktur balok dan kolom yang dipasang tulangan FRP menghasilkan kapasitas *drift ratio* 3,5% lebih besar dari yang disyaratkan oleh ACI. Lebih jauh, penggunaan FRP sebagai tulangan geser pada *joint* balok-kolom dapat meningkatkan kapasitas geser 40% lebih besar dibandingkan dengan penggunaan

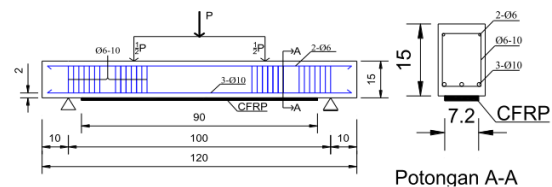
tulangan baja konvensional (Ridwan et al., 2015).

## B. TINJAUAN PUSTAKA

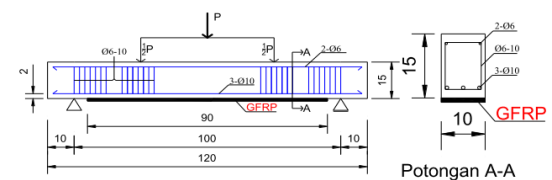
### B.1 Penggunaan Material FRP pada Bangunan

Menurut Nurlina, et al. (2016) Penggunaan GFRP biasanya digunakan untuk perkuatan balok, kolom, dan struktur bangunan lainnya. Selain itu, GFRP juga dapat digunakan untuk interior dan eksterior ruangan, karena GFRP merupakan bahan yang tahan akan segala jenis cuaca, tahan dengan air yang mengandung garam seperti air laut.

Sehubungan dengan penelitian Petrico (2014) yang melakukan perbandingan kuat lentur balok beton bertulang yang diperkuat dengan *Carbon-FRP* dan *Glass-FRP*, spesimen berupa balok ukuran  $10 \times 15 \times 120 \text{ cm}^3$  sebanyak 9 buah yang dibagi menjadi 3 kelompok. Kelompok pertama Balok Kontrol (BK), yaitu balok beton bertulang tanpa diperkuat dengan material FRP. Kelompok kedua yaitu balok yang diberi perkuatan CFRP (BC). Kelompok ketiga yaitu balok dengan perkuatan GFRP (BG). Berikut ini adalah gambar dari balok yang diperkuat dengan CFRP dan GFRP:

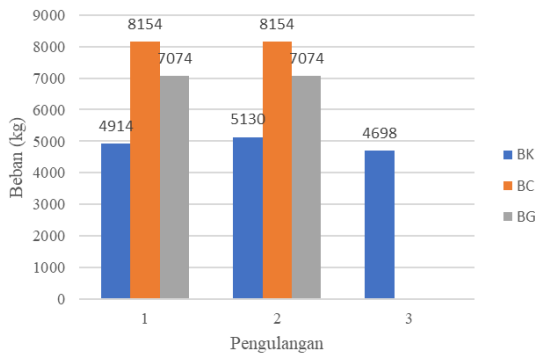


Gambar 1. Balok dengan perkuatan CFRP (Petrico, 2014)



Gambar 2. Balok dengan perkuatan GFRP (Petrico, 2014)

Hasil penelitian Petrico (2014) menunjukkan bahwa perkuatan balok dengan material FRP menambah kuat lentur serta beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok kontrol. Dari penelitian tersebut juga dapat dilihat bahwa CFRP lebih baik dalam menambah kekuatan lentur balok daripada GFRP. Berikut diagram perbandingan beban maksimum BK, BC dan BG:



Gambar 3. Diagram beban maksimal balok

## B.2 Fiber Reinforced Polymer

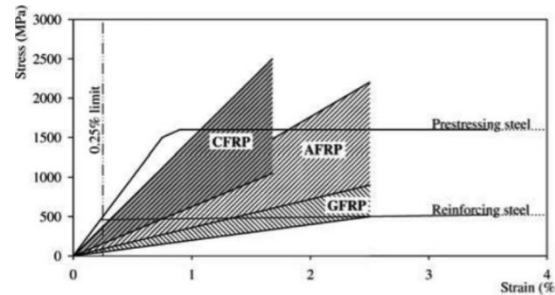
FRP merupakan suatu material komposit yang digunakan dalam konstruksi sipil. Bahan ini menggabungkan polimer resin, *filler* dan fiber. Resin yang digunakan adalah *polyester vinylester* atau *epoxy* dan *filler* yang digunakan adalah *kaolin clay*, *calcium carbonate* dan *alumina*. Sedangkan *fiber* terdiri dari beberapa jenis seperti *glass*, *carbon* dan *aramide* (Tua, 2009). Bentuk tulangan FRP dapat dilihat pada Gambar 4.

Sifat mekanik material FRP juga berbeda bila dibandingkan dengan sifat mekanik baja tulangan konvensional. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5, hubungan tegangan-regangan material FRP adalah berupa linear-elastis dengan

nilai modulus elastis yang lebih kecil (Modulus elastis GFRP 40000-50000 MPa, modulus elastis CFRP 110000-140000 MPa) dibandingkan dengan modulus elastis tulangan baja konvensional (200000 MPa).



Gambar 4. Contoh tulangan FRP (ACI 440.1R-15)



Gambar 5. Perbandingan kuat Tarik tulangan FRP dengan tulangan baja konvensional (Guadagnini et.al, 2003)

## B.3 Perhitungan Penulangan FRP

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

1. Asumsikan terlebih dahulu *properties* tulangan FRP yang akan digunakan berdasarkan ACI 440.6-08.
2. Menentukan sifat material desain
  - a. Menentukan nilai faktor reduksi lingkungan ( $C_E$ )
  - b. Desain kekuatan tarik ( $f_{fu}$ )
3. Menentukan faktor reduksi kekuatan

a. Menghitung rasio penulangan FRP

$$\rho_f = \frac{A_f}{b \cdot d} \quad (1)$$

b. Menghitung rasio penulangan FRP seimbang (*balanced*)

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

c. Menentukan faktor reduksi kekuatan untuk lentur

$$\phi = \begin{cases} 0,55 & \text{for } \rho_f \leq \rho_{fb} \\ 0,3 + 0,25 \frac{\rho_f}{\rho_{fb}} & \text{for } \rho_{fb} < \rho_f < 1,4\rho_{fb} \\ 0,65 & \text{for } \rho_f \geq 1,4\rho_{fb} \end{cases} \quad (3)$$

4. Menentukan tegangan tulangan tarik pada kondisi puncak, jika  $\rho_f \leq \rho_{fb}$  (*tension-controlled*) maka,  $f_f = f_{fu}$ , jika  $\rho_f \geq 1,4\rho_{fb}$  (*compression-controlled*), maka

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

5. Menentukan kuat lentur nominal ( $M_n$ ) dan kuat lentur desain ( $\Phi M_n$ )

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:

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

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

6. Penulangan minimum

Jika penampang *compression-controlled* maka ketentuan penulangan minimum tidak berlaku. Jika penampang *tension-controlled*, maka ketentuan penulangan minimum digunakan

$$A_{fmin} = \frac{4,9\sqrt{f_c}}{f_{fu}} b_w d \geq \frac{330}{f_{fu}} b_w d \quad (9)$$

## C. METODOLOGI PENELITIAN

### C.1 Data Struktur Gedung

Penelitian ini menggunakan struktur gedung rumah sakit ibu dan anak Budhi Mulia Pekanbaru yang dimodelkan tiga dimensi dan dianalisis menggunakan aplikasi Etabs dan *Seismostruct 2018*. Permodelan struktur disederhanakan menjadi struktur portal terbuka beton bertulang. Data yang digunakan adalah gambar dasar (*basic drawing*) denah, kolom, balok, dan portal.

Model tiga dimensi gedung dapat dilihat pada Gambar 6, serta data struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 6. Gedung RSIA Budhi Mulia (Suriyati, 2018)

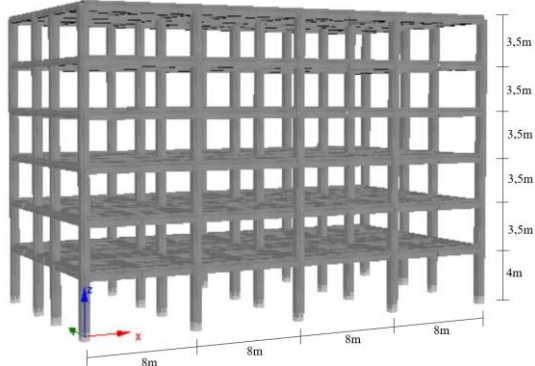
Tabel 1. Data Struktur Gedung

Kriteria	Studi Kasus
Fungsi gedung	Rumah sakit
Jumlah lantai	6
Ketinggian dari muka tanah	21.5 m
Lokasi	Pekanbaru
Jenis rangka	Beton bertulang

### C.2 Permodelan Struktur

Dalam penelitian ini, bangunan dimodelkan dan dianalisis menggunakan bantuan aplikasi Etabs dan *Seismostruct 2018*. Permodelan dengan aplikasi

tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Permodelan Struktur Gedung menggunakan *seismostruct 2018*

### C.3 Desain Penulangan Elemen Struktur

keluaran dari hasil analisis struktur berupa momen, gaya geser dan torsi digunakan untuk menghitung ulang penulangan baik tulangan lentur maupun tulangan geser untuk elemen struktur balok dan kolom menggunakan tulangan fiber (FRP). Pada tahap ini, yang dihitung ulang hanya penulangannya saja, sementara dimensi balok dan kolom sama dengan dimensi balok dan kolom pada struktur eksisting.

### C.4 Perhitungan Kapasitas Elemen Struktur

Setelah jumlah tulangan diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah menghitung kapasitas lentur dan geser masing-masing elemen struktur. Pada tahap ini perhitungan kapasitas lentur dan geser struktur dilakukan berdasarkan langkah-langkah dan ketentuan yang telah ditetapkan pada ACI 440.1R-15.

### C.5 Analisis Time History Portal Beton Bertulang

Setelah jumlah tulangan fiber diperoleh, selanjutnya yaitu membuat model struktur menggunakan aplikasi

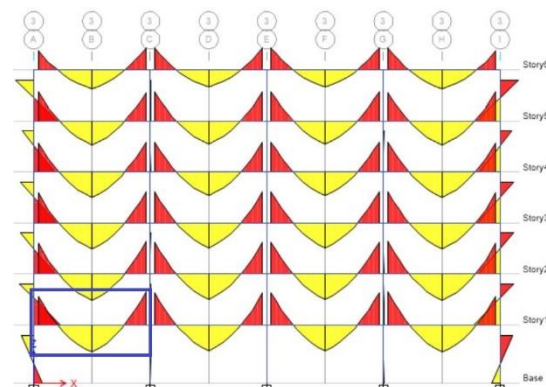
*seismostruct 2018*. Sesuaikan mutu material, dimensi elemen struktur serta pembebanannya, kemudian melakukan analisis *time history* menggunakan data rekaman gempa Pariaman 2009 yang telah diskalakan. Keluaran dari analisis menggunakan aplikasi *seismostruct 2018* berupa grafik *displacement*, *velocity* serta *acceleration*, yang kemudian akan dibandingkan antara model struktur eksisting dengan model struktur yang menggunakan tulangan fiber.

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### D.1 Analisis Gaya-gaya Dalam

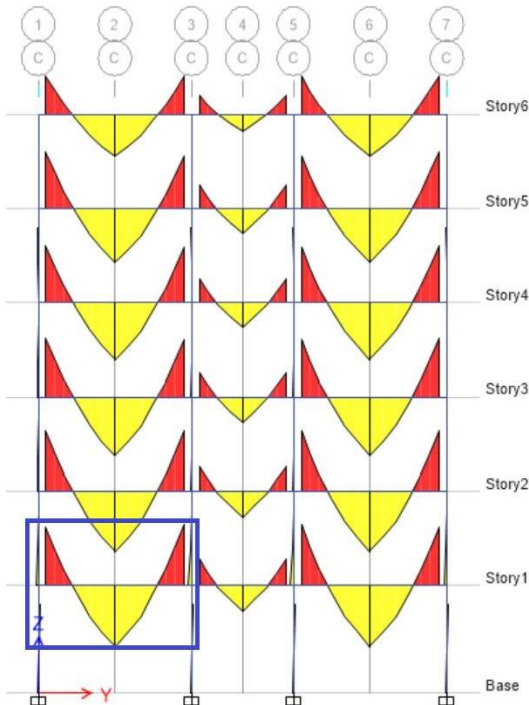
Gaya-gaya dalam yang bekerja pada masing-masing elemen struktur bangunan dapat diperoleh dengan menggunakan bantuan *software Etabs*. Gaya-gaya dalam berupa gaya aksial, gaya geser dan gaya momen dapat digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur.

Berdasar pada SNI 03-2847-2013, kombinasi beban gravitasi yang digunakan yaitu 1,4DL atau 1,2DL + 1,6LL, yang mana DL adalah beban mati serta LL adalah beban hidup. Dari kedua kombinasi tersebut, kombinasi 1,2DL + 1,6LL menghasilkan gaya ultimit elemen struktur yang lebih besar ketimbang kombinasi 1,4DL. Gaya ultimit pada elemen struktur dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.

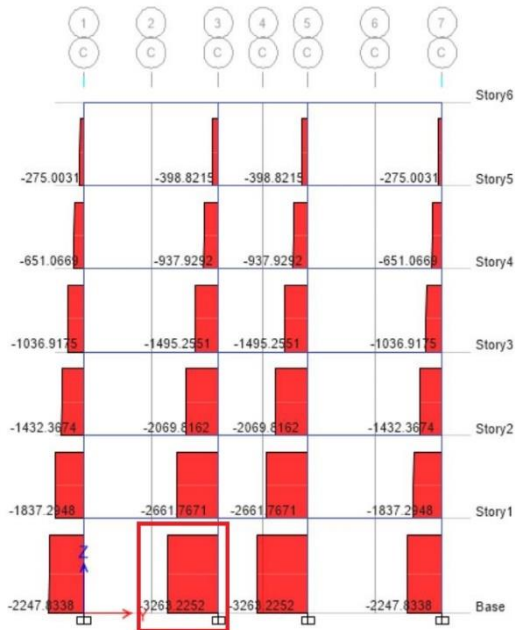




Gambar 8. Diagram Momen Ultimit pada Balok Arah Sumbu X



Gambar 9. Diagram Momen Ultimit pada Balok Arah Sumbu Y



Gambar 10. Diagram Gaya Aksial pada Kolom

## D.2 Perbandingan Hasil Perhitungan Tulangan pada Elemen Struktur

### D.2.1 Struktur dengan Tulangan Baja Konvensional

Dari hasil analisis gaya-gaya dalam di atas, didapatkan nilai  $P_u$  dan  $M_u$  yang kemudian digunakan untuk menghitung tulangan yang dibutuhkan elemen struktur. Hasil perhitungan pada balok dengan dimensi 400 x 700 mm diperoleh jumlah tulangan lentur sebanyak 5D19 (5 buah tulangan dengan diameter 19 mm), sedangkan pada balok dengan dimensi 350 x 500 mm diperoleh jumlah tulangan lentur sebanyak 4D19 (4 buah tulangan dengan diameter 19 mm).

### D.2.2 Struktur dengan Tulangan FRP

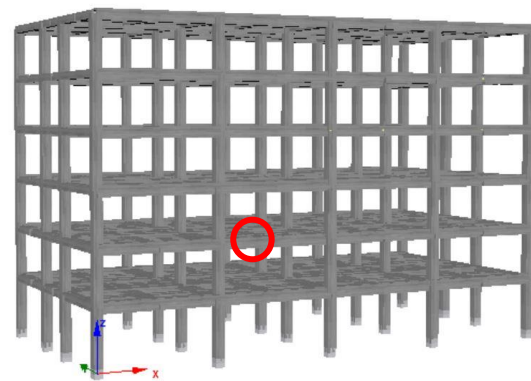
Perhitungan jumlah tulangan dengan tulangan FRP menggunakan peraturan ACI 440.1R-2015, yang mana dimensi balok dan kolom, diameter tulangan, panjang bentang, dan nilai gaya-gaya dalam yang digunakan sama seperti struktur dengan tulangan baja konvensional.

Dengan menggunakan nilai gaya-gaya dalam yang sama seperti struktur dengan tulangan baja konvensional, diperoleh jumlah tulangan lentur yang dibutuhkan pada balok dengan tulangan GFRP sama dengan jumlah tulangan balok baja konvensional. Hal tersebut dikarenakan dalam perhitungan jumlah tulangan GFRP yang disyaratkan ACI 440.1R-2015 banyak terjadinya reduksi kekuatan. Seperti reduksi paparan lingkungan ( $C_E$ ) sebesar 0,8 dan reduksi kekuatan ( $\Phi$ ) sebesar 0,55-0,65, sedangkan pada perhitungan tulangan baja digunakan nilai  $\Phi$  sebesar 0,85. Sehingga pada balok dimensi

400x700mm, jumlah tulangan lentur yang dibutuhkan adalah 5D19 (5 buah tulangan FRP dengan diameter 19mm). Meskipun dengan jumlah tulangan yang sama, namun penggunaan GFRP pada balok beton menjadi lebih efektif jika dilihat dari perbandingan antara momen ultimit ( $M_u$ ) dan momen ultimit kapasitas penampangnya ( $\Phi.M_n$ ).

### D.3 Analisis *Time History*

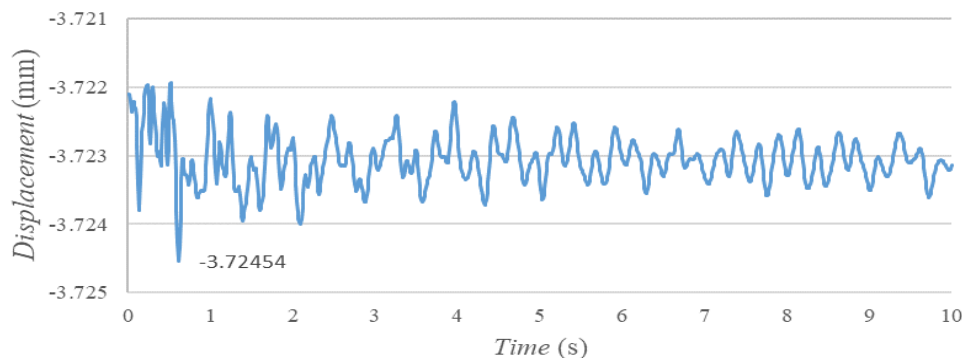
Analisis *time history* menggunakan rekaman gempa Pariaman pada tahun 2009. Pada penelitian ini data rekaman gempa tersebut telah diskalakan sesuai dengan lokasi bangunan yang ditinjau. Analisis *time history* ini dilakukan pada model struktur beton bertulang baja dan model struktur beton bertulang GFRP. Analisis dilakukan dengan bantuan aplikasi *Seismostruct 2018*, yang hasil keluaran analisis kedua model tersebut akan dibandingkan. Keluaran (*output*) dari analisis *time history* dapat berupa grafik perpindahan (*displacement*) terhadap waktu, kecepatan pergerakan gedung (*velocity*) dan percepatan (*acceleration*). Adapun titik yang akan ditinjau yaitu titik 375 yang dapat dilihat pada Gambar 11.



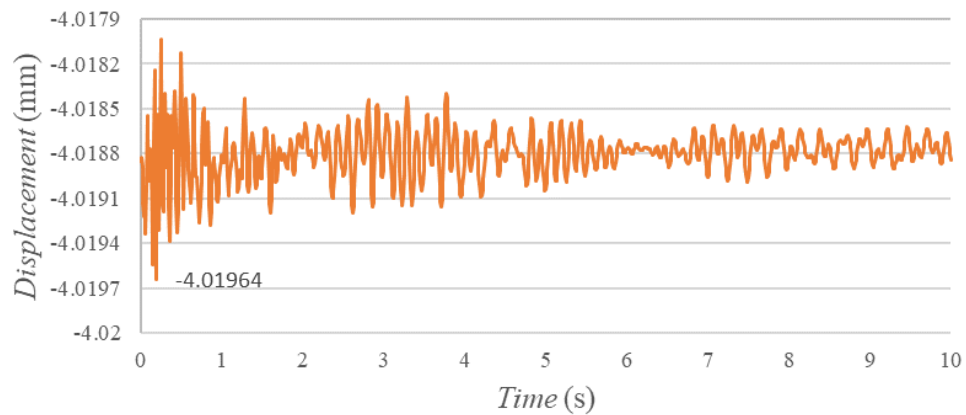
Gambar 11. Titik yang Ditinjau

#### D.3.1 Perpindahan (*Displacement*)

Dari hasil analisis yang dilakukan, diperoleh nilai *displacement* struktur gedung dengan tulangan GFRP lebih besar 7,34% dari nilai *displacement* model struktur gedung dengan tulangan baja konvensional. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Parmo et al, (2013), yang mana pada penelitiannya menyebutkan bahwa penggunaan material GFRP menghasilkan nilai daktilitas dan perpindahan (*displacement*) yang lebih besar dibandingkan penggunaan tulangan baja. Grafik *displacement* kedua model struktur dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Grafik *Displacement* Struktur dengan Tulangan Baja

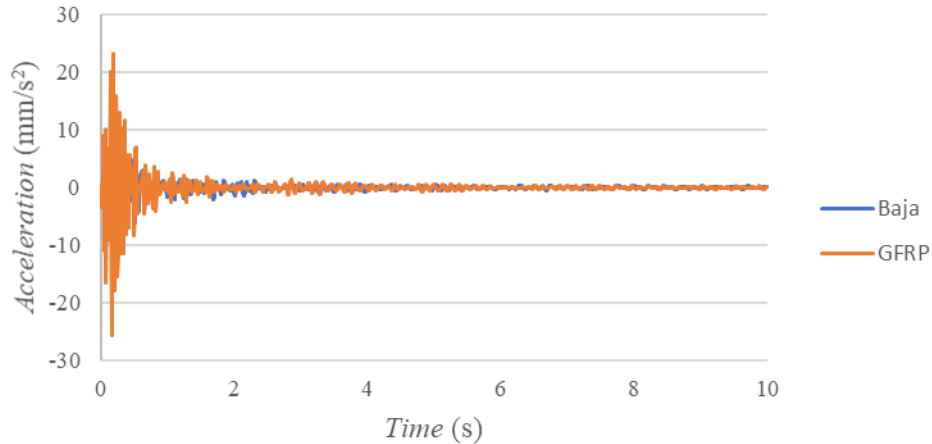


Gambar 13. Grafik *Displacement* Struktur dengan Tulangan GFRP

### D.3.2 Percepatan (*Acceleration*)

Dengan bantuan aplikasi *seismostruct 2018*, diperoleh hasil analisis berupa percepatan (*acceleration*) pada struktur berupa grafik percepatan terhadap waktu. Terdapat dua grafik percepatan, yaitu grafik percepatan model struktur dengan tulangan baja, dan grafik percepatan model struktur dengan

tulangan GFRP. Dalam penelitian ini, diperoleh nilai maksimum percepatan pada model struktur dengan tulangan GFRP lebih besar 65% dari nilai maksimum percepatan pada model struktur dengan tulangan baja. Grafik percepatan kedua model struktur dapat dilihat pada Gambar 14:



Gambar 14. Grafik Perbandingan Percepatan Model Struktur

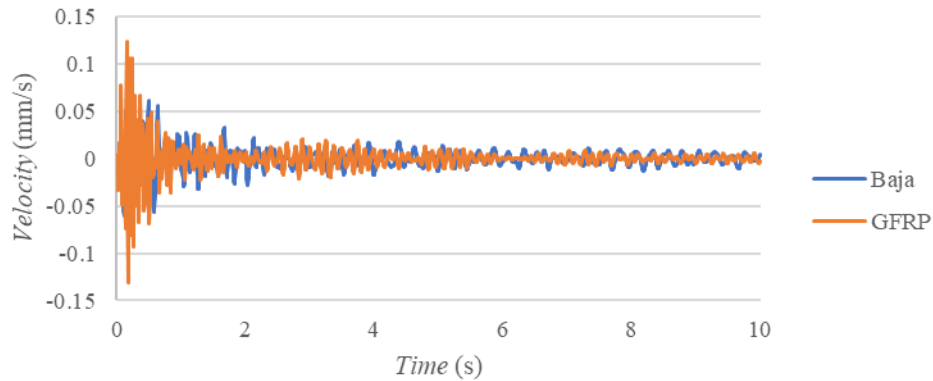
### D.3.3 Kecepatan (*Velocity*)

Dari hasil analisis yang dilakukan, diperoleh nilai kecepatan struktur berupa grafik kecepatan terhadap waktu. Terdapat dua grafik kecepatan, yaitu pada model struktur dengan tulangan baja dan model struktur dengan tulangan GFRP.

Diperoleh nilai kecepatan maksimum pada model struktur dengan tulangan GFRP lebih besar 52,87% dibandingkan dengan kecepatan maksimum model struktur dengan tulangan baja konvensional. Grafik kecepatan kedua



model struktur dapat dilihat pada Gambar 15:



Gambar 15. Grafik Perbandingan Kecepatan Model Struktur

## E. KESIMPULAN DAN SARAN

### E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan bantuan aplikasi *Etabs 2016* dan *Seismostruct 2018*, guna membandingkan perilaku struktur dengan tulangan baja dan perilaku struktur dengan tulangan GFRP dalam menerima beban dinamik (gempa) melalui metode analisis *time history*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan yang dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 dan ACI 440.1R-2015 diperoleh jumlah tulangan yang dibutuhkan pada balok beton dengan tulangan GFRP sama dengan jumlah tulangan balok struktur beton dengan tulangan baja konvensional. Hal tersebut dikarenakan banyaknya reduksi yang disyaratkan oleh ACI 440.1R-2015 untuk perhitungan tulangan GFRP.
2. Dari hasil analisis *time history* diperoleh nilai *relative displacement* maksimal pada titik 375 model struktur dengan tulangan GFRP lebih besar 7,34% dibandingkan dengan model struktur dengan tulangan baja.
3. Nilai *acceleration* (percepatan) model dengan tulangan GFRP lebih

besar 65% dibandingkan model struktur dengan tulangan baja. Hal tersebut menandakan bahwa model struktur dengan tulangan GFRP lebih tidak terasa getarannya ketika terjadi gempa.

4. Nilai *velocity* (kecepatan) model struktur dengan tulangan GFRP lebih besar 52,87% dibandingkan model struktur dengan tulangan baja. Hal tersebut menandakan bahwa, model struktur dengan tulangan baja lebih sedikit membutuhkan waktu untuk melenting.

### E.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa saran yang mungkin dapat dipergunakan untuk penelitian berikutnya:

1. Data rekaman gempa hendaknya digunakan sesuai dengan lokasi struktur yang akan dianalisis.
2. Dapat dilakukan analisis dengan merencanakan model gedung atau tidak menggunakan struktur eksisting.
3. Dapat dilakukan menggunakan material FRP lainnya seperti CFRP 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
- Guadagnini, M., Pilakoutas, K., and Waldron, P. (2003). *Shear Performance of FRP Reinforced Concrete Beam*. *Journal of Reinforced Plastic and Composites* 22(15): 1389-1407.
- Mady, M., Hasaballa, M., El-Ragaby, A., & El-Salakawy, E. F. (2011). *Seismic Behaviour of Exterior Beam-Column Joints Reinforced with GFRP Bars and Stirrups*. *Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference 2009*. University of Manitoba.
- Nurlina, S., Suseno, H., Hidayat, M.T., Pratama, I.M.Y. (2016). *Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP*, 10(1).
- Parmo, Soehardjono, A., & Tavio. (2013). *Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer*, 36(1), 75–86.
- Parvin, A., & Brighton, D. (2014). *FRP Composites Strengthening of Concrete Columns Under Various Loading Conditions*. *Polymers*, 6(4), 1040–1056.
- Petrico, I. (2014). *Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP*, 1(2), 1–9.
- Rahman, R. A., Dirar, S., Jemaa, Y., Yang, J., & Elshafie, M. (2015). *Shear Strengthening of Exterior Beam-Column Joints Using Embedded Carbon Fibre Reinforcement Polymer Bars*. *In Advanced Composites in Construction, ACIC 2015- Proceedings of the 7th Biennial Conference on Advanced Composites In Construction* (pp. 148-153).
- Tua, M. (2009). *Analisa Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.