

PENGARUH FAKTOR LINGKUNGAN INTERNAL DAN AGRESIF TERHADAP KOLOM RETROFIT DENGAN CFRP DAN GFRP

Rida Handiana Devi^{1,*}, Senot Sangadji²

¹*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo*

Jl. Letjend Sujono Humardani, No. 1, Sukoharjo

²*Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta*

Jl. Ir. Sutami No.36, Kentingan, Kec. Jebres, Kota Surakarta

^{*}*Email : ridahandiana@gmail.com*

Abstract

The strengthening technique to retrofit a reinforced concrete structure is an effective strategy to enhance the local and global structure capacity. It could be the structure's strength, stiffness, and failure resistance. The retrofit strategy is selected in the wrapped column method using FRP (Fiber Reinforced Polymer). This study analyzed one column element using the static nonlinear procedure to determine the member of the structure toward seismic forces. The rectangular column was analyzed using Adaptive Pushover Analysis. This procedure operates the not constant lateral load, then attaining more realistic results by displacement-based inelastic element type. Three models were analyzed using Seismostruct with the non-retrofit column without FRP and two models with retrofitted FRP by carbon or CFRP and glass or GFRP. Those two materials have advantages under different conditions, so that this enhancement can install under different risks and circumstances. The column capacity increase wrapping CFRP reached more than 10 % compared with the non-retrofit column. Wrapping GFRP represents that column capacity failure resistance is more significant than CFRP in internal and aggressive environment types.

Kata kunci : *Retrofit, non-linier static, Adaptive Pushover, CFRP, GFRP*

PENDAHULUAN

Pengaruh bencana yang disebabkan oleh alam maupun dari manusia terhadap bangunan beton bertulang menyebabkan penurunan kapasitas struktur lama bahkan untuk struktur baru sekalipun. Gempa bumi sebagai salah satu bencana yang menghasilkan dampak kerusakan cukup besar dibandingkan dengan faktor lain. Kerusakan struktural meliputi balok, kolom, dinding, pelat, dan bahkan

pondasi, maka perlu ditingkatkan kekuatan, kekakuan, dan daktilitasnya, serta memiliki sambungan balok-kolom yang baik dan tepat (Vitorino dkk, 2020). Sedangkan bencana yang berasal dari faktor manusia yaitu kebakaran juga dapat menjadi penyebab kerusakan terhadap struktur walaupun tidak luas. Faktor lain juga bisa datang dari kemampuan struktur tersebut karena tidak adanya perawatan maupun perbaikan secara berkala,

sehingga dalam kurun waktu tertentu dapat menyebabkan runtuhnya bangunan sebelum jangka waktu yang telah diprediksi oleh perencana. Faktor lain yang bersumber dari kesalahan perencanaan atau pelaksanaan juga sangat mempengaruhi penurunan kapasitas serta kemampuan suatu bangunan dalam mempertahankan kekuatan dari setiap elemen penyusunnya.

Sesuai dengan aturan *strong column weak beam* serta fungsinya yang menyalurkan beban dari balok dan pelat untuk dilanjutkan ke pondasi, kolom menjadi elemen yang penting untuk dipertimbangkan kekuatannya. Berbagai kerusakan yang terjadi pada kolom menyebabkan menurunnya kekuatan struktur secara global dan lebih tinggi tingkat kerapuhannya dibandingkan dengan kerusakan yang terjadi di balok. Sendi plastis pada kolom adalah titik penting yang perlu didesain dengan baik dalam mencapai kapasitas yang diharapkan untuk mengurangi efek *soft storey*. Sendi plastis juga merupakan bagian struktur yang dapat dijadikan sebagai bagian untuk memprediksi keretakan dan leleh yang terjadi pada intensitas tinggi sehingga mampu menunjukkan perpindahan *high flexural* ketika mendekati kekuatan *ultimate* yang dipengaruhi pembebanan siklik (Leslie, 2013).

Elemen kolom pada struktur reguler dapat dianalisis secara dinamik maupun statik untuk mewakili perilaku dan kapasitas dari struktur global. Analisis dinamik dan statik dapat digunakan dalam mengevaluasi

bangunan bertingkat rendah sampai tinggi. Bangunan bertingkat rendah sampai sedang dapat mengaplikasikan kapasitas beban pada analisis statik karena perpindahan struktur dapat diidentifikasi cukup akurat dan lebih sederhana dengan prosedur *pushover*. Analisis statik *pushover* pada skema prosedur adaptif berbasis perpindahan (*displacement*) menyuguhkan peningkatan prediksi secara signifikan dibandingkan dengan berbasis algoritma kekuatan (*force*) (Antoniou & Pinho, 2004). Oleh sebab itu, evaluasi elemen kolom diusulkan untuk memilih skema parameter *inelastic frame displacement based* dimana sendi plastis terkonsentrasi pada *rotational spring*.

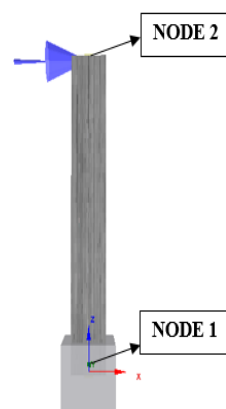
Pada penelitian ini, elemen kolom dikenakan perkuatan yang berlatar belakang akibat banyaknya faktor kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi maupun kebakaran. Perkuatan yang diaplikasikan yaitu menggunakan material *FRP (Fiber Reinforced Polymer)* dengan dua jenis bahan baku, yaitu *carbon* dan *glass*, karena kedua bahan ini yang mempunyai keunggulan dibandingkan *aramid* dan *basalt* dalam meningkatkan kapasitas elemen kolom pada kondisi yang berbeda. Kelebihan berbahan *carbon* dari segi materialnya sangat ringan dan kuat serta memiliki kuat tarik yang tinggi, sedangkan berbahan *glass* dapat meningkatkan ketahanan lelehnya karena memiliki ketahanan tinggi terhadap termal, pengaruh lingkungan dengan kadar garam, kimia, dan alkaline tinggi (Amran dkk, 2018). Tujuan penelitian

ini untuk menganalisis respon elemen kolom pada saat diberikan *lateral force* sampai terjadi keruntuhan, serta mengidentifikasi kerusakan secara rasional yang terjadi ketika dianalisis menggunakan prosedur *adaptive pushover* melalui pendekatan metode elemen hingga dalam menentukan sendi plastis dan keretakan.

METODE PENELITIAN

Analisis *Adaptive Pushover* digunakan untuk memperoleh beban perpindahan pada elemen dengan bantuan *software* yang kompatibel dalam mengevaluasi struktur yaitu *Seismostruct*. Dengan beban yang selalu bertambah di setiap langkahnya, maka elemen kolom ini akan menunjukkan respon yang lebih realistis untuk menggambarkan kerusakan yang diakibatkan beban seismik. Pemilihan tipe elemen menggunakan parameter berbasis perpindahan dan penempatan sendi

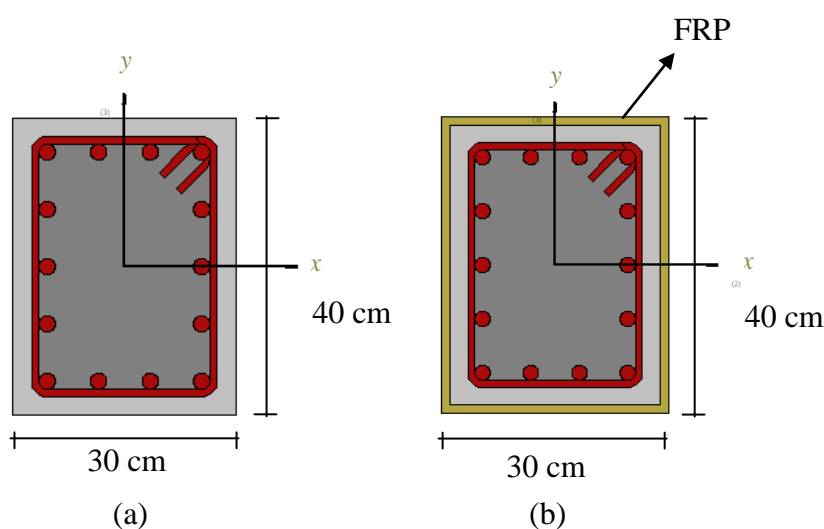
plastis yang terkonsentrasi di bagian ujung elemen.



Gambar 1. Model elemen kolom dengan beban lateral.

Model elemen kolom 3D pada Gambar 1 menggunakan tipe elemen *inelastic frame displacement based plastic hinge (infrmDBPH)* dengan tinggi 3 meter. Pemberian node 1 sebagai tumpuan dan node 2 merupakan node yang akan dikenakan pembebanan secara lateral.

Model elemen kolom 3 dimensi



Gambar 2. (a) Penampang kolom tanpa *FRP* (b) Penampang kolom dengan *FRP*

Gambar 2 menampilkan dimensi penampang kolom *rectangular* dengan *b* sebesar 30 cm, *h* sebesar 40 cm dan tebal penutup beton 2.5 cm. Dua model penampang yaitu kolom tanpa *FRP* sebagai Model 1 artinya tanpa penambahan *FRP*, sedangkan Model 2 dengan *FRP* jenis *carbon* (*CFRP*), dan Model 3 adalah kolom menggunakan *FRP* jenis *glass* (*GFRP*) yang diaplikasikan secara menyeluruh di empat sisi sepanjang kolom.

Material

Material tulangan baja dan beton yang diterapkan dalam sistem model mengadopsi dari Managoto-Pinto (1973) dengan kuat leleh of 420000 kPa dan Mander (1988) dengan kuat

tekan 38000 kPa berdasarkan model struktur yang telah dianalisis kapasitasnya secara global (Devi dkk, 2020). Material tersebut dideskripsikan sebagai nonlinier uniaxial tegangan dan regangan yang tersedia di dalam *Seismostruct*. Tabel 1 dan Tabel 2 menampilkan sifat material *FRP* yang dipilih dari beberapa tipe yang tersedia di *Seismostruct*. Dua jenis *FRP* yaitu tipe *carbon* yaitu *CFRP sika wrap 600C* dan *glass* yaitu *GFRP SikaWrap Hex 100G (1)* dipilih berdasarkan ketebalan yang tidak jauh berbeda. Beberapa sifat material yang diterangkan antar lain ketebalan serat material, kuat tarik, modulus tarik, persentase pemanjangan material, dan berat per meter luas.

Tabel 1. Sifat Material *CFRP sika wrap 600C*

<i>Fiber thickness</i>	0.3310 mm
<i>Tensile strength</i>	3800 MPa
<i>Tensile Modulus</i>	242000 MPa
<i>Elongation</i>	1.55 %
<i>Weight</i>	600 gr/m ²

Tabel 2. Sifat Material *GFRP SikaWrap Hex 100G (1)*

<i>Fiber thickness</i>	0.3590 mm
<i>Tensile strength</i>	2276 MPa
<i>Tensile Modulus</i>	72413 MPa
<i>Elongation</i>	4 %
<i>Weight</i>	913 gr/m ²

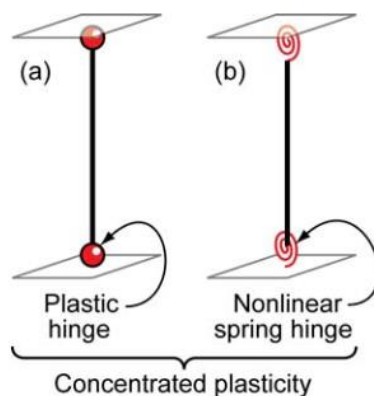
Tipe elemen

Berdasarkan plastisitas yang terkonsentrasi pada kedua ujung elemen sebagai sistem untuk membedakan rebar dan material komposit, tipe elemen ini menganalisis deformasi non linier dalam penyatuan pegas rotasi, sedangkan bagian lain tetap elastis. Tipe elemen dengan

kekakuan pegas rotasi lebih konservatif dalam mengidentifikasi pola non linier elemen melalui kalibrasi menggunakan data hasil pengujian pada momen-rotasi dan kurva histeresis yang dimodelkan oleh bilinier standar dengan *kinematic strain hardening* (Ibarra dkk, 2005). Hubungan *force-displacement* didasari

oleh *MIMK_bilin* (*Modified Ibarra-Medina-Krawinkler Deterioration curve with Bilinier Hysteretic Response*) yang diperkenalkan oleh

Ibarra, Medina, and Krawinkler (2005) dan dimodifikasi oleh Lignos & Krawinkler (2011).



Gambar 3. Pendekatan elemen pegas rotasi untuk pemodelan distribusi plastisitas (Deierlein dkk, 2010).

Elemen kolom yang dimodelkan berdasarkan pendekatan tipe elemen pada gambar 3, dimana kurva model *MIMK_bilin* menjadi dasar dalam menampilkan respon beban monotonik dan menghasilkan ikatan kuat dan perubahan bentuk sebagai karakteristik tingkah laku histeresisnya. Model ini didefinisikan sebagai variabel dengan *post capping gradual strength disorientation model*.

Parameter pemodelan sendi

Parameter pemodelan sendi pada elemen kolom-balok 3D digeneralisasikan oleh tipe sendi plastis *non-elastic* berbasis perpindahan. Tipe perpindahan untuk beban kenaikan sampai beban nodal diterapkan pada noda 2 dengan arah x. Target analisis 200 kali pembebanan dan perpindahan sebesar 12 cm. Tabel 3 menjelaskan parameter pemodelan

sendi engsel dalam *Seismostruct* berdasarkan kurva non linier *MIMK_bilin* sesuai dengan material yang dirancang untuk elemen tersebut. Parameter-parameter ini dijelaskan dengan memilih kolom yang tidak terkontrol karena sesuai perencanaan tulangan yang dipasang secara menerus.

Berdasarkan tabel parameter tersebut, rotasi kolom pada sudut rotasi plastis a dan b memberikan radian yang sama antara tepi a dan tepi b. Radian sumbu 2 lebih besar dari sumbu 3 karena dipengaruhi oleh perbandingan distribusi tulangan melintang dan memanjang terhadap luas beton yang tegak lurus terhadap tulangan tersebut. Table 3. Parameter pemodelan sendi pada kolom tidak terkontrol oleh pengembangan yang tidak memadai atau penyambungan di sepanjang ketinggian.

<i>Rotation</i>	<i>Edge a (radians)</i>		<i>Edge b (radians)</i>	
	<i>Axis 2</i>	<i>Axis 3</i>	<i>Axis 2</i>	<i>Axis 3</i>
<i>a (Plastic Rotation Angle)</i>	0.03942653	0.0378449	0.03942653	0.0378449
<i>b (Plastic Rotation Angle)</i>	0.07992577	0.07700411	0.07992577	0.07700411
<i>c(Residual strength ratio)</i>	0.20	0.20	0.20	0.20

Faktor konversi lingkungan

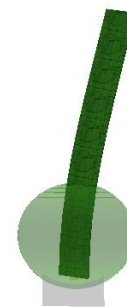
CFRP dan *GFRP* mempunyai keunggulan untuk kondisi yang berbeda. Pada proses memodelkan sebuah struktur dengan beberapa jenis perkuatan *FRP* terdapat pengaruh kondisi paparan lingkungan yang berbeda sesuai sifat materialnya. Dalam analisisnya, dikenakan variasi kondisi pengaruh lingkungan yang berbeda yaitu pada kondisi internal dan pengaruh lingkungan yang ekstrim menggunakan nilai faktor reduksi dalam kondisi tersebut. Kondisi internal menggunakan nilai faktor na 0.75, sedangkan dengan tipe lingkungan yang agresif nilai faktor na sebesar 0.5 yang dilatar belakangi oleh keunggulan dari material *GFRP* karena memiliki ketahanan tinggi terhadap paparan lingkungan yang ekstrim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi sendi plastis dan visualisasi kerusakan elemen

Performance criteria didefinisikan untuk menjelaskan dan menampilkan bentuk deformasi kolom, sehingga sendi plastis dan visualisasi kerusakan dapat memprediksi dampak dari gaya seismik. Gambar 4 menunjukkan sendi plastis yang terbentuk berada di ujung bawah atau node 1 karena beban di terapkan pada node 2 sehingga respon tegangan dan regangan terbesar

terletak pada area tersebut. Berdasarkan visualisasi yang ditampilkan oleh hasil deformasi adalah terjadinya keretakan di sepanjang elemen, namun hal ini tidak sepenuhnya respon realistis karena daerah tengah elemen merupakan bagian elastis dengan momen sama dengan nol tepat pada titik belok. Titik belok (*inflection point*) merupakan daerah lemah, sehingga keruntuhan akibat geser selalu diawali dari pelelehan sengkang dan keruntuhan beton (Zheng dkk, 2019). Keretakan sebagai kerusakan yang terjadi sebenarnya dapat terlihat di daerah sendi plastis, terutama di sisi tegangan.



Gambar 4. Deformasi elemen

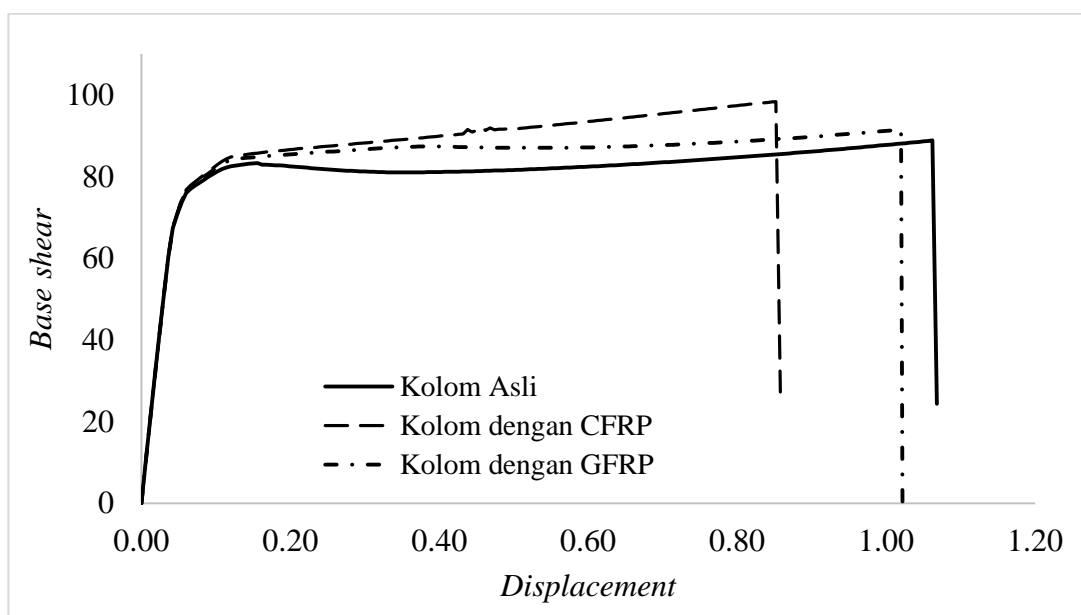
Ketiga model menunjukkan deformasi yang sama pada perpindahan ketika terbentuknya sendi plastis yaitu 0.048 m. Perbedaan nilai *base shear* pada perpindahan tersebut hanya 0.72 % antara Model 1 dan Model 2, karena mulai terjadi leleh pada material. Selain sendi plastis terbentuk,

kerusakan pada elemen juga mulai terlihat dari hasil visualisasi yang mulai terjadi keretakan pada selimut beton (*unconfined concrete*) di seluruh permukaan. Lebar keretakan yang terjadi dapat diperkecil dengan penggunaan *CFRP* dan *GFRP* (Tibhe & Rathi, 2016).

Kapasitas elemen kolom

Gambar 5 merupakan kurva kapasitas yang menunjukkan kapasitas elemen kolom. Kurva tersebut menunjukkan bahwa maksimum *base shear* yaitu 88.83 kN pada Model 1, 98.36 kN

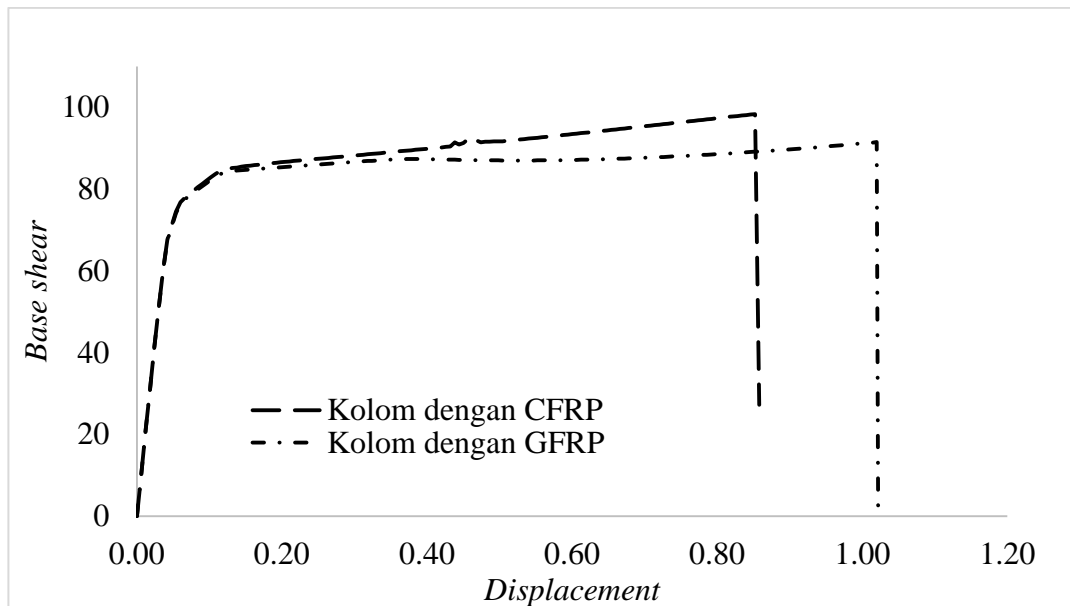
untuk Model 2, dan 91.51 kN untuk model 3, dengan perpindahan saat tercapai maksimum *base shear* sebesar 1.62 m pada Model 1, 0.85 m pada Model 2, dan 1.02 m pada Model 3. Selisih *base shear* antara Model 1 dan Model 2 mencapai 10.73 %, namun hanya 3% saja untuk Model 3 terhadap Model 1. Pada perpindahannya menunjukkan perbedaan yang signifikan pada Model 2 terhadap Model 1 dan 3 yaitu 24.65 % lebih awal pada saat tercapainya maksimum *base shear*.



Gambar 5. Kurva kapasitas elemen 3 model kolom pada tipe lingkungan internal

Pada gambar 6 menunjukkan bahwa Model 2 dan Model 3 dimana keduanya menggunakan *FRP* dengan jenis berbeda dengan pengaruh tipe lingkungan yang agresif, memperoleh hasil 7.5% lebih besar nilai maksimum *base shear* pada jenis *carbon* atau *CFRP*. Sebesar 19.7% ketika tercapai maksimum *base shear*, perpindahan

yang dihasilkan lebih besar untuk Model 3 dibandingkan Model 2. Hal ini dipengaruhi oleh material dasar berupa *glass*. Dalam teknik retrofit, *GFRP* dapat mengembalikan kapasitas perpindahan ultimit dari kolom yang mengalami kerusakan (Aslam dkk, 2021).



Gambar 6. Kurva kapasitas Model 2 dan Model 3 pada tipe lingkungan yang agresif.

SIMPULAN

Deformasi yang terjadi pada ketiga model menunjukkan hasil yang sama ketika awal terbentuknya sendi plastis dan material mulai luluh (*first yield*), karena material dan penampang yang dimodelkan sama, sehingga pengaruh *FRP* sebagai strategi retrofit belum terlihat pada fase tersebut. Pada ketiga model, sendi plastis terjadi pada saat capaian perpindahan kolom yang sama, namun keretakan yang terjadi pada model 2 dan 3 dengan penyelimutan *FRP* dapat diperkecil karena ada tambahan pengekanan pada selimut beton.

Kurva kapasitas pada ketiga model dengan pengaruh lingkungan internal menunjukkan bahwa adanya perbedaan yang signifikan pada kolom yang diaplikasikan *CFRP* dengan kolom tanpa *FRP*, yaitu mencapai lebih dari 10% untuk maksimum *base shear*, namun lebih rendah 24% untuk

nilai perpindahannya. Hal ini menunjukkan bahwa *CFRP* dapat meningkatkan kekuatan dari struktur beton bertulang, namun terjadi keruntuhan lebih awal. Sedangkan *GFRP* memiliki efek dibawah 10% dalam peningkatan kekuatan elemen serta lebih awal terjadinya keruntuhan dibandingkan dengan kolom tanpa *FRP*.

Lingkungan agresif dengan nilai reduksi yang diterapkan pada model retrofit memiliki efek pada besarnya perpindahan saja pada Model 3 *GFRP*. Material berbahan dasar *glass* dapat mempertahankan strukturnya lebih lama terhadap keruntuhan dibandingkan dengan *carbon*. *CFRP* dapat meningkatkan kekuatan yang ditunjukkan oleh nilai *base shear* yang lebih tinggi dari *GFRP* yaitu sebesar 7.5%. *GFRP* dapat menahan beban lebih lama dibandingkan dengan *CFRP* yaitu sebesar 19.7%. Oleh sebab itu,

pengaplikasian FRP dapat disesuaikan dengan kebutuhan peningkatan strukturnya berdasarkan material dasar yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Y.M., Alyousef, R., Rashid, R.S., Alabduljabbar, H., & Hung, C.C., 2018, *Properties and Applications Of FRP in Strengthening RC Structures: A Review*, In Structures (Vol. 16, pp. 208-238), Elsevier.
- Antoniou, S., & Pinho, R., 2004, *Development and Verification of A Displacement-Based Adaptive Pushover Procedure*, Journal of earthquake engineering, 8 (05), 643-661.
- Aslam, H.M.U., Sami, A., & Raza, A., 2021, *Axial Compressive Behavior of Damaged Steel and GFRP Bars Reinforced Concrete Columns Retrofitted with CFRP Laminates*. Composite Structures, 258, 113206.
- Deierlein, G.G., Reinhorn, A.M., & Willford, M.R., 2010, *Nonlinear Structural Analysis for Seismic Design*, NEHRP seismic design technical brief, 4, 1-36.
- Devi, R.H., Sangadji, S., & Saifullah, H.A., 2020, *Fragility Curve of Low-To-Mid-Rise Concrete Frame Retrofitted with FRP*, In E3S Web of Conferences (Vol. 156, p. 03006), EDP Science.
- Ibarra, L.F., Medina, R.A., & Krawinkler, H., 2005, *Hysteretic Models That Incorporate Strength And Stiffness Deterioration*, Earthquake Engineering & structural dynamics, 34 (12), 1489-1511.
- Mander, J. B., Priestley, M. J., & Park, R., 1988, *Theoretical Stress-strain Model for Confined Concrete*. Journal of structural engineering, 114 (8), 1804-1826.
- Menegotto, M., 1973, *Method of Analysis for Cyclically Loaded RC Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements Under Combined Normal Force and Bending*. Paper presented at the Proc. of IABSE symposium on resistance and ultimate deformability of structures acted on by well defined repeated loads.
- Leslie, R., 2013, *The Pushover Analysis, Explained in Its Simplicity*, In National Conference (Recent Advances in Civil Engineering) RACE 13 at Saintgits College of Engineering, Kottayam.
- Lignos, D.G., & Krawinkler, H., 2011, *Deterioration Modeling of Steel Components in Support of Collapse Prediction of Steel Moment Frames Under Earthquake Loading*. Journal of Structural Engineering, 137 (11), 1291-1302.
- Tibhe, S.B., & Rathi, V.R., 2016, *Comparative Experimental Study on Torsional Behavior of RC Beam Using CFRP and GFRP Fabric Wrapping*, Procedia Technology, 24, 140-147.
- Vitorino, H., Rodrigues, H., & Couto, C., 2020, *Evaluation of Post-*

Earthquake Fire Capacity of Reinforced Concrete Elements, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 128, 105900.

Zheng, K., Kuwornu, M., & Liu, Z.,

2019, *Shear Test of Variable Depth RC Beams with Inflection Point*. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 275, p. 02003). EDP Sciences.